

## ZNEČISTENIA OVZDUŠIA BRATISLAVY V ROKOCH 1965-2005

DUŠAN ZÁVODSKÝ

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, Slovakia (e-mail: dusan.zavodsky@shmu.sk)

**Abstract** Air pollution measurements in Bratislava started at the beginning of sixties. The first air pollution act in Slovakia entered into force in 1967. Regular monitoring, based on simple manual methods, was launched at the Slovak Hydrometeorological Institute (SHMU) in 1969. Real time air pollution monitoring network was put in operation in 1992. The monitoring results from Bratislava in the period 1965 – 2005 are briefly summarised and assessed in the paper. A massive decrease of concentration level for the most of pollutants was observed during the period. PM, ground level ozone and traffic are the current air pollution problems.

**Key words:** Bratislava, air pollution, trend 1965-2005, Slovakia

### Úvod

Bratislava, napriek svojej histórii, neprekročila počas prvej Československej republiky rámec provinčného mesta. Spolu s Petržalkou mala v roku 1930 138 000 obyvateľov. Najväčšie priemyselné závody v tom čase boli Dynamit-Nobel, mestské elektrárne (pôvodne ešte dieselové agregáty), Továreň na káble, rafinéria Apollo, textilné závody Danubius, Cvernovka, výroba elektrotechnických zariadení Siemens, mestská plynáreň, spracovanie lanu Klinger, zbrojovka na Patrónke, viaceré potravinárske závody (Stollwerck, Stein, Palugyay, Schindler a iné), pneumatikáreň Matador a smaltovňa Sfinx v Petržalke a viaceré menších výrobní. Intenzita automobilovej dopravy bola nízka. Tovar a materiály sa prepravovali hlavne parnou železnicou, loďnou a kónskou dopravou. Vykurovalo sa prevažne uhlím. Celkové emisie znečisťujúcich látok do ovzdušia, v porovnaní s neskoršími hodnotami, neboli veľké. Znečistenie ovzdušia sa v tom období nesledovalo. Problémy však určite spôsobovali emisie zo spaľovania uhlia (sadze, popolček, oxid siričitý, v menšej miere oxidy dusíka, ...), ktoré, s ohľadom na vtedajšiu úroveň spaľovania a výšku komínov, museli vyvolávať vo vykurovacom období relatívne vysokú úroveň koncentrácií „klasických“ škodlivín v intraviláne mesta.

### Vývoj emisií znečisťujúcich látok

V prvých dvoch desaťročiach po druhej svetovej vojne Bratislava zaznamenala veľmi rýchly všestranný rozvoj. Počet obyvateľov sústavne rástol a v polovici 80-tych rokov už prekročil 400 000. K tomu treba pripočítať vyše 100 000 osôb prichádzajúcich do Bratislavy za prácou. Vďaka svojej polohe, priemyselnej tradícii a dostatku technickej vody sa v meste koncentrovala predovšetkým ťažká chémia. Vybudoval sa a ďalej rozširoval rafinérsky a petrochemický kombinát Slovnaft (množstvo spracovanej ropy postupne dosiahlo až 8 mil. ton za rok). CHZJD nadviazalo na tradičné výroby (trhaviny, kyselina sírová, viskózová striž) a zaviedlo nové výroby (viskózový hodváb, sírouhlík, prípravky na ochranu rastlín, umelé hnojivá, gumárenské chemikálie a čisté chemikálie); viaceré závody, napr. Matador, Kablo (vrátane Gumon a nového závodu Transformátory) sa reštrukturalizovali a podstatne rozšírili svoju výrobu;

v západnej časti mesta pribudlo Technické sklo v Dúbravke, v ktorom sa zaviedla aj výroba olovnatého skla. Popri ďalšom rozširovaní produkcie tradičných výrobcov, hlavne potravinárskeho zamerania, pribudlo viacero menších závodov. Rýchlo rástla energetická spotreba mesta. Tri bratislavské teplárne (Tp 1 až 3) boli neskôr doplnené o Tp-Juh a Tp-Západ. K tomu treba prirátat tepláreň Slovnaftu, kotolne priemyslových závodov, výhrevne obvodných bytových podnikov, mestskú spalovňu komunálneho odpadu (spalovala vyše 100 000 ton odpadu ročne). V palivovej základni mesta prevládalo uhlie, a to prevažne menej kvalitné severočeské hnedé uhlie. Spotreba tuhých palív všetkého druhu v Bratislave v roku 1970 dosiahla 726 tisíc ton. Rýchlo rástla spotreba tekutých palív, ktorá v roku 1970 dosiahla 624 tisíc ton. Spaľovaný mazut mal obsah síry okolo 2,5 %. Domové kotolne a drobní spotrebiteľia spaľovali uhlie. V roku 1967 bol prijatý prvý čs. zákon č. 35 o ochrane ovzdušia. Bol to však zákon, ktorý riešil znečisťovanie ovzdušia rozptylom v atmosfére (výstavbou vysokých komínov). Tento zákon nezabránil rastu emisií škodlivín do ovzdušia. V Bratislave jeho plnému uplatneniu bránil zákaz výstavby vysokých komínov (podľa polohy najviac 80–100 m) pre blízkosť medzinárodného letiska. Rýchle rástli nároky na železničnú dopravu, v ktorej dominovala parná trakcia. Počet motorových vozidiel všetkého druhu v Bratislave dosiahol v roku 1970 cca 30 000. V roku 1975 sa tento počet zdvojnásobil na cca 60 000 vozidiel.

Tab. 1 a 2 uvádzajú bilancie emisií znečisťujúcich látok do ovzdušia Bratislavy pre roky 1970 a 1975. Údaje v tabuľkách sú len odborné odhady uvádzané v správach [3, 6, 8, 11]. Ich neurčitost môže byť značná. Úplne chýbajú kvantitatívne údaje o emisiách NO<sub>x</sub>, ktoré v tom čase boli asi 30 % emisií SO<sub>2</sub>. Neboli kvantifikované emisie uhľovodíkov zo Slovnaftu, automobilovej dopravy a ďalších zdrojov. Stupeň záchytu tuhých emisií na veľkých zdrojoch bol nízky, problémy boli s častou preťaženosťou poľných horákov v Slovnafte (sadze, nespálené uhľovodíky, sírovodík, ...). Dlhoročným problémom Bratislavy boli zápachajúce látky z viacerých výrobní CHZJD (hlavne z viskózového hodvábu a prípravkov na ochranu rastlín), ktoré najmä v nočných hodinách boli pociťované až v Starom meste.

K tomu sa pridružovali zápachy zo Slovnaftu (oxidácia asfaltov, sírovodík, aromatické uhľovodíky) a zápachy zo závodu Gumon (fenoly, formaldehyd a ďalšie látky z výroby izolačných materiálov). Narastajúca autodoprava priniesla problém olova (predaj olovnatých benzínov sa ukončil až v roku 1993). Emisia olova z motorových vozidiel sa v r. 1980 odhadovala na vyše 20 ton za rok, k tomu treba pripočítať cca 1 tonu Pb z Technického skla v Dúbravke. Ročné emisie zo spaľovne odpadov predrekonštrukciou činili cca 50 ton HCl, 70 ton tuhých častíc, 550 kg polycyklických aromatických uhľovodíkov, 90 kg ťažkých kovov, 1,8 kg PCB, 0,09 kg PCDD/F. Sťažnosti boli na emisiu sadzí z Matadoru. Veľká rozostavanosť, v dôsledku mimoriadnej veternosti Bratislavy, prispievala k vysokej prašnosti (suspenzia a resuspenzia minerálnych častíc z povrchu).

Sedemdesiate roky priniesli rad opatrení na zlepšenie kvality ovzdušia v Bratislave. Začali programy teplofikácie a plynofikácie mesta. Začalo sa vytlačať uhlie z mestských teplární. Problémom bola veľká spotreba energie v nedostatočne izolovaných panelových domoch v nových sídliskách. Viaceré priemyselné závody a väčšina inštitúcií prešli na tekuté palivá a zemný plyn. Začala plynofikácia domových kotolní v Starom meste. Rozširovala sa sieť teplovodov a zrušili sa niektoré výhrevne bytových podnikov, ktoré spaľovali uhlie. Plyn sa stal bežným palivom v individuálnom vykurovaní. Vykurovanie rastúcich

petržalských sídlisk už bolo len na báze plynu. Elektrifikácia železníc viedla k postupnému vytlačeniu parnej trakcie. Slovnaft rekonštruoval poľné horáky a čiastočne riešil zápachy. CHZJD zastavil zastaralé výroby kyseliny sírovej, viskózovej striže a sírouhlika.

