

Vedecká rada Fakulty matematiky, fyziky a informatiky
Univerzita Komenského v Bratislave

RNDr. Jana Merešová

Autoreferát dizertačnej práce

Radioactivity of Atmospheric Aerosol Particles
and their Elemental Contents

Na získanie vedecko-akademickej hodnosti *philosophiae doctor*
v odbore doktorandského štúdia:
11–24–9 Jadrová a subjadrová fyzika

Bratislava 2008

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre jadrovej fyziky a biofyziky, Fakulty matematiky, fyziky a informatiky, Univerzity Komenského v Bratislave.

Predkladateľ: RNDr. Jana Merešová
Katedra jadrovej fyziky a biofyziky
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK
842 48 Bratislava
j.meresova@gmail.com

Školiteľ: Doc. RNDr. Ivan Sýkora, PhD.
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK

Oponenti: Prof. Ing. Vladimír Nečas, PhD., FEI STU Bratislava
RNDr. Miroslav Kubů, RÚVZ Bratislava
Ing. Ivo Světlík, PhD., ÚJF AV ČR Praha

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa o h

na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, miestnosť č. F1 377 pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce doktorandského štúdia vymenovanou dňa predsedom spoločnej odborovej komisie vo vednom odbore 11–24–9 Jadrová a subjadrová fyzika.

Predseda spoločnej odborovej komisie:

Prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc.
FMFI UK, 842 48 Bratislava

Obsah

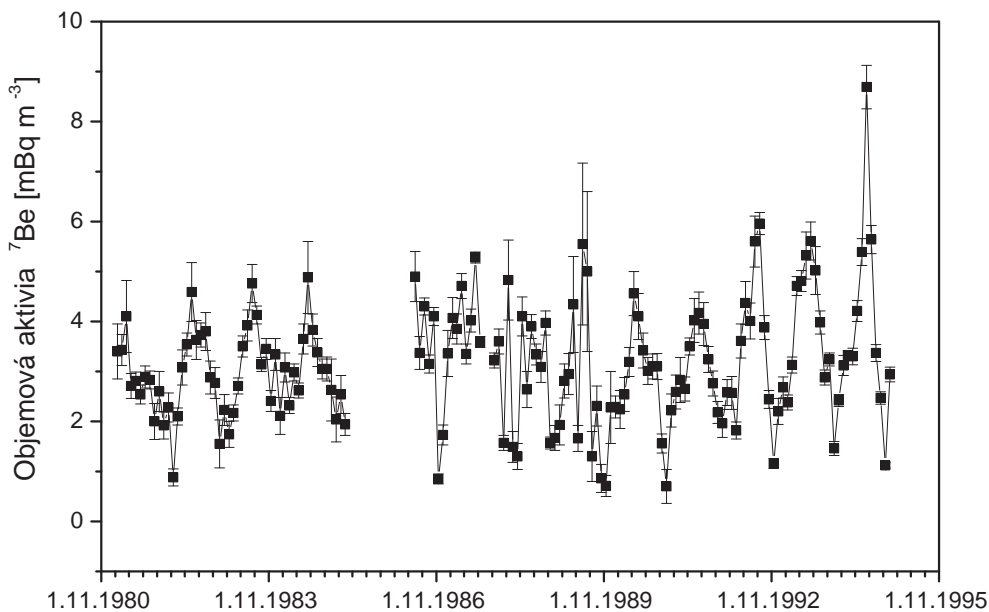
1	Úvod	1
1.1	Ciele dizertačnej práce	3
2	Experimentálne metódy	4
2.1	Odber vzoriek atmosférických aerosólov a dažďovej vody	4
2.2	Gamaspektrometrické meranie	4
2.3	Neutrónová aktivačná analýza	6
3	Dosiahnuté výsledky	8
3.1	Rádioaktivita atmosférických aerosólov	8
3.2	Rádioaktivita v zrážkach	9
3.3	Vertikálny profil koncentrácie ^7Be	12
3.4	Prvkové zloženie atmosférických aerosólov	13
4	Záver	17
5	Summary	18
6	Publikačná činnosť	22

1 Úvod

Predkladaná práca zameriava svoju pozornosť na atmosféru, ktorá je jednou z najväčších a najdynamickejších zložiek životného prostredia. Polutanty, ktoré sa dostanú do atmosféry, sa v nej šíria veľmi rýchlo a na veľké vzdialenosti bez toho, že by sme mohli ovplyvniť ich pohyb. Preto je potrebná neustála kontrola kvality ovzdušia, ktorá včas upozorní na prípadné úniky nežiadúcich látok. Popri chemických ukazovateľoch je rádioaktivita atmosféry v súčasnosti jedným zo základných parametrov, ktoré je potrebné sledovať. V minulosti dochádzalo k častému znečisťovaniu atmosféry antropogénnymi rádionuklidmi a to skúškami jadrových zbraní a počas havárií jadrove-energetických zariadení. Najvýznamnejšími sú havária vo Windscale - Anglicko (1957), v Three Mile Island - USA (1979) a Černobyľská havária - ZSSR (1986). Došlo pri nich k veľkým únikom rádioaktivity do životného prostredia, napríklad černobyľské ^{137}Cs možno ešte aj dnes merať v atmosférických aerosóloch. V súčasnosti už prísne bezpečnostné opatrenia znižujú pravdepodobnosť havárie takéhoto rozsahu na minimum, avšak aj dnes jadrové elektrárne a prepracovateľské závody vypúšťajú malé množstvá rádioaktivity do prostredia. Taktiež využívanie rádionuklidov v priemysle, medicíne a výskume má nepatrný vplyv na hladinu rádioaktivity vo vzduchu. Pravidelné monitorovanie rádioaktivity v životnom prostredí umožňuje hodnotiť jej úroveň a dopad prírodných i umelých rádioizotopov na život a zdravie ľudí.

Nielen rozvoj civilizácie ale aj jej trvalé udržanie je možné len za splnenia podmienky maximálneho možného zníženia záťaže životného prostredia zo strany človeka. K riešeniu tohto komplexného problému sú potrebné detailné vedomosti o procesoch prebiehajúcich v prírode a práve environmentálna fyzika je užitočným prostriedkom na poznávanie týchto javov na lokálnej ako aj na globálnej úrovni. Rádioaktívne látky, prírodné i antropogénne, možno využiť ako indikátory mnohých prírodných pochodov. Možno týmto spôsobom objasňovať dynamiku a vlastnosti základných zložiek životného prostredia: atmosféry, hydrosféry, litosféry alebo biosféry. Dobrým príkladom je rádionuklid ^{14}C , pomocou ktorého je možné študovať skleníkový plyn CO_2 .

Kozmogénne rádionuklidy, ktoré sú produkované vo vyšších vrstvách atmosféry, sa často využívajú ako stopovače rôznych atmosférických polutantov. Práve ^7Be je najčastejšie používané v štúdiách atmosférickej dynamiky vďaka primeranej dobe polpremeny (53.5 dní), vhodnej energii gama-kvanta (477.5 keV) emitovaného pri rádioaktívnej premene a dobre známemu zdroju. Používa sa na štúdium vertikálnych a horizontálnych transferov vzdušných mäs [Raisbeck81], transportu aerosólov v rámci troposféry a najmä na sledovanie výmenných procesov medzi troposférou a stratosférou. ^7Be spoločne s ^{10}Be sa využívajú na štúdium atmosférickej cirkulácie [Bhandari66], [Koch98]. ^7Be nie je aplikované iba v atmosférickom výskume, ale aj v ďalších environmentálnych štúdiách.



Obrázok 1: Variácie objemovej aktivity ${}^7\text{Be}$ v prízemnej atmosfére Bratislavy v rokoch 1981 - 1994 [Ďurana96].

Používa sa napríklad na odhad rýchlosti pôdnej erózie [Blake99], [Wilson03]. Young a Silker pomocou koncentrácií ${}^7\text{Be}$ stanovili rýchlosť depozície, ktorú potom použili na výpočet koncentrácií iných polutantov, ako napr. olovo alebo meď [Young80].

Ďalším rádionuklidom, ktorý sa často využíva v atmosférických štúdiách, je ${}^{210}\text{Pb}$. Nakoľko je ${}^{210}\text{Pb}$ dcérskym produktom plynného ${}^{222}\text{Rn}$, používa sa ako stopovač polutantov, ktoré majú pôvod v rôznych plynných zložkách atmosféry. Sú to napríklad sírany [Turekian89], [Graustein83], alebo ortuť [Lamborg00]. ${}^{210}\text{Pb}$ je tiež využívané v geofyzikálnych výskumoch [El-Daoushy88].

Jednou z najpoužívanejších metód na stanovenie prvkového zloženia atmosférických aerosólov je neutrónová aktivačná analýza [Frontasyeva06]. Vedomosti o zložení aerosólov sú potrebné jednak z dôvodu hodnotenia ich vplyvu na zdravie obyvateľstva, ale aj pre odhad dopadu na životné prostredie, nakoľko aerosóly ovplyvňujú mnohé atmosférické procesy. Sú to napríklad vznik oblakov alebo odraz slnečného žiarenia.

Na Katedre jadrovej fyziky a biofyziky UK Bratislava je dlhá tradícia v meraní rádioaktivity aerosólovej zložky atmosféry. Táto práca je pokračovaním predchádzajúcich štúdií [Povinec88], [Ďurana96]. Na obrázku 1 sú prezentované variácie atmosférických koncentrácií kozmogénneho rádionuklidu ${}^7\text{Be}$ v Bratislave z obdobia rokov 1981 - 1994.