V osemdesiatych rokoch bolo uhlie už prakticky úplne vytlačené z mesta. Mnohé priemyselné závody, vrátane teplárne Slovnaftu plne prešli na plyn. Závod Gumon bol premiestnený do Malaciek. Bola odstavená cementáreň v Stupave. Vykurovanie Starého mesta bolo plne plynofikované. V roku 1984 sa sprísnila požiadavky na tepelnú priepustnosť panelov pre nové bytové domy. V druhej polovici osemdesiatych rokov sa začal realizovať program hĺbkového využitia ropy, ktorý pokračoval aj po roku 1989 (výstavba hydrokrakov). Hlavným problémom kvality ovzdušia sa stala automobilová doprava. Počet motorových vozidiel v Bratislave prekročil 100 000 (bez motocyklov a traktorov). Kamiónová tranzitná doprava bola z časti odklonená cez Pezinskú babu. Rok 1985 bol prvým rokom oficiálnej inventarizácie emisii – Register emisii a zdrojov znečistenia ovzdušia (REZZO). Prvé výsledky sú v Tab. 3 a 4. Spotreba palív zo všetkých stacionárnych zdrojoch v Bratislave v roku 1985 bola: Uhlie 84, koks 36, ťažký vykurovací olej 703, ľahký vykurovací olej 12, tuhý komunálny odpad 113, nafta 0,7 všetko v tisícoch ton za rok a plynné palivá 442 mil.m<sup>3</sup> [15].

Tab. 1 Emisie znečisťujúcich látok do ovzdušia Bratislavy v roku 1970

Zdroj	SO <sub>2</sub> [tony.rok <sup>-1</sup> ]	TZL [tony.rok <sup>-1</sup> ]	Ostatné [tony.rok <sup>-1</sup> ]
Slovnaft	30 000	-	NO <sub>x</sub> , uhľovodíky, H <sub>2</sub> S, CO
Zpsl. energetické závody	12 000	10 000	NO <sub>x</sub> , ťažké kovy
CHZJD	3 000	400	3000 – CS <sub>2</sub> , 1000 H <sub>2</sub> S, NO <sub>x</sub> , zlúčeniny F, Cl, NH <sub>3</sub> ,
Matador	1 500	2 400	NO <sub>x</sub> , organické rozpúšťadlá
ČSD - železnice	3 000	4 000	NO <sub>x</sub>
Ostatné priemyselné zdroje	6 000	3 000	NO <sub>x</sub> , 1400 – fenoly, formaldehyd, organické rozpúšťadlá
Drobný spotrebitelia	8 000	5 000	NO <sub>x</sub>
Automobilová doprava	50	300	CO – 13000, NO <sub>x</sub> , uhľovodíky, Pb

Tab. 2 Emisie znečisťujúcich látok do ovzdušia Bratislavy v roku 1975

Zdroj	SO <sub>2</sub> [tony.rok <sup>-1</sup> ]	TZL [tony.rok <sup>-1</sup> ]	Ostatné [tony.rok <sup>-1</sup> ]
Slovnaft	45 000	-	NO <sub>x</sub> , uhľovodíky, H <sub>2</sub> S, CO
Zpsl. energetické závody	11 400	1 000	NO <sub>x</sub> , ťažké kovy
CHZJD	2 000	800	4700 – CS <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NO <sub>x</sub> , zlúčeniny F, Cl, NH <sub>3</sub> , ...
Matador	1 500	2 400	Organické rozpúšťadlá
Kablo, Gumon	-	-	1800 - fenoly, formaldehyd, organické rozpúšťadlá
ČSD – železnice	3 000	4 000	NO <sub>x</sub>
Ostatné priemyselné zdroje	4 000	2 000	NO <sub>x</sub> , Pb
Bytové podniky	1 000	1 200	NO <sub>x</sub>
Drobní spotrebitelia	6 000	3 500	NO <sub>x</sub>
Automobilová doprava	100	600	CO-20000, NO <sub>x</sub> , uhľovodíky, Pb

Tab. 3 Emisie znečisťujúcich látok do ovzdušia Bratislavy v roku 1985

Zdroj	SO <sub>2</sub> [tony.rok <sup>-1</sup> ]	TZL [tony.rok <sup>-1</sup> ]	Ostatné [tony.rok <sup>-1</sup> ]
Slovnaft	27 678	1 125	3923 – NO <sub>x</sub> , 209 – uhľovodíky, H <sub>2</sub> S, CO, organická zmes
Zpsl. energetické závody	9 568	636	2509 – NO <sub>x</sub> , 133 – CO, 70 – uhľovodíky, 24 – org. látky, ťažké kovy
CHZJD	764	84	1660 – CS <sub>2</sub> , 279 – H <sub>2</sub> S, 5 – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 62 – NO <sub>x</sub> , 29 – F, 2 – Cl, 1 – NH <sub>3</sub>
Matador	1 640	94	323 – NO <sub>x</sub> , 17 – CO, 12 – uhľovodíky, 4 – organická zmes
Kablo - Gumon	-	-	886 – fenoly, formaldehyd, organické rozpúšťadlá
Drobní spotrebitelia	4 000	2 000	NO <sub>x</sub>
Automobilová doprava	120	800	CO-29 000, NO <sub>x</sub> , uhľovodíky, Pb
Stredné zdroje (0,2-5 MW a malé technológie)	1 973	1 580	1881 – CO, 599 – uhľovodíky, 434 – NO <sub>x</sub>

Tab. 4 REZZO I (stacionárne veľké zdroje) – Bratislava 1985 [tony.rok<sup>-1</sup>]

Znečisťujúca látka	Celkom	z toho	
		spaľov. procesy	technológie
Tuhé znečisťujúce látky	2 827	2 652	175
Oxid siričitý	42 243	31 650	10 593
Kyselina sírová	5		5
Sírovodík	279		279
Sírouhlík	1 660		1 660
Oxidy dusíka	8 705	8 643	62
Amoniak	1		1
Fluór – zlúčeniny	29		29
Chlór – zlúčeniny	2		2
Oxid uhoľnatý	592	592	
Uhľovodíky	328	328	
Organické zlúčeniny	970	84	886
Iné anorganické zlúčeniny	8		8

Deväťdesiate roky priniesli rad pozitívnych zmien z hľadiska kvality ovzdušia. Už v roku 1990 bol prijatý nový zákon č. 309 Z.z. o ovzduší, ktorý zaviedol emisné limity a poplatky za znečisťovanie. Výstavba hydrokrakov viedla prakticky k zastaveniu výroby tekutých palív v Slovnafte. Teplárne plne prešli na zemný plyn. Dôsledkom ďalšieho sprísnenia noriem na tepelnú izoláciu budov bolo zastavenie výstavby panelových domov. Deregulácia cien surovín a energie viedla k efektívnejšiemu využívaniu energie (modernizácie kotolní, zatepľovanie budov, znižovanie spotreby energie v priemysle a pod.), ktoré pokračuje aj v súčasnosti. V roku 1993 sa zaviedlo povinné použitie katalytických konvertorov pre nové automobily s benzínovými motormi (čoho predpokladom je bezolovnatý benzín). Toto opatrenie, spolu s modernizáciou motorov a rýchlou obnovou vozového parku, zatiaľ udržali, napriek veľkému nárastu intenzity automobilovej dopravy, vývoj automobilového znečisťovania ovzdušia v únosných medziach. Problémom mesta zostal vysoký podiel zastaralých nákladných vozidiel a autobusov s naftovými motormi a rastúca tranzitná, najmä kamiónová doprava. Modernizácia siete komunikácií stále zaostáva za rastom intenzity dopravy. Slovnaft znížil množstvo spracovávanej ropy takmer na polovicu. CHZJD postupne zastavilo rad výrob (viskózový hodváb,

prípravky na ochranu rastlín). Zostalo len torzo pôvodných výrob, a to priemyselné trhaviny, gumárenské chemikálie a polypropylénový káblik (sú to však málo odpadové technológie). Tým vymizol dlhoročný problém Bratislavy – zápachy z CHZJD. V dôsledku reštrukturalizácie výrob z titulu odbytu sa znížili emisie z Matadoru aj Technického skla. Automobilka Volkswagen je strojársky závod, vybudovaný na normách EÚ. Energetiku má na plyn. Emisie so zvarovní a lakovní sú zachytávané moderným spôsobom. Realizovala sa rekonštrukcia a modernizácia mestskej spaľovne komunálneho odpadu, vrátane technológie na obmedzovanie emisií. V roku 2003 sa Slovensko stalo členským štátom EÚ a platia preň prísne požiadavky kvality ovzdušia tohto spoločenstva. Legislatíva ochrany ovzdušia EÚ bola v transponovaná do zákona č. 478/2002 Z.z. o ochrane ovzdušia a jeho vykonávacích predpisov, ktoré sa postupne s vývojom legislatívy EÚ priebežne novelizujú a dopĺňajú. REZZO bolo v zmysle požiadaviek EÚ nahradené novým systémom NEIS (Národný emisný inventarizačný systém). Vývoj emisií základných znečisťujúcich látok v Bratislave v období 1990–2004 podľa NEIS sumarizuje nasledujúca Tab. 5. Z tabuľky vidno výrazný pokles emisií v 90-tych rokoch a ich ustálenie po roku 2001 [19].

Bilancovať emisie z dopravy, vzhľadom na mobilitu zdrojov, je problematické. Tab. 6 uvádza vývoj emisií z mobilných zdrojov na Slovensku od roku 1990. Napriek veľkému nárastu počtu vozidiel aj v doprave (zavedenie katalyzátorov od roku 1993, zníženie obsahu síry v nafta a ďalšie technické opatrenia) sa dosiahlo zníženie emisií, i keď zďaleka nie tak veľké ako pri stacionárnych zdrojoch. Problémom dopravy v Bratislave je však veľká koncentrácia dopravných prostriedkov na malom území, vysoké intenzity vozidiel pre nevyhovujúcu dopravnú infraštruktúru a vysoký podiel tranzitnej dopravy. Zavedenie katalyzátorov prinieslo určité zvýšenie emisií amoniaku z dopravy. I keď toto zvýšenie je v porovnaní so súčasnými emisiami z poľnohospodárstva (Tab. 7) malé, vzhľadom na koncentráciu dopravy v meste môže hrať určitú rolu. Amoniak v uliciach miest sa zatiaľ nemonitoruje.

Tab. 5 Emisie základných znečisťujúcich látok zo stacionárnych zdrojov v Bratislave za roky 1990–2004

Rok	Emisie [tony.rok <sup>-1</sup> ]			
	Tuhé látky	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
1990	3 316	33 482	8 603	3 297
1995	2 076	27 223	7 985	1 847
2000	942	13 240	6 393	1 528
2001	477	13 594	5 151	1 319
2002	444	11 348	5 313	1 264
2003	482	12 263	5 414	1 204
2004	467	9 869	5 260	1 254
2005	472	9 285	4 791	1 120

Tab. 6 Vývoj emisií základných znečisťujúcich látok z mobilných zdrojov v SR

Rok	Emisie [tony.rok <sup>-1</sup> ]			
	Tuhé látky	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
1990	10 764	3 424	56 850	154 199
1991	8 855	2 722	47 375	142 135
1992	7 978	2 390	43 738	140 621
1993	7 064	2 175	42 362	150 676
1994	8 544	2 313	43 535	154 804
1995	8 755	2 490	45 453	156 743
1996	8 940	2 536	45 038	151 133
1997	9 142	2 554	44 914	153 216
1998	9 509	2 724	46 210	153 946
1999	8 766	1 088	43 225	144 655
2000	7 648	869	37 298	121 909
2001	8 567	944	40 608	133 580
2002	8 866	797	40 871	121 348
2003	8 910	809	39 119	117 513
2004	9 480	890	40 949	113 111
2005	10 689	236	41 828	108 688

Tab. 7 Vývoj emisií NH<sub>3</sub> do ovzdušia na Slovensku [tony]

Sektor	1990	1992	1994	1996	1998	2000	2002	2003	2004	2005
Doprava	31	28	76	198	403	446	669	659	633	791
Priemysel	3112	2059	648	515	437	491	566	530	491	382
Dobytok	52 760	42 435	35 853	34 875	28 399	26 190	26 286	25 724	22 762	22 420
Hnojivá	9 109	3 696	2 814	3 052	3 354	2 978	3 617	3 332	3 275	3 333
Agro-spolu	61 869	46 131	38 667	37 927	31 753	29 168	29 903	29 056	26 037	25 753
SR spolu	65 012	48 218	39 391	38 640	32 593	30 105	31 138	30 245	27 161	26 926

Emisie ťažkých kovov, prchavých uhľovodíkov, perzistentných uhľovodíkov a skleníkových plynov sa, podobne ako pri amoniaku, sledujú bilančne (po sektoroch) pre celé Slovensko.

### Vývoj kvality ovzdušia v Bratislave

V znečisťovaní ovzdušia Bratislavy hrajú významnú úlohu lokálne klimatické podmienky [8]. Hlavné smery vetra sú pozdĺž osi severozápad-juhovýchod. Pre severozápadný vietor sú typické vysoké rýchlosti a dobrý rozptyl plyných exhalátov z lokálnych zdrojov. Na druhej strane silný vietor spôsobuje veľkú suspenziu a resuspenziu častíc z povrchu (ulice, staveniská, skládky sypkých materiálov a pod.), k čomu významne prispieva aj automobilová doprava. Juhovýchodné prúdenie v nočných hodinách slabne a v oblasti meste sa mení na severovýchodný až východný vietor (obteká Karpaty). To spôsobuje prenos znečistenia z okrajových priemyselných

štvtí (v minulosti napr. zápachov z CHZJD) do centra mesta, čiastočne aj do petržalských sídlisk. Výskyt bezvetria a juhozápadného vetra je v Bratislave veľmi malý. Napr. Rača a Vajnory, napriek blízkosti k CHZJD, jeho zápachy prakticky nepocítovali. Podobne pre Podunajské Biskupice, Vrakuňu a Dolné Hony je vplyv Slovnaftu relatívne malý. Celá oblasť Ružinova je v smere prevládajúceho vetra z CHZJD (dnes Istrochem). Vzhľadom na vysoké rýchlosti však zápachy z CHZJD boli pocítované v oveľa menšej miere ako napr. pozdĺž Račianskej ulice smerom do mesta. V minulosti najviac znečistené oblasti mesta boli okolie CHZJD a TP2 smerom do centra mesta, okolie Slovnaftu v oboch hlavných smeroch vetra a Staré mesto (vykurovanie uhlím, doprava, ale aj vplyv priemyselných zdrojov z okrajových štvrtí). Vysoké koncentrácie SO<sub>2</sub>, sadzí, popolčeka, polycyklických aromatických uhľovodíkov, olova, benzénu, oxidu uhoľnatého sa pozorovali hlavne v zimnom polroku. Celoročne sa pocítovali zápachy, hlavne sírouhlika, sírovodíka a ďalších látok z CHZJD, čiastočne zo Slovnaftu, závodu Gumon a niektorých potravinárskych závodov. Koncentrácie týchto látok v bratislavskom ovzduší masívne poklesli za posledných 30 rokov (úmerne poklesu emisií). Súčasná prísna limitná hodnota pre kvalitu ovzdušia EÚ na celom území mesta prekračuje PM10 (častice menšie ako 10 µm) a mimo centrálnej mestskej oblasti tiež prízemný ozón (v letnom polroku). Na koncentráciách PM10 aj ozónu sa uplatňuje predovšetkým vysoké regionálne pozadie (sú prenášané na veľké vzdialenosti). Preto v nasledujúcich tabuľkách budú pre porovnanie uvedené aj výsledky meraní z regionálnej pozadovej stanici európskej siete EMEP - Topoľníky (nachádza sa 7 km od obce). V Bratislave sa v súčasnosti pozorujú najväčšie koncentrácie škodlivín v „kaňonoch“ husto zastavaných frekventovaných ulíc a križovatiek, kde dominuje vplyv mobilných zdrojov a je riziko prekračovania limitných hodnôt podľa súčasnej legislatívy, okrem už spomínaného PM10, pre oxidy dusíka, benzén a benzo(a)pyrén.

Oxid siričitý bol pôvodne dominantnou škodlivinou v ovzduší Bratislavy (aj ČSR) a jeho priemerné ročné koncentrácie (Tab. 8) na všetkých staniaciach bežne prekračovali limitnú hodnotu pre ochranu vegetácie podľa súčasnej legislatívy 20 µg.m<sup>-3</sup> (2 x 10<sup>-2</sup> mg.m<sup>-3</sup>). Potrebne je upozorniť, že hodnoty v niektorých nasledujúcich tabuľkách sa uvádzajú tak ako sú uvádzané v starších ročenkách, t.j. v 10<sup>-2</sup> mg.m<sup>-3</sup> (v desiatkach µg.m<sup>-3</sup>). V roku 1992 boli manuálne stanice nahradené 4 automatickými stanicami PHILIPS. Merania na Turbínovej ulici (pri Tp2) boli v roku 1999 zastavené. Výsledky meraní dokumentujú pokles koncentrácií pod prísnu limitnú hodnotu EÚ na všetkých staniaciach (Tab. 9). Od roku 2002 táto hodnota nebola prekročená. Priemerná ročná koncentrácia na pozadovej stanici v Topoľníkoch klesla od roku 2000 z hodnoty 8 na súčasné 3 µg.m<sup>-3</sup>.