1.1 Ciele dizertačnej práce

- Základ tejto dizertačnej práce spočíva v meraní časových variácií rádioaktivity aerosólov v prízemnej vrstve atmosféry a v zrážkach. Konkrétne sa jedná o rádionuklidy ^7Be , ^{210}Pb , ^{137}Cs a ^{40}K . Cieľom je získať dôveryhodné experimentálne údaje z čo najdlhšieho obdobia, najlepšie niekoľkých rokov. To kladie vysoké nároky na odberové ako aj na detekčné zariadenie. Pre ďalšie spracovanie a využitie týchto dát je dôležité aby pokrývali časový interval rovnomerne a kontinuálne. Pre zabezpečenie stability a optimalizáciu podmienok odberu a merania rádioaktivity v aerosóloch a v dažďovej vode je potrebná detailná analýza jednotlivých vplyvov.
- Získané dáta objemových koncentrácií jednotlivých rádionuklidov vo vzduchu a v zrážkach, korigované príslušnými korekčnými faktormi, možno ďalej spracovať rôznymi štatistickými analýzami. Medzi najdôležitejšie a najvýznamnejšie patrí korelácia koncentrácií rádionuklidov s meteorologickými faktormi, ako teplota vzduchu, barometrický tlak, atď. Korelačné koeficienty nám umožnia ohodnotiť účinok a význam jednotlivých javov vplyvajúcich na variácie koncentrácií rádionuklidov v aerosólovej zložke ovzdušia. Periodogram vytvorený Fourierovou analýzou môže odhaliť a objasniť ďalšie súvislosti. Mapuje spektrálne zložky časového priebehu koncentrácie rádionuklidu a indikuje vplyv prípadných cyklických javov.
- Práca sa ďalej zaoberá problematikou transportných procesov v rámci troposféry a nižšej stratosféry. Prostredníctvom merania zmien koncentrácie kozmogénneho rádionuklidu ^7Be v prízemnej atmosfére a v zrážkach je možné študovať atmosférické pochody ako sú difúzia aerosólov vo vzduchu a ich vymývanie zrážkami. Cieľom je vytvoriť model, ktorý by popisoval vertikálny transport ^7Be .
- Rozborom vzoriek filtrov pomocou neutrónovej aktivačnej analýzy možno stanoviť prvkové zloženie atmosférických aerosólov. Tieto údaje poskytujú dôležité informácie o kvalite ovzdušia a zdrojoch znečistenia v Bratislave, ako aj o ich vplyve na ľudské zdravie.

2 Experimentálne metódy

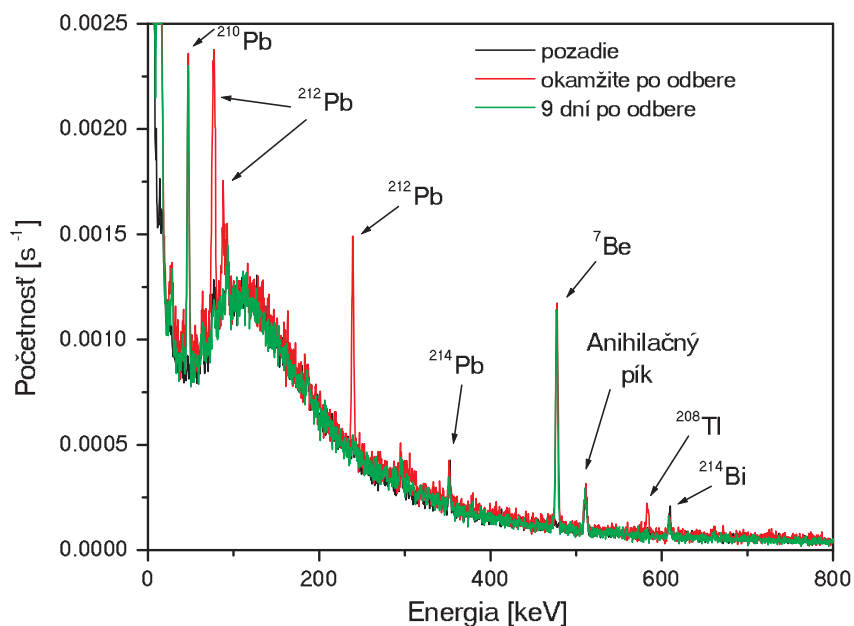
2.1 Odber vzoriek atmosférických aerosólov a dažďovej vody

Aerosóly sú zachytávané na špeciálne nitro-celulóзовé filtre s veľkosťou pórov $0.85 \mu\text{m}$. Účinnosť záchytu týchto filtrov je takmer 100%. Vzduch je prečerpávaný priemernou rýchlosťou $80 \text{ m}^3 \text{ hod}^{-1}$ vo výške 2.85 m nad zemou v areáli meteorologickej stanice FMFI UK Bratislava. Jeden odber trvá 7 dní a v priemere sa za túto dobu prečerpá $13\,000 \text{ m}^3$ vzduchu.

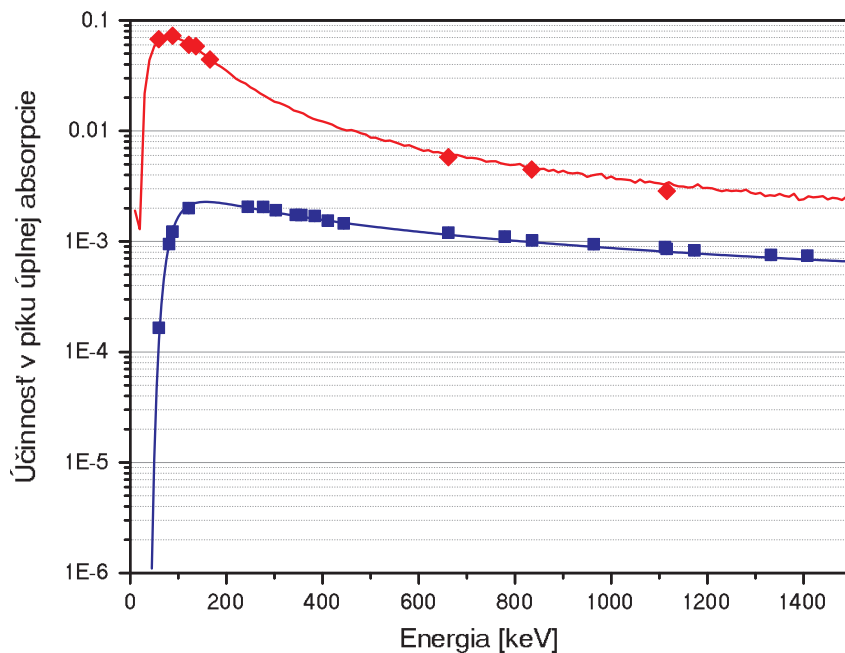
Na odber dažďovej vody sa používa vzorkovač atmosférického spádu. Jeho odberová nádoba je skonštruovaná v tvare obráteného ihlanového lievika s plochou odberu 1 m^2 . Spodná časť nádoby je ukončená výtokovou rúrou, cez ktorú odobratá vzorka vyteká do 25 l zásobnej nádoby. Do vzorky sa pridáva HNO_3 s cieľom zabrániť záchytu častíc na stenách nádoby. Mesačná vzorka sa potom odparí do sucha a spáli.

2.2 Gamaspektrometrické meranie

Vzorky aerosólových filtrov a spracovaných zrážok sa merajú použitím štandardnej gamaspektrometrie. Polovodičové HPGe detektory sú uložené v nízko pozadových tieniacich krytoch. Na obrázku 2 je príklad gamaspektra vzorky aerosólových filtrov.



Obrázok 2: Gamaspektrum vzorky aerosólových filtrov merané priamo po odbere (červené) s píkmami od krátkožijúcich dcérskych produktov premeny ^{222}Rn a ^{220}Rn . V spektre nameranom po 9 dňoch od odberu (zelené) sú prítomné iba píky od rádionuklidov s dlhšími dobami polpremeny a anihilačný pík.



Obrázok 3: Účinnosti v píku úplnej absorpcie pre HPGe(Be) detektor vypočítané modelom (čiary) a experimentálne stanovené (body) pre bodové zdroje vo vzdialenosti 3 cm (červené) a 25.5 cm (modré) od detektora.

Účinnosť detekcie v píku úplnej absorpcie sme hodnotili pomocou Monte Carlo modelu s využitím programového balíka GEANT. Na obrázku 3 sú porovnané účinnosti stanovené modelom s účinnosťami stanovenými experimentálne pomocou bodových žiaričov pre dve geometrie, 3 cm a 25.5 cm od detektora. Účinnosti a detekčné limity uvedené v tabuľke 1 sú vypočítané pre objem prečerpávaného vzduchu 14 000 m³, dobu merania pozadia 6 000 minút a dobu merania vzorky 3 000 minút.

Koncentrácie rádionuklidov sú korigované na rádioaktívnu premenu počas doby odberu, medzi odberom a meraním a počas merania vzorky. Korigovaný je aj objem prečerpávaného vzduchu vzhľadom na podmienky odberu, ako sú teplota vzduchu a atmosférický tlak.