Tab. 8 Priemerné ročné koncentrácie SO<sub>2</sub> v Bratislave v rokoch 1970–1991 v 10<sup>-2</sup> mg.m<sup>-3</sup> [2]

Lokalita	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Lamač	4	4	4	4	5	6	7	7	5	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3	2,3	2,3
Koliba	6	7	6	6	8	5	6	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3	2,3	2,4
Vajnory	3	2	3	1	3	4	4	4	3	2	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2	1,8	1,7
Trnavské mýto	11	9	10	8	12	15	10	9	6	6	6	4	4	4	5	6	5	5	3	3	2,9	-
Prievoz	6	6	4	5	6	7	4	5	4	4	3	3	4	3	4	4	4	3	2	2	1,2	1,4
Trnávka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	5	6	5	6	4	3	2,3	2,4
Pod.Biskupice	4	2	3	3	5	6	5	6	5	4	3	3	3	3	3	4	4	4	2	2	1,8	2,2
Rovinka	4	5	3	3	3	4	4	6	4	4	5	4	3	4	3	5	5	5	3	2	2,2	2,4
Petržalka	-	4	2	2	4	6	6	5	4	4	5	4	3	4	3	5	5	5	2	2	2,0	-
Priemer	5,4	4,8	4,2	3,9	5,4	6,7	5,4	5,7	4,1	3,8	3,8	3,3	3,2	3,4	3,7	4,4	4,2	4,2	2,5	2,4	2,1	2,1

Tab. 9 Priemerné ročné koncentrácie SO<sub>2</sub> v Bratislave v rokoch 1992–2005 v µg.m<sup>-3</sup>[19]

Lokalita	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Kamenné nám.	31	32	25	51	26	22	21	-	15	20	< 20			
Trnavské mýto	23	22	11	27	21	21	17	18	13	11	< 20			
Mamateyova	22	25	22	22	24	20	16	14	14	16	< 20			
Turbínova	25	51	20	21	29	36	17							
Topoľníky									8	6	6	3	3	3

Oxidy dusíka (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>) boli pôvodne (po SO<sub>2</sub>) druhou kvantitatívne najhojnejšou plynnou znečisťujúcou látkou. V súčasnosti, napriek poklesom emisií, sú už na prvom mieste. Oxidy dusíka začal SHMÚ systematicky sledovať v roku 1982. Nezohľadnenie strát spôsobených skladovaním vzoriek však viedlo k systematickému podceneniu meraných hodnôt v priemere asi o 50 %. Hodnoty v Tab. 10 majú preto len relatívny význam a uvádzajú sa len pre informáciu. Merania nepotvrdili žiaden významnejší trend koncentrácií. Pokles emisií zo stacionárnych zdrojov pravdepodobne vykompenzoval rast emisií z mobilných zdrojov. V roku 1992 boli zavedené automatické merania analyzátormi PHILIPS, ktoré koncom deväťdesiatych rokov boli nahradené chemoluminiscenčnými analyzátormi Thermoelectron a MLU. Výsledky zhŕňa Tab. 11. Stanica Trnavské mýto bola premiestnená z meteorologického observatória MFF UK

(vo dvore medzi budovami) priamo na križovatku. Zatiaľ čo na stanici Trnavské mýto od roku 1993 (povinné katalyzátory na nových vozidlách) koncentrácie NO<sub>x</sub>, napriek rastu dopravy, klesali (Tab. 11), na ostatných stanicích sa príliš nemenili. Treba však upozorniť, že v súlade s legislatívou EÚ, sa od roku 2002 monitoruje len NO<sub>2</sub>. Limitná hodnota pre ochranu ľudského zdravia (40 µg.m<sup>-3</sup> – ročný priemer) je stanovená len pre tento oxid. Hodnoty NO<sub>x</sub> v Bratislave sú takmer dvakrát vyššie. Z tabuľky vidno, že v posledných rokoch limitná hodnota pre ochranu ľudského zdravia v Bratislave nebola prekročená, avšak limitná hodnota pre ochranu vegetácie (NO<sub>x</sub> = 30 µg.m<sup>-3</sup> – ročný priemer) je prekračovaná prakticky v celom intraviláne mesta a aj v blízkosti diaľnic a výjazdov. Priemerná ročná požadovaná koncentrácia NO<sub>x</sub> v Topoľníkoch sa posledných 6 rokov pohybovala na úrovni 9–10 µg.m<sup>-3</sup>.

Tab. 10 Priemerné ročné koncentrácie NO<sub>x</sub> v Bratislave v rokoch 1982–1991 v µg.m<sup>-3</sup> [2]

Lokalita	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Lamač	-	29	22	25	28	26	25	27	29	29
Koliba	13	20	20	20	20	20	13	13	17	15
Trnavské mýto	20	33	28	24	29	31	29	26	34	-
Prievoz	15	28	23	23	25	31	28	32	31	30
Trnávka	22	36	37	38	39	36	33	40	39	35
Rovinka	-	23	19	24	23	26	19	17	23	24
Petržalka	-	15	20	25	16	27	25	22	29	-
Priemer	18	26	24	25	26	28	25	25	29	27

Tab. 11 Priemerné ročné koncentrácie NO<sub>x</sub> (do r. 2001) a NO<sub>2</sub> (od r. 2002) v Bratislave v rokoch 1993–2005 v µg.m<sup>-3</sup> [19]

Lokalita	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Kamenné nám.	51	44	45	40	44	48	61	44	57	32	40	34	32
Trnavské mýto	195	164	137	146	103	102	144	130	122	61	54	38	38
Mamateyova	48	32	44	48	56	56	49	54	66	35	33	28	27
Turbínova	57	54	48	70	36	44							
Koliba													15
Topoľníky NO								10	9	9	10	9	9

Znečistenie ovzdušia aerosólovými časticami (prašný spad, TSP, PM10, PM2,5) bolo a napriek významnému poklesu emisií ešte aj v súčasnosti zostáva vysoké. Je to dané geografickou polohou lokálnou klímou, najmä mimoriadnou veternosťou mesta. Z lokálnych zdrojov najväčšie emisie tuhých častíc (sadze a popolček) boli z energetických zdrojov a vykurovania na báze uhlia, z rozsiahlych stavenísk nových sídlisk a z rastúcej automobilovej dopravy (hlavne naftové motory). Hygienická služba začala merať prašné spady na území mesta v roku 1966. Najvyššie hodnoty sa pozorovali v okolí CHZJD a T<sub>p</sub> 2, a to vyše 3000 t.km<sup>-2</sup> (hygienický limit bol 150 t.km<sup>-2</sup> za rok). Vysoké hodnoty boli v celom intraviláne mesta (nad 500 t.km<sup>-2</sup>.r<sup>-1</sup>). Táto úroveň spadov pretrvávala až do roku 1971. Po tomto roku sa pozitívne prejavila náhrada uhlia mazutom v bratislavských teplárňach a postupujúca teplofikácia a plynofikácia mesta. Z údajov v Tab. 12 vidno, že prašné spady za obdobie 1966–1975 poklesli asi o 50 %. Prašný spad v okolí CHZJD a T<sub>p</sub> 2 poklesol z vyše 3000 na 600 t.km<sup>-2</sup>.r<sup>-1</sup>. V prašných spadoch sa uplatňujú predovšetkým veľké častice, ktoré sedimentujú v blízkosti zdrojov a suspenzia a resuspenzia častíc zo stavenísk a ulíc [5].

Koncentrácie aerosólu (TSP - Total Suspended Particles, niekedy označované ako polietavý prach) začal SHMÚ merať filtračne-gravimetrickou metódou v roku 1972. Výsledky sú zhrnuté v Tab. 13. Na Kolibe sa TSP meralo už od roku 1966 [1, 3]. Hodnoty boli podobné ako v prvej polovici sedemdesiatych rokov.