Tabuľka 1: Účinnosť v píku úplnej absorpcie a minimálna detekovateľná objemová aktivita (MDA) pre vzorky aerosólových filtrov

Rádionuklid	Účinnosť	MDA [$\mu\text{Bq m}^{-3}$]
²¹⁰ Pb(HPGe(Be))	13.9%	0.15
⁷ Be(HPGe(Be))	2.8%	1.5
⁷ Be(HPGe(270))	7.0%	0.6
¹³⁷ Cs(HPGe(270))	5.3%	0.09
⁴⁰ K(HPGe(270))	3.0%	0.13

2.3 Neutrónová aktivačná analýza

16 vzoriek aerosólových filtrov bolo vybraných na prvkovú analýzu pomocou neutrónovej aktivačnej analýzy. Vzorky boli ožiarené a merané na oddelení Aktivačnej analýzy a radiačného výskumu v Spojenom ústave jadrových výskumov v Dubne, Ruská federácia. V tabuľke 2 sú uvedené základné charakteristiky neutrónového poľa v ožarovacích kanáloch. Kombináciou konvenčnej a epitermálnej neutrónovej aktivácie v experimentálnom reaktore IBR-2, doplnenej atómovou absorpčnou spektrometriou, je možné stanoviť až 45 prvkov súčasne [Frontasyeva97].

Tabuľka 2: Hustota toku neutrónov, teplota T vo vnútri kanálov, priemer a dĺžka ožarovacích kanálov Ch1 - Ch2 [Frontasyeva00]

Kanál	Hustota toku neutrónov [cm ⁻² s ⁻¹]			T [°C]	Ch	Ch
	termálne	epitermálne	rýchle	vo vnútri Ch	priemer [mm]	dĺžka [mm]
Ch1	absorbované Cd	3.31×10 ¹²	4.32×10 ¹²	70	28	260
Ch2	1.23×10 ¹²	2.96×10 ¹²	4.10×10 ¹²	60	28	260

Pred krátkodobým ožiarением boli filtre stlačené do tabliet s priemerom 10 mm a zabalené do polyetylénového vrečka. Po 10 minútach ožarovania v kanáli Ch2 sa vzorka dvakrát gamaspektrometricky premerala. Po stanovení krátko žijúcich izotopov boli vzorky premiestnené do hliníkových kontajnerov a ožarované po dobu 1 hodiny v kanáli Ch1. Kanál Ch1 je tienený vrstvou kadmia, ktoré pohlcuje termálne neutróny. Následne boli merané po 4-5 dňoch a po 20 dňoch po ožarovaní. V tabuľke 3 je prehľad prvkov, spolu s charakteristikami rádionuklidov použitých na ich stanovenie. Koncentrácie jednotlivých prvkov sú stanovené na základe certifikovaných referenčných materiálov.

Tabuľka 3: Prehľad prvkov meraných vo vzorkách aerosólových filtrov pomocou INAA

Prvok	Rádionuklid	Doba polpremeny	Energia [keV]	Meranie*	Neistota [%]
Na	²⁴ Na	14.91 h	1368.5	B	10
Al	²⁸ Al	2.241 m	1778.9	A	6
Cl	³⁸ Cl	37.24 m	2167.7	B	29
K	⁴² K	12.36 h	1524.7	B	19
Ca	⁴⁹ Ca	8.718 m	3084	A	14
Sc	⁴⁶ Sc	83.83 d	889	D	32
Ti	⁵¹ Ti	5.76 m	320	A	34
V	⁵² V	3.743 m	1434.4	A	18
Cr	⁵¹ Cr	27.7 d	320	D	36
Mn	⁵⁶ Mn	2.578 h	1810.7	B	5
Fe	⁵⁹ Fe	44.5 d	1099.1	D	23
Ga	⁷² Ga	14.1 h	629.9	C	14
As	⁷⁶ As	1.097 d	559.1	C	5
Se	⁷⁵ Se	119.8 d	264.1	D	58
Br	⁸⁰ Br	17.7 m	617	B	13
Rb	⁸⁶ Rb	18.66 d	1076.6	D	59
In	^{116m} In	54.1 m	1294	B	25
Sb	¹²² Sb	2.7 d	564.2	C	51
I	¹²⁸ I	24.99 m	442.7	A	7
Cs	¹³⁴ Cs	2.062 y	795.8	D	65
Ba	¹³⁹ Ba	83.1 m	165.8	B	45
La	¹⁴⁰ La	1.678 d	1596.2	C	52
Sm	¹⁵³ Sm	46.7 h	103.2	C	40
Dy	¹⁶⁵ Dy	2.334 h	94.7	B	40
Tm	¹⁷⁰ Tm	128.6 d	84.3	D	79
W	¹⁸⁷ W	23.9 h	685.7	C	60
Au	¹⁹⁸ Au	2.694 d	411.8	C	49
Hg	²⁰³ Hg	46.6 d	279	D	64
Th	²³³ Pa	27 d	312	D	40
U	²³⁹ U	23.5 m	74.7	B	27

- *A: štandardná NAA, krátke ožiarenie, prvé meranie
 B: štandardná NAA, krátke ožiarenie, druhé meranie
 C: epitermálna NAA, dlhé ožiarenie, prvé meranie
 D: epitermálna NAA, dlhé ožiarenie, druhé meranie

3 Dosiahnuté výsledky

3.1 Rádioaktivita atmosférických aerosólov

V predkladanej práci sú prezentované výsledky meraní koncentrácií prírodných rádionuklidov ${}^7\text{Be}$, ${}^{210}\text{Pb}$ a ${}^{40}\text{K}$ a antropogénneho rádionuklidu ${}^{137}\text{Cs}$ v prízemnej vrstve atmosféry. V období od marca 2001 do septembra 2007 bolo odobratých 245 sád vzoriek aerosólových filtrov. Štatistický prehľad získaných výsledkov je v tabuľke 4.

Tabuľka 4: Počet analyzovaných vzoriek (PV), rozsah, priemer, medián a štandardná odchýlka (SD) objemových aktivít ${}^7\text{Be}$, ${}^{210}\text{Pb}$ [mBq m^{-3}], v prízemnej vrstve atmosféry v období od marca 2001 do septembra 2007, a ${}^{137}\text{Cs}$, ${}^{40}\text{K}$ [$\mu\text{Bq m}^{-3}$] v období od októbra 2003 do apríla 2007

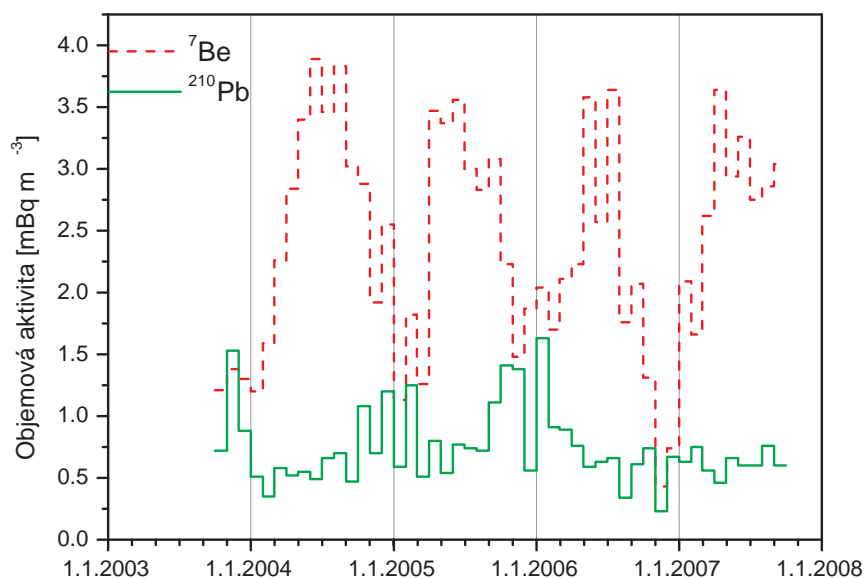
	PV	Rozsah	Priemer	Medián	SD
${}^7\text{Be}$	245	0.2 - 5.1	2.5 ± 0.1	2.4	1.0
${}^{210}\text{Pb}$	245	0.13 - 3.07	0.77 ± 0.04	0.64	0.45
${}^{137}\text{Cs}$	56	0.10 - 1.25	0.52 ± 0.10	0.50	0.29
${}^{40}\text{K}$	56	1.2 - 13.0	5.2 ± 0.9	4.8	2.8

Objemové aktivity ${}^7\text{Be}$ sa pohybovali od 0.2 do 5.1 mBq m^{-3} , pričom priemerná hodnota bola 2.5 mBq m^{-3} . Rozpätie objemových aktivít ${}^{210}\text{Pb}$ sa pohybovalo od 0.1 do 3.1 mBq m^{-3} , s priemerom 0.77 mBq m^{-3} .

Objemové aktivity ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ vykazujú sezónne variácie (obrázok 4). Koncentrácie ${}^7\text{Be}$ sú vyššie v jarnom a letnom období. Je to výsledok intenzívnej výmeny vzdušných mäs medzi stratosférou a troposférou v tomto ročnom období, pričom stratosféra a vyššia troposféra sú rezervoármi kozmogénnych rádionuklidov. Práve na jar a v lete sú tieto procesy provokované vzdušnými prúdmi, ktoré stúpajú od zohriateho zemského povrchu. Naopak v zime sú tieto výmenné procesy potlačené. Koncentrácie ${}^{210}\text{Pb}$ dosahujú vyššie hodnoty na jeseň a v zime. Tento jav je spojený s najmä s inverziou, ktorá je pomerne častým javom v týchto obdobiach roka. Počas inverzie je vertikálne premiešavanie veľmi malé a tak ${}^{210}\text{Pb}$ vznikajúce z plynného ${}^{222}\text{Rn}$ sa hromadí v prízemných vrstvách atmosféry.

Korelačná analýza medzi koncentraciami rádionuklidov v atmosfére a základnými meteorologickými parametrami poukázala na teplotu vzduchu ako jediný faktor významnejšie vplývajúci na úroveň ${}^7\text{Be}$ v prízemnom vzduchu. Ďalšie korelačné faktory sú insignifikantné.

Objemové aktivity ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ v atmosfére sa pohybujú na veľmi nízkych hodnotách. Z tohto dôvodu bolo pri ich stanovovaní potrebné spájať dokopy niekoľko (4-5)



Obrázok 4: Priemerné mesačné koncentrácie ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ v prízemnej vrstve atmosféry Bratislavy od októbra 2003 do septembra 2007.

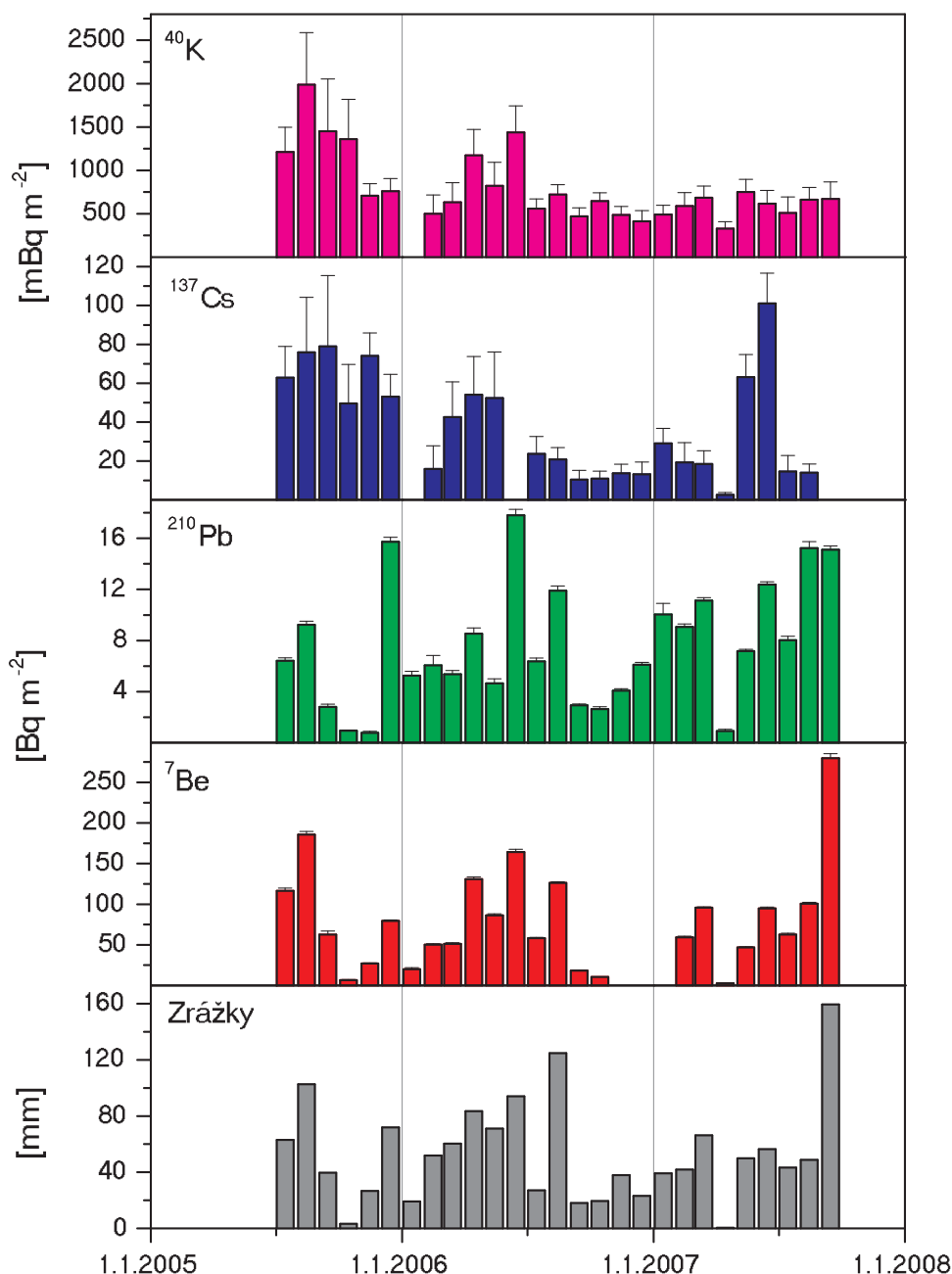
týždňových vzoriek. Priemerné hodnoty ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ za sledované obdobie boli stanovené na 0.52 a 5.2 Bq m^{-3} .

3.2 Rádioaktivita v zrážkach

Od roku 2004 bola na KJFB UK vyvíjaná metodika odberu atmosférických zrážok. Objemové koncentrácie v zrážkach a mesačné depozície rádionuklidov ${}^7\text{Be}$, ${}^{210}\text{Pb}$, ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ boli stanovované od júla 2005. Štatistický prehľad stanovených depozícií je v tabuľke 5. Na obrázku 5 sú depozície jednotlivých rádionuklidov a mesačné zrážkové úhrny.

Tabuľka 5: Počet analyzovaných vzoriek (PV), rozsah, priemer, medián a štandardná odchýlka (SD) mesačných depozícií ${}^7\text{Be}$, ${}^{210}\text{Pb}$ [Bq m^{-2}], ${}^{137}\text{Cs}$, a ${}^{40}\text{K}$ [mBq m^{-2}] v období od júla 2005 do septembra 2007 v Bratislave

	PV	Rozsah	Priemer	Medián	SD
${}^7\text{Be}$	27	2.75 - 279.8	79.4 ± 1.7	62.6	61.9
${}^{210}\text{Pb}$	27	0.93 - 17.8	7.92 ± 0.30	7.17	4.58
${}^{137}\text{Cs}$	24	2.54 - 101.0	38.1 ± 11.5	26.4	27.5
${}^{40}\text{K}$	26	328 - 1987	794 ± 204	667	399



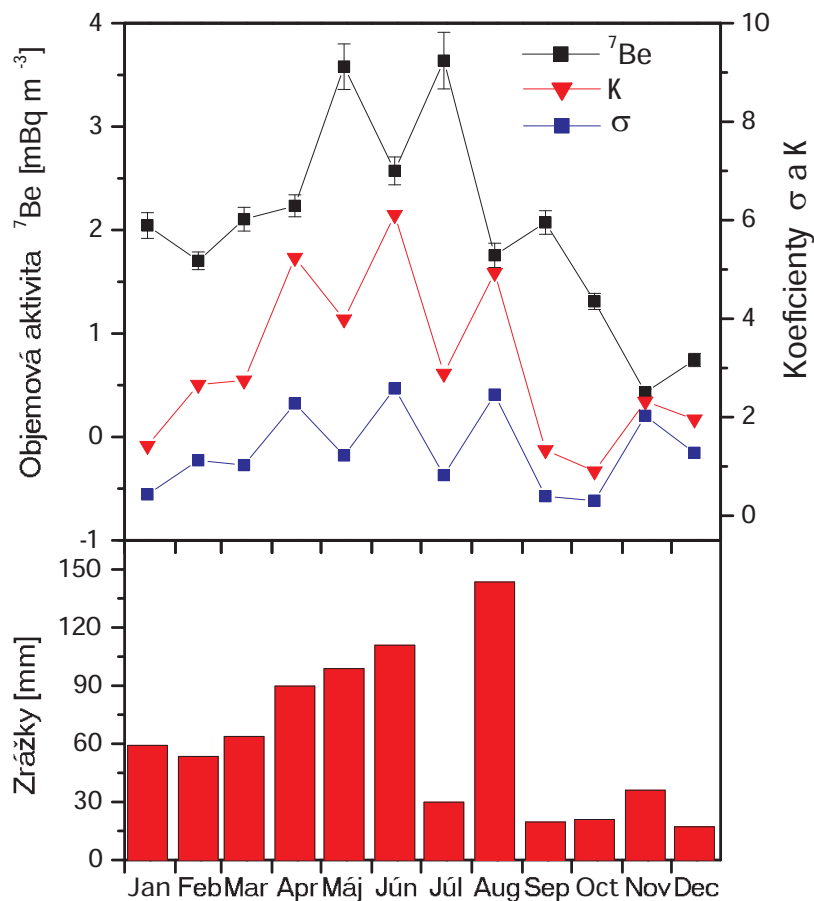
Obrázok 5: Mesačné depozície ${}^7\text{Be}$, ${}^{210}\text{Pb}$, ${}^{137}\text{Cs}$, a ${}^{40}\text{K}$ a mesačné úhrny zrážok v Bratislave v období od júla 2005 do septembra 2007.