Tab. 12 Prašný spad v Bratislave v tonách na km<sup>2</sup> za rok (priemer z 22 odberových miest)

	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Prašný spad	569	471	569	539	465	460	274	269	251

V roku 1992 SHMÚ uviedol do prevádzky automatickú monitorovaciu sieť kvality ovzdušia v Bratislave. TSP sa monitorovalo na 4 lokalitách, pôvodne prachomerami PHILIPS (beta absorpcia), ktoré boli neskôr nahradené prístrojmi TEOM (automatické mikrováhy). Merania automatických prístrojov nie sú plne konzistentné s manuálnou (referenčnou) metódou. Korekčný faktor má default hodnotu 1,3 (používa ho aj SHMÚ). Výsledky meraní sú v Tab. 14. Po prijatí legislatívy EÚ boli TSP merania boli nahradené meraniami PM10 (TSP frakcia častíc menších ako 10 μm). V súčasnosti sa merania dopĺňajú aj o PM2,5 (častice menšie ako 2,5 μm). Prax, v súlade napr. s ČR, ukázala, že hodnoty TSP sa len málo líšia od PM10. Zatiaľ čo priemerné ročné koncentrácie PM10 v roku 2005 prekročili hodnotu 40 μg.m<sup>-3</sup> (limitná hodnota EÚ) len na Trnavskom mýte, priemerné denné koncentrácie 50 μg.m<sup>-3</sup> sú pravidelne prekračované na všetkých staniciach vo viac ako v povolených 35 dňoch. Pre porovnanie sú v tabuľke uvedené hodnoty z požadovej stanici Topoľníky (monitoruje TSP). Vidno, že regionálne

Tab. 13 Priemerné ročné koncentrácie TSP v Bratislave v rokoch 1972–1991 v 10<sup>-2</sup> mg.m<sup>-3</sup>[2]

Lokalita	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Lamač	7	6	7	7	6	6	5	5	6	8	8	8	7	5	6	9	8	8	6	6
Koliba	11	9	11	11	10	9	7	7	10	7	7	7	7	7	8	8	5	5	5	5
Vajnory	7	6	5	7	6	6	8	7	10	10	9	5	6	5	7	10	9	11	7	6
Trnavské mýto	14	12	10	10	10	9	11	9	9	12	13	7	8	5	7	10	10	12	10	-
Prievoz	10	9	6	10	8	8	9	6	9	9	9	7	7	5	6	10	11	11	10	8
Trnávka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	9	8	8	5	7	12	10	12	8	8
Pod. Biskupice	10	10	8	8	7	9	8	9	8	9	9	8	8	6	7	10	6	8	7	6
Rovinka	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	8	7	6	5	6	10	8	8	8	5
Petržalka	12	7	5	9	6	5	10	8	11	15	13	8	7	5	7	10	11	13	24	-
Priemer	10,1	8,4	7,3	8,8	7,6	7,4	8,2	7,3	9,0	10,6	9,4	7,3	7,1	5,3	6,8	9,9	8,5	9,7	9,3	6,5

pozadie TSP je vysoké a v súčasnosti už má rozhodujúci podiel na koncentráciách v meste. Koncentrácie TSP i PM10 závisia od meteorologických podmienok, vykazujú malý ročný chod s maximom v zime. TSP/PM10 má veľmi pestré zloženie. Podiel uhlíka (elementárny, organický, ...) je asi 40 %. Sírany, dusičnany a amónne soli sa podieľajú vyše 30 % (sírany v posledných troch dekádach klesali, dusičnany a amónne soli pôvodne rástli po roku 1990 tiež už klesajú). Asi 20 % tvoria SiO<sub>2</sub> a kremičitany. Zbytok tvoria chloridy, fosforečnany, fluoridy, alkalické kovy a zeminy, ťažké kovy a ďalšie látky.

Tab. 14 Priemerné ročné koncentrácie TSP (do roku 2001) a PM10 (od roku 2002) v Bratislave v rokoch 1992-2005 v  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  [19]

Lokalita	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Kamenné nám.	50	46	61	62	51	38	32	36	34	31	30	32	28	30
Trnavské mýto	54	47	34	-	-	21	39	40	48	43	47	42	37	41
Mamateyova	45	48	60	40	43	20	49	35	-	-	41	49	35	37
Turbínova	23	22	28	32	37	36	36							
Koliba														28
Topoľníky									31	29	23	32	20	20
Topoľníky TSP														

**Oxid uhoľnatý**, v koncentráciách v akých sa vyskytuje vo vonkajšom ovzduší, nemá vplyv na vegetáciu. Limitná hodnota EÚ pre ochranu ľudského zdravia je 10  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  (8 hodinový priemer). Emisia CO je dôsledkom nedokonalého spaľovania. V Bratislave to minulosti boli hlavne kotelne na uhlie a autá bez katalyzátorov. Podľa indikačných meraní hygienickej služby na bratislavských križovatkách v čase dopravných špičiek v rokoch 1970-71

sa koncentrácie pohybovali v intervale 1-40  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  [5]. Teplofikácia a plynofikácia Bratislavy, spolu s postupujúcou modernizáciou vozového parku udržali koncentrácie CO v osemdesiatych rokoch (podľa expedičných meraní SHMÚ a UDI Bratislava) na podobnej úrovni. Zásadným opatrením však bolo zavedenie katalytických konvertorov v roku 1993. Súčasná koncentrácia CO na celom Slovensku sú hlboko pod limitnú hodnotu. Napr. maximálna 8 h koncentrácia CO v Bratislave na Trnavskom mýte v roku 2005 bola 2,8  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  [19, 26].

**Sírovodík (H<sub>2</sub>S) a sírouhlík (CS<sub>2</sub>)** emitovalo niekoľko zdrojov v CHZJD (hlavne bývalý Závod mieru). V podstatne menšej miere H<sub>2</sub>S emitoval aj Slovnaft (napr. v čase preťaženia poľných horákov). SHMÚ v sedemdesiatych rokoch meral krátkodobé koncentrácie oboch škodlivín pomocou mobilného laboratória, a to vždy po vetre v miestach očakávaných maximálnych koncentrácií. Bežne sa merali 30 minútové koncentrácie CS<sub>2</sub> vyše 100  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a H<sub>2</sub>S v desiatkach  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , čo predstavovalo niekoľkonásobné prekročenie vtedajších hygienických noriem. Všetky zdroje uvedených látok boli v priebehu deväťdesiatych rokov odstavené. Koncentrácie H<sub>2</sub>S v súčasnosti očakávame takmer na úrovni pozadia, t.j. pod 1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  [2, 5].

**Prízemný ozón** predstavuje z hľadiska ochrany ľudského zdravia aj vegetácie osobitný problém. Formovanie lokálnej úrovne koncentrácií prízemného ozónu je veľmi zložitý proces. Lokálne efekty (titrácia ozónu v mestských centrách, produkcia ozónu v zvetri miest) sú v interakcii s horizontálnym transhraničným prenosom, resp. prenosom ozónu nadol z vyšších vrstiev atmosféry. Vysoké koncentrácie prízemného ozónu (tzv. fotochemické smogy) sa vyskytujú epizodicky v lete pri slnečnom a teplom anticyklonálnom počasí, kedy sa subsidencia z vyšších vrstiev a pomalý horizontálny prenos vzduchových hmôt bohatých na ozón z juhu, kombinujú s regionálnou fotochemickou produkciou ozónu z antropogénnych (uhľovodíky, oxidy dusíka a oxid uhoľnatý) aj prírodných (izoprén, terpény, oxidy dusíka z lesov a pôd) zdrojov prekurzorov [25]. Priemerné mesačné koncentrácie prízemného ozónu rastú s nadmorskou výškou (najvyššie hodnoty po celý rok sa monitorujú na Lomnickom štíte). Naopak, najvyššie krátkodobé koncentrácie sa pozorovali na juhozápadnom Slovensku (Bratislava, Topoľníky, ale v tom čase napr. aj Illmitz pri Neziderskom jazere) v čase epizód fotochemického smogu v strednej Európe. Koncentrácie prízemného ozónu v Európe sa za posledných 100 rokov viac ako zdvojnásobili. Po roku 1990 sa už na našom území významný trend nepozoroval. Je to prekvapujúce, vzhľadom na masívny pokles antropogénnych emisií prekurzorov v Európe, vrátane Slovenska (až o 50 % - Protokol EHK OSN o acidifikácii, eutrofizácii a prízemnom ozóne). Naopak, v mimoriadne teplom a suchom roku 2003 sa v celej strednej Európe monitorovali rekordné hodnoty.