Priemerné objemové aktivity ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ v dažďovej vode boli počas sledovaného obdobia 1.66 a 0.29 kBq m⁻³. Koncentrácie ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ dosahovali nižšie hodnoty 1.64 a 61.5 Bq m⁻³. Medzi objemovými koncentraciami rádionuklidov a úhrnom zrážok nebola pozorovaná signifikantná korelácia. Vysoká korelácia však bola nájdená medzi objemovými aktivitami jednotlivých rádionuklidov, čo naznačuje podobné procesy vymý-

vania aerosólov charakteristických pre tieto rádionuklidy.

Priemerné mesačné depozície ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ boli 79.4 a 8.47 Bq m^{-2} . Za predpokladu, že suchá depozícia aerosólov nesúcich rádionuklidy ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ predstavuje 10% z celkovej depozície [Rosner96], [Ioannidou06], možno celkovú depozíciu za rok 2006 ohodnotiť na 888 a 89.9 Bq m^{-2} . Súčasne boli stanovené depozície ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ rovné 38.1 a 794 mBq m^{-2} .

Na rozdiel od objemových aktivít, depozičné rýchlosti rádionuklidov ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ korelujú s mesačným úhrnom zrážok (0.91, 0.68). Korelačné koeficienty pre depozície ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ sú nižšie (0.31, 0.33) čo naznačuje menšiu závislosť depozičných procesov na množstve zrážok. Podľa viacerých prác [Ueno03], [Ioannidou06], je pre častice s väčším priemerom dominantná suchá depozícia, a práve ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ sú viazané na tento typ aerosólov.



Obrázok 6: Variácie objemovej aktivity ${}^7\text{Be}$ merané v prízemnej vrstve atmosféry, variácie koeficientu turbulentnej difúzie K a koeficientu vymývania σ stanovené modelom, a mesačné úhrny zrážok v roku 2006.

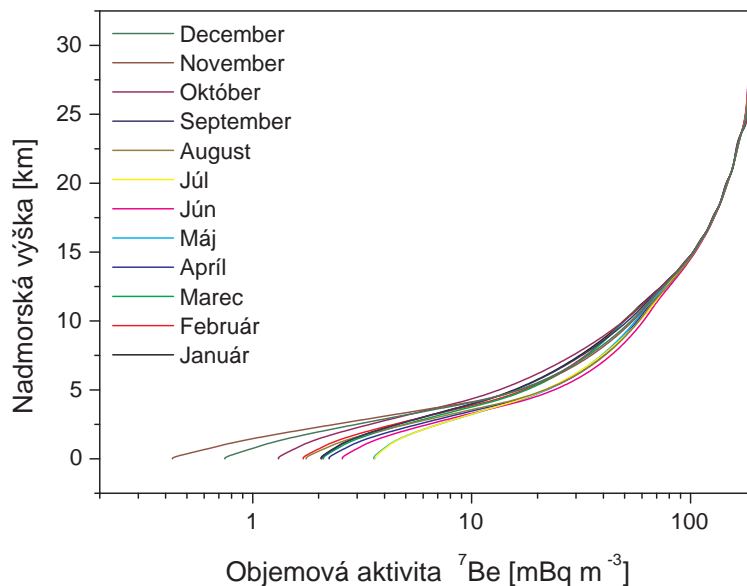
3.3 Vertikálny profil koncentrácie ^7Be

Bol vytvorený teoretický model vertikálneho profilu koncentrácie ^7Be v atmosfére do výšky 30 km a bol použitý na výpočet koeficientov turbulentnej difúzie a vymývania aerosólov. Použitie takéhoto modelu poskytuje informácie o vertikálnom transporte v nižšej stratosfére a v troposfére, ako aj o procesoch vymývania aerosólov zrážkami.

Bol aplikovaný statický jednorozmerný model vertikálneho turbulentného pohybu atmosféry. Tento model zahŕňa vertikálne premiešavanie v rámci troposféry a stratosféry, rádioaktívnu premenu nuklidov, depozíciu zrážkami ako aj gravitačnú sedimentáciu aerosólov. Koeficienty turbulentnej difúzie K a vymývania aerosólov σ sú vypočítané pomocou experimentálnych hodnôt objemovej aktivity ^7Be v prízemnej atmosfére a mesačných depozícií ^7Be .

Na obrázku 6 sú prezentované výsledné hodnoty stanovovaných koeficientov. Koncentrácia ^7Be v prízemnej atmosfére vzrastá s rastúcim koeficientom turbulentnej difúzie a s klesajúcim koeficientom vymývania.

Koeficienty turbulentnej difúzie K a vymývania aerosólov σ boli následne použité na stanovenie koncentrácií ^7Be v rôznych nadmorských výškach. Na obrázku 7 sú prezentované vertikálne profily do nadmorskej výšky 30 km. Nad úrovňou tropopauzy (9-12 km), ktorá oddeľuje troposféru od stratosféry, sú koncentrácie viacmenej stabilné v priebehu roka. Pod tropopauzou sú sezónne variácie ^7Be výrazné.

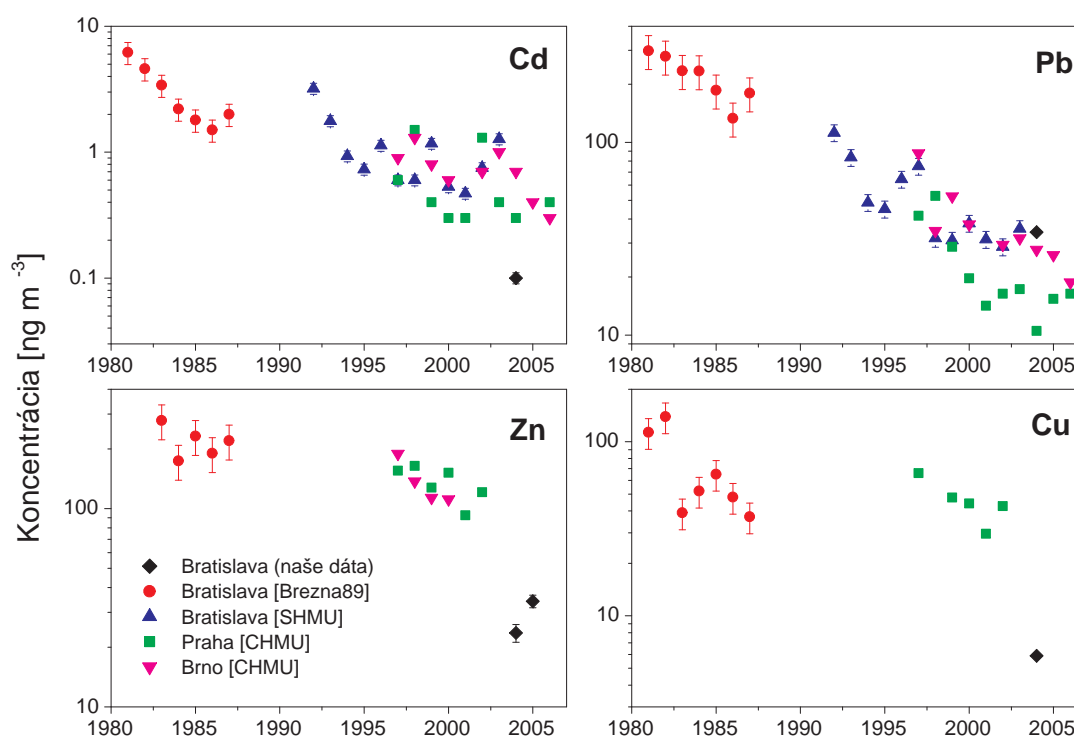


Obrázok 7: Vertikálne profily koncentrácie ^7Be v atmosfére od 0 do 30 km nadmorskej výšky pre každý mesiac roku 2006.

3.4 Prvkové zloženie atmosférických aerosólov

Z celkového počtu 36 vzoriek aerosólových filtrov z roku 2004 bolo 16 vybraných na prvkovú analýzu. Pomocou neutrónovej aktivačnej analýzy na reaktore IBR-2 v Dubne (Ruská federácia) boli stanovené koncentrácie 30 prvkov. Dodatočne bolo atómovou absorpčnou analýzou stanovených ďalších 6 prvkov (Cr bol stanovený oboma metódami). V tabuľke 6 sú uvedené základné štatistické parametre stanovených koncentrácií prvkov.

Od roku 1981 sa v Bratislave pozoruje klesajúci trend znečistenia atmosféry ťažkými kovmi ako vidno z obrázku 8. Tento jav je dôsledkom poklesu priemyselných aktivít na Slovensku po roku 1989. V súčasnosti je tiež tento trend výsledkom prísnejších legislatívnych opatrení a modernizácii priemyselných technológií.



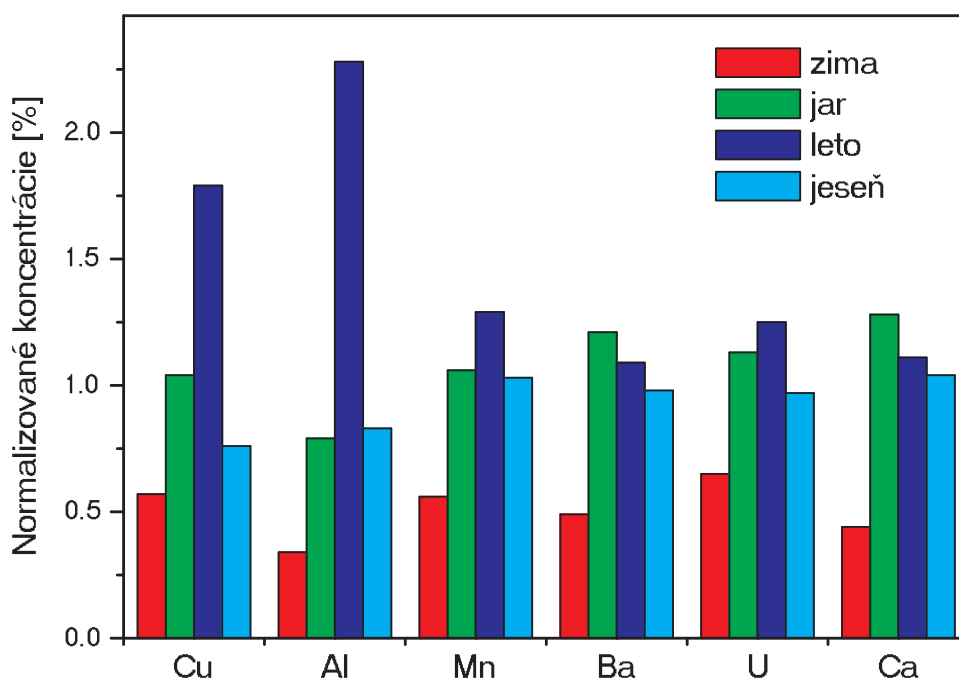
Obrázok 8: Koncentrácie Cd, Pb, Zn a Cu v atmosfére Bratislavy od roku 1981, červené - [Brežná89], modré - [SHMU], čierne - naše dáta. Pre porovnanie sú uvedené tiež prvkové koncentrácie v Prahe (zelené) a v Brne (fialové) [ČHMU].

Na hodnoty koncentrácií prvkov v atmosfére bol aplikovaný koncept faktorov pôdneho obohatenia. Ak je faktor obohatenia nižší ako 7, potom možno daný prvok zaradiť do skupiny prvkov pôdneho pôvodu. Ak je faktor väčší ako 10, potom ho možno považovať za antropogénny. Hodnoty faktorov pre prvky Ba, La, Th a U blízke jednotke indikujú

Tabuľka 6: Koncentrácie prvkov v atmosférických aerosóloch [ng m^{-3}]

Element	Počet vzoriek	Min	Max	Medián	Priemer	Štandardná odchýlka
Na	16	59	308	104	129	72
Al	16	40	912	189	261	223
Cl	16	32	102	49	56	20
K	16	72	290	195	184	67
Ca	16	54	312	179	175	91
Sc	7	0.007	0.04	0.032	0.03	0.011
Ti	15	3.2	14.1	7.8	7.5	3.6
V	16	0.28	1.62	0.83	0.92	0.43
Cr	9	0.3	8.1	1.1	1.7	2.5
Mn	16	1.9	8.6	4.9	4.9	2
Fe	5	85	285	252	204	85
Ni	6	0.39	0.9	0.45	0.51	0.19
Cu	15	4	27	8	10	7
Zn	15	20	45	28	30	8
Ga	4	0.018	0.024	0.02	0.02	0.003
As	7	0.11	0.71	0.3	0.39	0.21
Se	7	0.13	1.01	0.42	0.45	0.31
Br	16	1.7	8.6	3.5	3.6	1.7
Rb	3	0.0001	0.0003	0.0001	0.0002	0.0001
Cd	14	0.02	0.4	0.11	0.14	0.1
In	14	0.0004	0.0149	0.001	0.0036	0.0045
Sb	7	0.5	1.9	1	1.1	0.5
I	16	0.28	1.65	0.66	0.78	0.36
Cs	6	0.03	0.072	0.045	0.048	0.018
Ba	15	0.7	3.8	2.1	2.1	0.9
La	6	0.038	0.166	0.085	0.089	0.049
Sm	7	0.002	0.016	0.012	0.011	0.005
Dy	14	0.002	0.016	0.01	0.01	0.004
Tm	6	0.025	0.144	0.098	0.09	0.054
W	7	0.05	0.82	0.22	0.27	0.26
Au	7	0.0001	0.0007	0.0002	0.0003	0.0002
Hg	6	0.01	0.56	0.06	0.19	0.24
Pb	15	10	81	22	28	20
Th	5	0.005	0.08	0.042	0.039	0.028
U	16	0.005	0.019	0.012	0.012	0.004

ich pôdny pôvod. Prvky Zn, As, Se, Cd, Sb, Hg a Pb vzhľadom na tieto kritéria možno považovať za antropogénne.

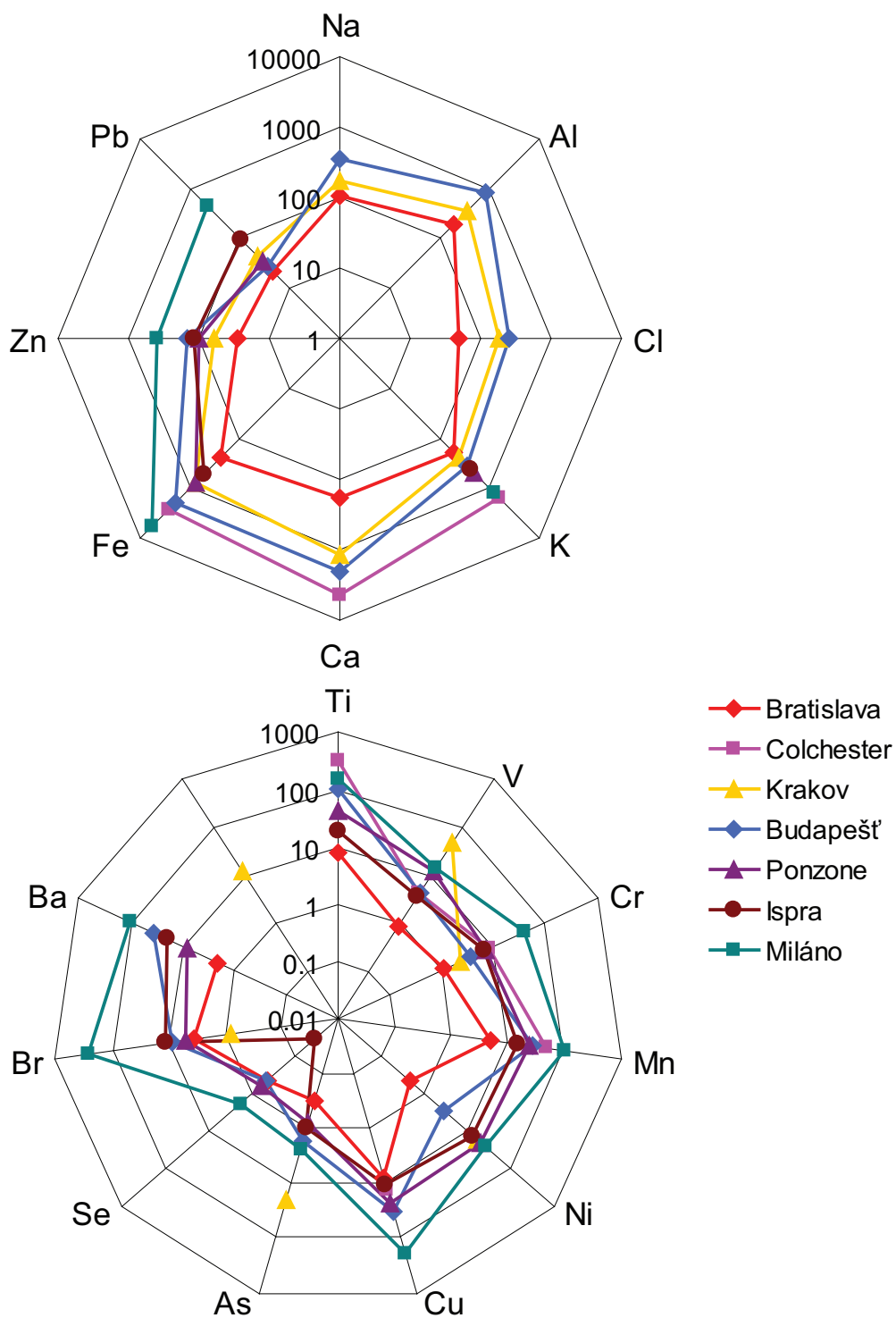


Obrázok 9: Sezónne priemerné koncentrácie Cu, Al, Mn, Ba, U a Ca v atmosférickom aerosóle v Bratislave počas roka 2004 normalizované na celoročnú priemernú koncentráciu.

Koncentrácie niektorých prvkov vykazujú sezónne variácie s hodnotami vyššími v letných mesiacoch. Väčšina týchto prvkov je pôdneho pôvodu (Ca, Ti, Mn, Ba, U). Ich atmosférické koncentrácie korelujú s teplotou vzduchu, čo naznačuje súvis s cirkuláciou atmosféry. Nárast koncentrácií niektorých prvkov môže byť následkom intenzívnej resuspenzie zo zemského povrchu. Avšak na potvrdenie týchto pozorovaní by bolo potrebné sledovať úroveň koncentrácie prvkov po dobu dlhšiu ako jeden rok.