Systematický monitoring prízemného ozónu v Bratislave (Koliba, Jeséniova ul. a Petržalka, Mamateyova ul.) sa zaviedol až po roku 1990. Možno však predpokladať,



že koncentrácie ozónu na juhozápadnom Slovensku v období 1970 až 1990 rástli asi o 1 % ročne. Neskôr sa už rast zastavil. Priemerné koncentrácie za posledných 10 rokov boli: Koliba 61  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , Petržalka 42  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a Topoľníky (Pod. nížina) 60  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zatiaľ čo Koliba a Topoľníky sa príliš nelíšia, Petržalka vykazuje o cca 30 % nižšie hodnoty (rozklad ozónu na mestskom znečistení ovzdušia). Určité zvýšenie priemerných koncentrácií ozónu v posledných rokoch, môže byť ovplyvnené ich nadnormálnou teplotou a tiež poklesom bratislavských emisií oxidov dusíka a uhľovodíkov (zníženie titračného účinku mestského znečistenia). Priemerná 8 h koncentrácia 120  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (limitná hodnota EÚ pre ochranu ľudského zdravia) je pravidelne prekračovaná vo viac ako povolených 25 dňoch. Vplyv prízemného ozónu na vegetáciu sa hodnotí podľa veľkosti expozičného indexu AOT40. AOT40 je suma prekročení úrovne 80  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (40 ppb) z 1 hodinových koncentrácií počas dňa (od 8 00 do 20 00 SEČ) od 1. mája do 31. júla. Cieľová hodnota AOT40 podľa legislatívy pre rok 2010 je 18 000  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  (priemer za 5 rokov). Výhľadovo sa predpokladá jej významné sprísnovanie. Hodnoty AOT40 za roky 2001–2005 boli: Koliba 22 158  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ , Petržalka 16 975  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  a Topoľníky 19 748  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ . To znamená, že s negatívnymi vplyvmi prízemného ozónu na vegetáciu, vrátane strát na poľnohospodárskej produkcii, treba na juhozápadnom Slovensku reálne počítať [19, 25, 26].

Ťažké kovy v ovzduší v Bratislave v rokoch 1970–1975 monitorovala hygienická služba formou krátkodobých odberov tuhého aerosólu (TSP – total suspended particles) na 10 najväčších bratislavských križovatkách v čase dopravných špičiek. Koncentrácie olova v porovnaní so súčasnosťou dosahovali extrémne vysoké hodnoty. Priemer zo všetkých meraní za uvedené obdobie bol vyše 4000  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  [5]. Limitná hodnota daná legislatívou je 500  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  (ročný priemer). Celomestský priemer arzenu bol v tom období okolo 40  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  (spaľovanie uhlia). Limitná hodnota je 5  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  (ročný priemer). Systematické merania kovov v TSP zaviedol SHMÚ v roku 1981. Výsledky za obdobie 1981–1987 z Bratislavy sú zhrnuté v Tab. 15.

Tab. 15 Priemerná ročná koncentrácia ťažkých kovov z 5 meracích staníc (Lamač, Koliba, Bajkalská, Rovinka, Petržalka) v  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  [17]

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Pb	298	279	235	234	186	133	180
Cu	113	139	39	52	65	48	37
Mn	85	89	44	36	41	37	40
Zn	-	-	278	174	232	190	220
Cd	6,2	4,6	3,4	2,2	1,8	1,5	2,0
Ni	-	-	-	-	-	106	84
Cr	-	-	-	-	-	-	6

Tabuľka dokumentuje pokles koncentrácií olova v ovzduší Bratislavy. Rozdiely medzi stanicami neboli veľké, vo väčšine rokov sa najvyššie koncentrácie olova pozorovali v Lamači, kde sa prejavoval príspevok Technického skla.

Podobné trendy sa pozorovali aj pri iných kovoch. Maximá ročného chodu koncentrácií boli pre všetky ťažké kovy v zime. Pokles koncentrácií ťažkých kovov v ovzduší súvisel s poklesom spotreby tuhých palív a poklesom obsahu olova v benzínoch. V roku 1980 bol obsah Pb v benzínoch okolo 500 mg/l. V roku 1993 bolo zavedené povinné používanie katalytických konvertorov na nových vozidlách a prevládol predaj bezolovnatých benzínov. Vylúčenie tuhých palív z mesta spolu s postupnou obmenou vozového parku viedli k súčasným koncentráciám ťažkých kovov v ovzduší Bratislavy (do roku 2001 sa Pb stanovovalo v TSP a od roku 2002 v PM10), a to v prípade olova v meste v priemere pod 30  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  a v pozadí Podunajskej nížiny (EMEP stanica v katastri obce Topoľníky) pod 15  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  (Tab. 16). Podobne pri ostatných ťažkých kovoch. Vo všetkých prípadoch sú súčasné koncentrácie hlboko pod limitné hodnoty dané legislatívou ochrany ovzdušia. EÚ legislatíva (transponovaná do slovenskej) vyžaduje monitoring 5 kovov (Pb, Cd, As, Ni a Hg). Výsledky meraní sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke. Ortuť v ovzduší Bratislavy sa systematicky zatiaľ nemonitoruje. K dispozícii sú len výsledky meraní z rokov 1996–97, získané v rámci PHARE projektu [20, 24]. Meralo sa na piatich lokalitách (Kamenné nám., Trnavské mýto, Turbínová ul., Petržalka a Podunajské Biskupice). Priemerné koncentrácie plynnej Hg na týchto staniaciach boli v intervale 3,2–3,8  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ , čo zodpovedalo stredoeurópskemu pozadiu. Koncentrácie časticovej Hg v PM10 boli podstatne nižšie (cca 10 % plyných). Vzhľadom na európsky trend Hg, odhadujeme súčasné priemerné koncentrácie plynnej ortuti v Bratislave v intervale 2–3  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ .

**Benzén** patrí medzi látky s karcinogénnym účinkom. Najväčšie zdroje benzénu v Bratislave sú Slovaft, čerpacie stanice pohonných hmôt a najmä automobilová doprava (výfuky, dýchanie nádrží). Pôvodne benzíny na Slovensku obsahovali až 4 % benzénu. Obsah benzénu sa postupne znižoval na dnešných asi 0,7 %. Od roku 1993 sú nové automobily povinne vybavované trojcestnými katalytickými konvertormi a uhlíkovými filtrami na nádržiach. Čerpadlá pohonných hmôt musia používať zariadenia na odsávanie benzínových pár pri čerpaní. Predpokladá sa, že uvedené opatrenia viedli, napriek veľkému nárastu intenzity dopravy, k určitému poklesu emisií benzénu. Presné čísla zatiaľ absentujú. Prvé merania koncentrácií benzénu v bratislavskom ovzduší sa vykonali až v rámci PHARE projektu v r. 1996–67 [20]. Priemerné ročné koncentrácie na 5 bratislavských lokalitách boli medzi 1,3–3,6  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (najvyššia hodnota na Trnavskom mýte). Na pozadovej stanici Topoľníky v Podunajskej nížine bola priemerná koncentrácia v tom čase 0,9  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Legislatíva EÚ predpisuje povinný monitoring benzénu. Merania boli zavedené v roku 2003. Priemerná ročná koncentrácia benzénu v roku 2005 bola na Trnavskom mýte 2,9  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  a v Petržalke na Mamateyovej ul. 2,7  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Priemerné požadové koncentrácie sa v súčasnosti pohybujú pod 1  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Limitná hodnota pre ročný priemer (daná legislatívou) je 5  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Tab. 16 Priemerné ročné koncentrácie As, Cd, Ni a Pb [ng.m<sup>-3</sup>] v Bratislave v TSP do roku 2001 a v PM10 od roku 2002 [19]

Bratislava	As	Cd	Ni	Pb	As	Cd	Ni	Pb	As	Cd	Ni	Pb	As	Cd	Ni	Pb
	1994				1995				1996				1997			
Kamenné námestie		1,0		57		0,6		40		1,1		64		0,6		75
Mamateyova		0,9		36		0,8		37		1,3		79		0,6		94
Trnavské mýto		0,8		53		0,8		58		1,0		50		0,6		56
Koliba		0,8		39		0,9		38		0,7		37		0,6		38
	1998				1999				2000				2001			
Kamenné námestie		0,6		40		0,9		29		0,7		37		0,3		35
Mamateyova		0,6		32		1,1		36		0,7		41		0,5		39
Trnavské mýto		0,6		32		1,5		28		0,7		36		0,6		20
Koliba		0,5		19		0,6		16		0,7		24		0,1		23
	2002				2003				2004				2005			
Kamenné námestie	0,9	0,7	2,0	27	2,0	1,1	4,0	34	0,9	0,3	1,7	26	1,8	0,4	3,0	26
Mamateyova	1,1	0,7	1,9	31	2,5	1,6	2,4	43	1,0	0,3	2,1	27	1,7	0,4	2,9	31
Trnavské mýto	1,3	0,9	2,6	28	2,2	1,1	3,2	30	1,0	0,3	4,2	23	1,6	0,5	4,2	24
Koliba	0,9	0,6	1,5	22	2,0	1,2	2,0	26	0,9	0,3	1,7	20	1,8	0,4	2,7	19
Topoľníky TSP	1,7	0,6	2,0	18	2,1	0,5	1,9	18	1,0	0,3	1,1	12	1,0	0,3	1,0	14