Naopak, prvky As, Se, V a Cd vykazujú v letnom období najnižšie hodnoty. Toto pozorovanie korešponduje s faktom, že v chladných mesiacoch sú emisie týchto prvkov vyššie vzhľadom na vyššiu spotrebu uhlia a ďalších fosílnych palív v tomto období.

Výsledky atmosférických koncentrácií prvkov v Bratislave boli porovnávané so šiestimi európskymi mestami. Koncentrácie väčšiny prvkov v Bratislave sú najnižšie alebo sú porovnateľné s úrovňami v málo znečistených oblastiach ako sú Ponzona a Ispra v Taliansku (obrázok 10). Nízke hodnoty znečistenia ovzdušia v Bratislave sú výsledkom relatívne malého počtu zdrojov polutantov. Treba tiež podotknúť, že Bratislava sa vyznačuje veterným podnebím. Pozorovaná antikorelácia koncentrácií prvkov s rýchlosťou vetra, indikuje čistiaci efekt vetra.



Obrázok 10: Atmosférické koncentrácie prvkov [ng m⁻³] v siedmich mestách Európy. Údaje sú prebraté z [Eleftheriadis01], [Wróbel00], [Salma02], [Rizzio01], [Rizzio99], [Gallorini99].

4 Záver

Od marca 2001 sú pomocou štandardnej gamaspektrometrie periodicky stanovované variácie objemových aktivít rádionuklidov ${}^7\text{Be}$, ${}^{210}\text{Pb}$, ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ v atmosférických aerosóloch. Priemerná hodnota aktivity kozmogénneho ${}^7\text{Be}$ bola 2.5 mBq m^{-3} . ${}^{210}\text{Pb}$ je dlhožijúci dcérsky produkt ${}^{222}\text{Rn}$ a jeho priemerná objemová aktivita bola 0.77 mBq m^{-3} . Koncentrácie ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ vykazujú typické sezónne variácie. Pre ${}^7\text{Be}$ pozorujeme vyššie koncentrácie na jar a v lete. Naopak, zvýšené koncentrácie ${}^{210}\text{Pb}$ sú pozorované v zime. Priemerné hodnoty objemových koncentrácií ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ dosahovali 0.52 a $5.2 \mu \text{ Bq m}^{-3}$. Stanovené objemové aktivity rádionuklidov sú porovnateľné s hodnotami meranými v našom geografickom regióne.

V práci sú taktiež prezentované výsledky meraní rádioaktivity zrážok z obdobia júl 2005 až september 2007. Priemerné mesačné depozície ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ boli 79.4 a 8.47 Bq m^{-2} . Depozície ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ boli stanovené na 38.1 a 794 mBq m^{-2} . Depozície rádionuklidov ${}^7\text{Be}$ a ${}^{210}\text{Pb}$ signifikantne korelujú s mesačnými úhrnmi zrážok. Depozície ${}^{137}\text{Cs}$ a ${}^{40}\text{K}$ vykazujú nižšiu závislosť na množstve zrážok.

Bol vytvorený difúzny model vertikálneho profilu objemovej aktivity ${}^7\text{Be}$ od nulovej po 30 km nadmorskú výšku. Experimentálne hodnoty objemovej aktivity a mesačných depozícií rádionuklidu ${}^7\text{Be}$ boli použité na ohodnotenie koeficientu turbulentnej difúzie a koeficientu vymývania aerosólov zrážkami.

Šestnásť vzoriek aerosólových filtrov z roku 2004 bolo podrobených prvkovej analýze. Pomocou neutrónovej aktivačnej analýzy na experimentálnom reaktore IBR-2 v SÚJV v Dubne boli stanovené atmosférické koncentrácie 30 chemických prvkov (Na, Al, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ga, As, Se, Br, Rb, In, Sb, I, Cs, Ba, La, Sm, Dy, Tm, W, Au, Hg, Th, U). Ďalších šesť prvkov (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) bolo meraných pomocou atómovej absorpčnej spektrometrie. Zvýšené koncentrácie niektorých prvkov boli pozorované v letnom období. Väčšina týchto prvkov je pôdneho pôvodu. Výsledky štúdie boli porovnávané s koncentraciami prvkov v ďalších európskych mestách. Väčšina prvkov dosahuje najnižšie hodnoty práve v Bratislave.

5 Summary

Temporal variations of ${}^7\text{Be}$, ${}^{210}\text{Pb}$, ${}^{137}\text{Cs}$, and ${}^{40}\text{K}$ activity concentrations in atmospheric aerosols were periodically investigated using standard gamma-spectrometry since March 2001. The average value of cosmogenic ${}^7\text{Be}$ concentration within the observed period was 2.5 mBq m^{-3} . ${}^{210}\text{Pb}$ is a long-lived daughter product of ${}^{222}\text{Rn}$ and its average value was 0.77 mBq m^{-3} . Activity concentrations of ${}^7\text{Be}$ and ${}^{210}\text{Pb}$ showed typical seasonal variations with mutually inverse trends. The concentrations were observed to be higher in spring and early summer for ${}^7\text{Be}$ and opposite to that in winter months there were higher for ${}^{210}\text{Pb}$. The activity concentrations of anthropogenic ${}^{137}\text{Cs}$ and primordial ${}^{40}\text{K}$ were determined based on measurements of cumulated monthly samples. Values of ${}^{137}\text{Cs}$ and ${}^{40}\text{K}$ reached the averages of 0.52 and $5.2 \mu \text{ Bq m}^{-3}$, respectively. The observed average values may be considered as representative at the ground level air in our geographical region.

Also the results of precipitation measurements since July 2005 are presented. Average monthly depositions of ${}^7\text{Be}$ and ${}^{210}\text{Pb}$ were 79.4 and 8.47 Bq m^{-2} , respectively. ${}^{137}\text{Cs}$ and ${}^{40}\text{K}$ depositions were 38.1 and 794 mBq m^{-2} , respectively. Monthly depositions of ${}^7\text{Be}$ and ${}^{210}\text{Pb}$ radionuclides are relatively highly correlated with the total monthly precipitation, meanwhile the depositions of ${}^{137}\text{Cs}$ and ${}^{40}\text{K}$ have a lower dependency on the rainwater amount.

A diffusion model for vertical profile of ${}^7\text{Be}$ activity concentration up to 30 km in the atmosphere was developed. The atmospheric activity concentrations and monthly depositions of ${}^7\text{Be}$ were used for evaluation of turbulent diffusion coefficient and scavenging coefficient.

Sixteen filter samples from the year 2004 were designated for elemental analysis. As a result of two irradiations and four gamma-spectrometric measurements the concentrations of 30 chemical elements (Na, Al, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ga, As, Se, Br, Rb, In, Sb, I, Cs, Ba, La, Sm, Dy, Tm, W, Au, Hg, Th, U) were determined using instrumental neutron activation analysis (INAA). Additionally the concentrations of other 6 elements (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) were measured by atomic absorption spectrometry (AAS). For some elements, mainly of soil origin, elevated concentrations in the summer season were observed. In comparison to other European cities elemental contents in air are lower for Bratislava.

Referencie

- [Bhandari66] N. Bhandari, D. Lal, Rama (1966) Stratospheric Circulation Studies Based on Natural and Artificial Radioactive Tracer Elements. *Tellus* **XVIII**, 391-406.
- [Blake99] W.H. Blake, D.E. Walling, Q. He (1999) Fallout beryllium-7 as a tracer in soil erosion investigations. *Applied Radiation and Isotopes* **51**, 599-605.
- [Brežná89] M. Brežná, D. Závodský (1989) Heavy Metals in Atmospheric Aerosols in the Region of Slovakia. (in Slovak) *Air Protection* **6**, 144-148.
- [ČHMU] ČHMU (1997-2006) Air quality. Reports of Czech Hydrometeorological Institute for years 1997 - 2006. <http://www.chmi.cz/>
- [Ďurana96] L. Ďurana, M. Chudý, J. Masarik (1996) Investigation of ^7Be in the Bratislava atmosphere. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **207**, 345-356.
- [El-Daoushy88] F. El-Daoushy (1988) A Summary on the Lead-210 Cycle in Nature and Related Applications in Scandinavia. *Environment International* **14**, 305-319.
- [Eleftheriadis01] K. Eleftheriadis, I. Colbeck (2001) Coarse atmospheric aerosol: size distributions of trace elements. *Atmospheric Environment* **35**, 5321-5330.
- [Frontasyeva97] M.V. Frontasyeva, E. Steinnes (1997) Epithermal neutron activation analysis for studying the environment. Proc. Int. Symposium on Harmonization of Health Related Environmental Measurements Using Nuclear and Isotopic Techniques (Hyderabad, India, 4-7 November, 1996), IAEA 1997, 302-311.
- [Frontasyeva00] M.V. Frontasyeva, S.S. Pavlov (2000) Analytical investigation at the IBR-2 reactor in Dubna. Proceedings of the VII International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei. Dubna. May 17-20. 2000. E3-2000-192. 219-227. JINR (Also JINR Preprint. E14-2000-177. Dubna. 2000).
- [Frontasyeva06] M.V. Frontasyeva (2006) Neutron activation analysis at the IBR-2 reactor in Dubna for life sciences. *Ecological Chemistry and Engineering* **13**, 1-9.
- [Gallorini99] M. Gallorini, E. Rizzio, C. Birattari, M. Bonardi, F. Croppi (1999) Content of trace elements in the respirable fractions of the air particulate of urban and rural areas monitored by neutron activation analysis. *Biological Trace Element Research* **71**, 209-222.
- [Graustein83] W.C. Graustein, K.K. Turekian (1983) ^{210}Pb as a tracer of the deposition of sub-micrometer aerosols. *Precipitation Scavenging, Dry Deposition, and Resuspension*, 1315-1324.