**Polychlórované bifenyly** pre svoje fyzikálne a chemické vlastnosti našli široké priemyselné uplatnenie v elektrotechnike, tepelnej technike, hydraulike, náterových hmotách a pod. Chemko Strážske v rokoch 1959–1984, kedy bola produkcia zastavená, vyrobil vyše 20 000 ton týchto látok. Emisia PCB na Slovensku bola podľa národného inventarizačného systému v roku 1996 131 kg, v roku 2005 37 kg. PCB v Bratislave sa merali len počas PHARE projektu v rokoch 1966–1967, a to na 5 lokalitách [20, 21]. Sledovalo sa 7 hlavných kongenérovaných PCB č. 28, 52, 101, 118, 138, 153 a 180. Sumárne koncentrácie PCB na všetkých lokalitách boli v priemere medzi 100–200 pg.m<sup>-3</sup>. Výnimkou bola len Turbínová ul. (blízko Tp-II a CHZJD), kde priemer bol vyše 500 pg.m<sup>-3</sup>, čo bola najvyššia hodnota zo všetkých dvadsiatich sledovaných lokalít na Slovensku (vrátane Strážskeho). Na pozadovej stanici Topoľníky sa v tom čase nameralo 86 pg.m<sup>-3</sup>. Súčasná koncentrácia PCB v ovzduší Bratislavy očakávame asi 4-krát nižšie (v súlade s poklesom emisii).

**Polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH-y)** unikajú do ovzdušia pri nedokonalom spaľovaní uhlia, dreva, tekutých palív aj odpadov, ďalej z viacerých technológií, dopravy aj fajčenia. Riziko PAH-ov spočíva v ich karcinogénnom účinku. Markerom PAH-ov v ovzduší je podľa legislatívy EÚ karcinogénny benzo(a)pyrén (BaP). Cieľová hodnota BaP pre rok 2010 je stanovená pre ročný priemer 1 ng.m<sup>-3</sup>. BaP na bratislavských križovatkách merala hygienická služba už začiatkom 70-tych rokov. V tom čase bolo uhlie hlavným palivom. Bežne sa monitorovali koncentrácie BaP rádo vo desiatkach ng.m<sup>-3</sup> [5]. Počas PHARE projektu v rokoch 1996–1967 sa priemerné ročné koncentrácie BaP na 5 monitorovaných lokalitách pohybovali medzi 1,8 až 3,2 ng.m<sup>-3</sup> (najviac na križovatke Trnavské mýto). Pozadová

stanica Topoľníky v Podunajskej nížine vykázala priemernú ročnú koncentráciu 1,1 ng.m<sup>-3</sup> [20, 22]. Zavedenie katalyzátorov pre automobily, vytlačenie uhlia v mesta, modernizácia spaľovne komunálneho odpadu a zníženie množstva spracúvanej ropy v Slovnafte viedli k poklesu koncentrácií PAH-ov. 4. dcérska direktíva EÚ ukladá členským štátom povinnosť systematicky monitorovať BaP. Tieto merania zaviedol SHMÚ až v druhej polovici roku 2006. Prvé merania ukazujú, že koncentrácie BaP v Bratislave sa pohybujú na Trnavskom mýte okolo 1 ng.m<sup>-3</sup>. Pokles koncentrácií približne zodpovedá celoslovenskému poklesu emisií PAHov zo 41886 kg v roku 1990 (z toho BaP 14131 kg) na 16826 kg v roku 2004 (z toho BaP 4959 kg) [19]. Rastú však obavy z návratu k spaľovaniu uhlia, dreva a aj odpadov u drobných spotrebiteľov, najmä na vidieku, v dôsledku nárastu cien zemného plynu a poplatkov za likvidáciu odpadov.

**Zlúčeniny fluóru (fluórovodík, fluoridy)** sa dostávajú do ovzdušia takmer výlučne z technologických procesov (výroba hliníka, priemyselných hnojív, fluórovaných uhľovodíkov, ...). V Bratislave bola emisia zlúčenín fluóru registrovaná len ako minoritná emisia z výroby agrochemikálií v CHZJD, ktorá bola zrušená. Zlúčeniny fluóru sa v Bratislave nemerajú. Súčasná koncentrácia v ovzduší a zrážkach sa predpokladajú na úrovni pozadia.

**Chemické zloženie zrážkových vôd** sa systematicky sleduje v Bratislave na Kolibe na observatóriu SHMÚ od roku 1977. Do konca roku 1990 sa vzorky odoberali na streche ústavu, a to prvé dva roky do otvorených nádob (bulk sampling), neskôr do zorkovača, ktorý sa automaticky otváral prvými kvapkami dažďa (wet only sampling). V tom čase bola vo výstavbe nová budova ústavu (možná lokálna kontaminácia pôdnymi časticami). Od roku 1992 sa merania vykonávajú

1,5 m nad povrchom v areáli meteorologického observatória (wet only sampling). Ročné vážené priemery (na mesačné zrážkové úhrny) koncentrácií hlavných prímiesí v zrážkovej vode sú uvedené v Tab. 17. Zatiaľ čo koncentrácie kationov, aj z vyššie uvedených dôvodov kolísali, koncentrácie síranov, dusičnanov a amónnych solí klesali a po roku 2000 už prakticky dosiahli požadovú hodnotu. Pokles približne sledoval pokles európskych emisií týchto látok. Veľmi vysoké koncentrácie sodíka paralelne s chloridmi, ktoré sa v niektorých rokoch vyskytli v zime, možno pripísať vplyvu solenia ciest. Fluoridy a fosforečnany sa v osemdesiatych rokoch v zrážkach sledovali len nepravidelne. Koncentrácie boli často pod detekčnú úroveň používanej metodiky. Priemerné ročné koncentrácie fluoridov na Kolibe sa pohybovali v desiatkach  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , fosforečnanov boli cca trikrát nižšie. V roku 2003 boli merania zastavené. Pre doplnenie tab. 17 uvádza hodnoty z Topoľníkov.

### Záver

Vývoj znečistenia ovzdušia v Bratislave za posledných 50 rokov možno označiť ako priaznivý. V 70-tych rokoch dominovalo znečistenia ovzdušia z lokálnej energetiky,

priemyslu a vykurovania (najmä spaľovanie uhlia). Postupná náhrada uhlia, najprv tekutými palivami a neskôr plynom, znižovanie emisií z priemyslu a ďalšie opatrenia viedli k poklesu klasického znečistenia (oxid siričitý, sadze, popolček, zápachy). Na druhej strane narastalo automobilové znečistenie (rast počtu vozidiel bez katalyzátorov). Nová legislatíva ochrany ovzdušia, založená na emisných limitoch, povinné katalyzátory na autách, reštrukturalizácia priemyslu, rast energetickej efektívnosti a iné opatrenia viedli k významnému zlepšeniu všetkých ukazovateľov kvality ovzdušia. Najväčším zdrojom znečisťovania ovzdušia v Bratislave je v súčasnosti automobilová doprava. Limitné hodnoty Európskej únie prekračuje PM10 (s najväčšou pravdepodobnosťou bude aj PM2,5 a PM1, merania sa len zavádzajú) a prízemný ozón. V oboch prípadoch na úrovni koncentrácií participuje vysoký podiel diaľkového (transhraničného) prenosu. Riziko prekročenia limitných hodnôt, na monitorovacích stanicích dopravného typu, je pre oxid siričitý, benzén a benzo(a)pyrén [26].

Tab. 17 Chemické zloženie atmosferických zrážok (ročné vážené priemery) [2, 19]

Lokalita	Rok	zrážky mm	pH	vodivosť $\mu\text{S/cm}$	$\text{Na}^+$ mg/l	$\text{K}^+$ mg/l	$\text{Mg}^{2+}$ mg/l	$\text{Ca}^{2+}$ mg/l	$\text{Cl}^-$ mg/l	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ mg/l	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ mg/l	$\text{SO}_4^{2-} - \text{S}$ mg/l	
Bratislava - Koliba	1977	538	4,14	67,1	0,23	0,24	0,23	1,44	0,48	1,24	0,78	4,23	
	1978	449	4,24	110,7	0,56	0,56	0,54	4,59	1,39	3,41	1,60	8,03	
	1979	699	4,42	67,1	0,26	0,17	0,33	2,41	0,71	1,55	0,74	4,73	
	1980	635	4,19	63,3	0,16	0,24	0,21	2,23	0,73	1,68	0,85	4,43	
	1981	575	4,00	82,2	0,33	0,21	0,33	2,36	0,98	1,46	1,13	3,93	
	1982	565	4,39	51,2	0,17	0,20	0,18	1,66	0,56	1,86	0,74	3,54	
	1983	552	4,51	37,4	0,13	0,12	0,12	1,12	0,37	1,04	0,58	2,15	
	1984	678	4,31	48,7	0,17	0,16	0,14	1,28	0,50	1,55	0,79	2,99	
	1985	752	4,44	48,4	0,14	0,13	0,18	1,26	0,45	1,64	0,89	3,02	
	1986	483	4,63	55,3	0,23	0,20	0,28	2,29	0,75	1,88	1,08	3,70	
	1987	758	4,49	44,7	0,18	0,13	0,17	1,62	0,54	1,39	0,84	2,81	
	1988	633	4,58	48,9	0,16	0,29	0,16	1,39	0,43	1,63	0,99	2,65	
	1989	541	4,51	47,8	0,14	0,16	0,16	1,20	0,40	1,99	1,02	2,97	
	1990	608	4,9	40,0	0,10	0,20	0,15	1,17	0,46	1,77	0,92	2,71	
	1991												
	1992	544	5,8	37,2	0,76	0,27	0,32	2,24	1,46	1,35	0,80	2,07	
	1993	593	5,5	31,1	0,76	0,24	0,18	1,63	1,68	1,22	0,72	1,61	
	1994	609	5,6	32,7	0,84	0,26	0,16	2,03	1,72	1,10	0,62	1,27	
	1995	881	5,3	28,6	0,57	0,40	0,34	2,19	0,79	1,65	0,75	1,40	
	1996	808	5,1	30,6	0,32	0,17	0,10	1,58	1,42	1,31	0,62	1,56	
1997	701	5,0	24,1	0,27	0,20	0,09	1,01	0,88	0,85	0,54	1,05		
1998	687	5,0	22,2	0,15	0,16	0,08	0,76	0,50	0,86	0,59	1,10		
1999	698	5,1	22,1	0,27	0,22	0,10	0,76	0,77	0,72	0,54	0,94		
2000	638	5,2	20,9	0,19	0,20	0,14	0,77	0,42	0,64	0,60	1,00		
2001	556	5,1	23,8	0,18	0,18	0,17	1,51	0,39	0,79	0,67	1,12		
2002	759	5,7	19,6	0,33	0,27	0,15	1,45	0,38	0,58	0,50	0,79		
Topoľníky	2002	583	4,6	28,6	0,30	0,21	0,11	1,05	0,39	0,29	0,69	0,97	
	2003	368	4,8	21,5	0,27	0,21	0,09	0,62	0,35	0,57	0,48	0,86	
	2004	571	4,8	16,2	0,31	0,24	0,05	0,33	0,22	0,60	0,39	0,67	
	2005	619	5,0	15,2	0,20	0,13	0,07	0,41	0,25	0,52	0,35	0,52	

$\text{SO}_4^{2-}$  - prepočítané na síru,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  - prepočítané na dusík

## Literatúra

- [1] Závodský, D., 1967, Sledovanie koncentrácie vzdušného aerosólu v prízemnej vrstve v Bratislave na Kolibe. Meteorologické zprávy 20, 5, s. 128–130.
- [2] Ročenky meraní znečistenia ovzdušia SR za roky 1970 až 1990, SHMÚ Bratislava.
- [3] Závodský, D., 1972, Závislosť znečistenia ovzdušia Bratislavy od meteorologických činiteľov. Kandidátska dizertačná práca, UMK SAV, Bratislava 172 s.
- [4] Hesek, F. – Rak, J. – Závodský, D., 1973, Izučenie polja koncentracii SO<sub>2</sub> v Bratislave. Időjárás 77, 1, s. 25–34.
- [5] Hlucháň, E. – Kokolevský, L. – Babušík, I., 1975, Znečistenie ovzdušia v Bratislave. Záverečná správa P-16-531-102-01, SHMÚ, MHS a VÚH, Bratislava 127 s.
- [6] Schlosser, L. – Závodský, D. – Babušík, I., 1975, Výskum znečistenia prízemnej vrstvy ovzdušia v oblasti Bratislavy. Záverečná správa za úlohu P-16-532-106-0, HMÚ Bratislava, 120 s.
- [7] Závodský, D. et al., 1978, Správa o vývoji znečistenia ovzdušia vo vybraných oblastiach SSR za roky 1970 až 1977. HMÚ Bratislava, 98 s.
- [8] Konček, M. et al., 1979, Klíma a bioklíma Bratislavy. VEDA Vydavateľstvo SAV Bratislava, 268 s.
- [9] Rak, J. – Závodský, D., 1979, Znečistenie ovzdušia vo vybraných oblastiach Slovenska. Ochrana ovzduší, 11, 4, s. 49–62.
- [10] Závodský, D., 1979, Vývoj znečistenia ovzdušia v Bratislave. In: Zborník z konferencie Súčasný stav a vývoj životného prostredia hl.m. SSR Bratislavy, ČSVTS Bratislava, s. 84–90.
- [11] Závodský, D. et al., 1980, Analýza vývoja znečistenia ovzdušia vo vybraných oblastiach SSR. Správa za úlohu P-16-531-106-01, HMÚ Bratislava, 93 s.
- [12] Rak, J. – Závodský, D., 1982, Súčasný stav a predpokladaný vývoj znečistenia ovzdušia hl.m. Bratislavy. Bulletin čistota ovzdušia, SHMÚ Bratislava, 2, s. 1–11.
- [13] Červený, J. et al., 1984, Podnebí a vodní režim ČSSR. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 414 s.
- [14] Závodský, D. – Schlosser, L. – Kozakovič, L., 1984, Vývoj znečistenia ovzdušia Bratislavy. In: Zborník z konferencie Súčasný stav a tendencie vo vývoji ŽP hl. m. SSR, ČSVTS Bratislava, s. 87–96.
- [15] Závodský, D. et al., 1985, Analýza vývoja znečistenia ovzdušia vo vybraných oblastiach SSR. Príloha k záverečnej správe za úlohu P-16-531-106, HMÚ Bratislava, 173 s.
- [16] Závodský, D. – Brežná, M., 1986, Ťažké kovy v ovzduší Bratislavy. Ochrana ovzduší 18, 7, s. 97–99.
- [17] Brežná, M. – Závodský, D., 1989, Ťažké kovy v atmosférickom aerosóle na území Slovenska. Ochrana ovzduší 3, 6, s. 144–148.
- [18] Závodský, D. – Babušík, I. – Kozakovič, L., 1989, Vývoj znečistenia ovzdušia Bratislavy. In: Zborník zo IV. konferencie o súčasnom stave a perspektívach ŽP hl.m. SSR, Piešťany, Mestská rada ČSVTS Bratislava, s. 59–69.
- [19] Správy o kvalite ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečisťovaní v Slovenskej republike 1992 až 2005. SHMÚ a MŽP SR, Bratislava.
- [20] Project PHARE EU/93/AIR/22 „Local studies of air quality in the cities of Bratislava and Košice, national needs assessment of air pollution“, 1998, final report, volumes 1–7, D'Appolonia S.p.A., Genova, Italy.
- [21] Lihanová, Ž., 2001, PCBs in ambient air in Slovakia. Meteorologický časopis 4, 3, s. 41–45.
- [22] Szabóová, J., 2003, Polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air in Slovakia. Meteorologický časopis 6, 3, s. 31–40.
- [23] Spišáková, K. – Sajtáková, E. – Závodský, D., 2003, Emission of air pollutants in the Slovak Republic. Meteorologický časopis 6, 4, s. 11–16.
- [24] Brežná, M. – Klimeková, A. – Závodský, D., 2003, Atmospheric mercury in Slovakia. Meteorologický časopis, 6, 2, 19–29.
- [25] Hrouzková, E. – Kremler, M. – Závodský, D., 2004, Ground level ozone in Slovakia. Meteorologický časopis 7, 1, s. 174–24.
- [26] Hodnotenie kvality ovzdušia v Slovenskej republike 2005. SHMÚ, MŽP SR, 2006, 116 s.