- [Ioannidou06] A. Ioannidou and C. Papastefanou (2006) Precipitation scavenging of ^7Be and ^{137}Cs radionuclides in air. *Journal of Environmental Radioactivity* **85**, 121-136.
- [Koch98] D. Koch (1998) Beryllium 10/beryllium 7 as a tracer of stratospheric transport. *Journal of Geophysical Research* **103**, 3907-3917.
- [Lamborg00] C.H. Lamborg, W.F. Fitzgerald, W.C. Graustein, K.K. Turekian (2000) An examination of the atmospheric chemistry of mercury using ^{210}Pb and ^7Be . *Journal of Atmospheric Chemistry* **36**, 325-338.
- [Povinec88] P. Povinec, M. Chudý, I. Sýkora, J. Szarka, M. Pikna, K. Holý (1988) Aerosol radioactivity monitoring in Bratislava following the Chernobyl accident, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **126** 467-478.
- [Raisbeck81] G.M. Raisbeck, F. Yiou (1981) Cosmogenic $^{10}\text{Be}/^7\text{Be}$ as a Probe of Atmospheric Transport Processes. *Geophysical Research Letters* **8**, 1015-1018.
- [Rizzio99] E. Rizzio, G. Giaveri, D. Arginelli, L. Gini, A. Profumo and M. Gallorini (1999) Trace elements total content and particle sizes distribution in the air particulate matter of a rural-residential area in north Italy investigated by instrumental neutron activation analysis. *The Science of The Total Environment* **226**, 47-56.
- [Rizzio01] E. Rizzio, L. Bergamaschi, M.G. Valcuvia, A. Profumo, M. Gallorini (2001) Trace elements determination in lichens and in the airborne particulate matter for the evaluation of the atmospheric pollution in a region of northern Italy. *Environment International* **26**, 543-549.
- [Rosner96] G. Rosner, H. Hötzl, and R. Winkler (1996) Continuous Wet-only and Dry-only Deposition Measurements of ^{137}Cs and ^7Be : an Indicator of their Origin. *Applied Radiation and Isotopes* **47**, 1135-1139.
- [Salma02] I. Salma, W. Maenhaut, G. Záray (2002) Comparative study of elemental mass size distributions in urban atmospheric aerosol. *Aerosol Science* **33**, 339-356.
- [SHMU] SHMU (1992-2003) Air pollution in the Slovak Republic. Reports of Slovak Hydrometeorological Institute for years 1992 - 2003.
- [Turekian89] K.K. Turekian, W.C. Graustein J.K. Cochran (1989) Lead-210 in the SEAREX program: an aerosol tracer across the Pacific. *Chemical Oceanography* **10**, 51-81.

- [Ueno03] T. Ueno, S. Nagano, H. Yamazawa (2003) Atmospheric deposition of ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs and ^{210}Pb during 1993-2001 at Tokai-mura, Japan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* **255**, 335-339.
- [Wilson03] C.G. Wilson, G. Matisoff, P.J. Whiting (2003) Short-term erosion rates from a ^7Be inventory balance. *Earth Surface Processes and Landforms* **28**, 967-977.
- [Wróbel00] A. Wróbel, E. Rokita, W. Maenhaut (2000) Transport of traffic-related aerosols in urban areas. *Science of the Total Environment* **257**, 199-211.
- [Young80] J.A. Young and W.B. Silker (1980) Aerosol deposition velocity on the Pacific and Atlantic oceans calculated from Be-7 measurements. *Earth Planetary Science Letters* **50**, 92-104.

6 Publikačná činnosť

Publikácie v časopisoch:

1. **J. Merešová**, M. Florek, K. Holý, I. Sýkora, M.V. Frontasyeva, S.S. Pavlov (2005-2006) Concentration of Elements in Atmospheric Aerosol in Bratislava. Acta Physica Universitatis Comenianae, Vol. XLVI-XLVII, 73-72.
2. **J. Merešová**, I. Sýkora, K. Holý, M. Chudý, L. Ďurana (2005-2006) Temporal Variations of ^7Be Activity Concentrations in Slovakia. Acta Physica Universitatis Comenianae, Vol. XLVI-XLVII, 83-90.
3. M. Ješkovský, K. Holý, I. Sýkora, **J. Merešová**, M. Müllerová, M. Bulko, A. Polášková (2007) Concentrations of ^{222}Rn and its progeny ^{210}Pb in lower atmosphere in Bratislava. Acta Facultatis Ecologiae, Vol. 16, Suppl. 1, 125-128.

Prezentácie na konferenciách:

1. I. Sýkora, M. Chudý, L. Ďurana, K. Holý, **J. Merešová** (2001) Aerosols radioactivity in the Bratislava atmosphere. Conference proceedings of the 24th Days of Radiation Protection, Jasná pod Chopkom, Slovakia, 26-29 November 2001. ISBN 80-88806-26-27, 145-147.
2. I. Sýkora, **J. Merešová**, M. Chudý, K. Holá (2003) The study of aerosol component of atmosphere in Bratislava. Proceedings on CD of IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Bratislava, Slovakia, 22-26 September 2003. Bratislava: AllDeco, 2003.
3. **J. Merešová**, I. Sýkora, K. Holý, M. Chudý (2004) ^{210}Pb a ^7Be v aerosólovej zložke atmosféry v Bratislave. Zborník prednášok z konferencie 6. Banskoštiavnické dni 2004, 6.-8. 10. 2004, Banská Štiavnica, Slovensko. Zvolen: Technická univerzita, 2004, ISBN 80-228-1485-7, 32-35.
4. **J. Merešová**, K. Holý, I. Sýkora, M. Chudý (2004) The comparison of radionuclides ^{222}Rn and ^{210}Pb concentrations in the atmosphere of Bratislava. Sborník rozšířených abstraktů z konferencie 26. Dny radiační ochrany, Luhačovice, 1.-5. 11. 2004. Praha: České vysoké učení technické, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, 2004, ISBN 80-01-03076-8, 198-201.
5. M. Florek, **J. Merešová**, K. Holý, I. Sýkora, M.V. Frontasyeva, S.S. Pavlov (2005) Objemové koncentrácie 41 prvkov v prízemnej vrstve atmosféry v Bratislave. Zborník prednášok z konferencie 7. Banskoštiavnické dni 2005, 5.-8. November 2005, Banská Štiavnica, Slovensko. Senec: ISK, 2006, 27-34.

6. **J. Merešová**, M. Florek, K. Holý, I. Sýkora, M. V. Frontasyeva, S.S. Pavlov (2005) Assessment of Elemental and Radionuclide Content Through Analysis of Aerosol Filters from Bratislava, Slovakia. Conference proceedings of International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei ISINN 13th, Dubna, Russia, 25-28 May 2005. Dubna: JINR, ISBN 5-9530-0102-9, 263-268.
7. I. Sýkora, **J. Merešová**, M. Ješkovský, K. Holý (2007) Variation of Bratislava atmosphere aerosols radioactivity. Book of Extended Synopses of International Conference on Environmental Radioactivity: From Measurements and Assessments to Regulation, Vienna, Austria, 23-27 April 2007. IAEA-CN-145. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2007, 291-293.
8. **J. Merešová**, M. Florek, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov, K. Holý, I. Sýkora (2007) Assessment of Elemental Content in Airborne Particulate Matter in Bratislava Atmosphere using INAA and AAS. Proceedings of Summer School "Nuclear Physics Methods and accelerators in Biology and Medicine", Prague Jul. 2007. New York: Publ. AIP 232, 2007, 232-233.
9. I. Sýkora, **J. Merešová**, M. Ješkovský, (2007) Radioactivity of the Atmospheric Aerosol in Bratislava. Proceedings of Summer School "Nuclear Physics Methods and accelerators in Biology and Medicine", Prague Jul. 2007, New York: Publ. AIP 232, 2007, 228-229.
10. M. Ješkovský, M. Müllerová, I. Sýkora, K. Holý, **J. Merešová**, A. Polášková (2007) Meteorologické vplyvy na koncentráciu ²²²Rn a ²¹⁰Pb v prízemnej vrstve atmosféry. Sborník rozšířených abstraktů z konferencie 29. Dny radiační ochrany, Kouty nad Desnou, 5.-9. listopadu 2007. Praha: České vysoké učení technické, 2007, ISBN 978-80-01-03901-4, 321-324.
11. **J. Merešová**, M. Florek, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov, K. Holý, I. Sýkora (2007) Temporal Variations of Elemental Content in Atmospheric Aerosol in Bratislava, Slovakia. Conference proceedings of International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei ISINN 15th, Dubna, Russia, 16-19 May 2007 (in press).
12. **J. Merešová**, I. Sýkora, M. Ješkovský, K. Holý (2007) Variation of airborne radioactivity in the low-level atmosphere of Bratislava. II. Zborník príspevkov štipendistov z projektu JPD 3 BA 2005/1-043. Bratislava: Knižničné a edičné centrum FMFI UK, ISBN 978-80-89186-26-6, 56-59.