

SLOŽENÍ, ZDROJE A ANALÝZA VE VODĚ ROZPUSTNÝCH ORGANICKÝCH SLOUČENIN V ATMOSFÉRICKÝCH AEROSOLECH

ALENA KOŘÍNKOVÁ^{a,b}, PAVEL MIKUŠKA^a
a ZBYNĚK VEČEŘA^a

^a Ústav analytické chemie Akademie věd České republiky, v.v.i., Veveří 97, 602 00 Brno, ^b Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí, Chemická fakulta, Vysoké učení technické v Brně, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno
korinkova@iach.cz

Došlo 25.4.13, přepracováno 19.8.13, přijato 24.10.13.

Klíčová slova: ve vodě rozpustné organické sloučeniny (WSOC), atmosférický aerosol

Obsah

1. Úvod
2. Složení a zdroje ve vodě rozpustných organických sloučenin v atmosférických aerosolech
 - 2.1. Sloučeniny podobné huminovým kyselinám
 - 2.2. Anhydridy monosacharidů a sacharidy
 - 2.3. Karboxylové kyseliny
 - 2.4. Další významné skupiny
3. Analýza
4. Závěr

1. Úvod

Atmosférické aerosoly mají významný vliv na mnoho procesů v životním prostředí a atmosféře^{1,2}. V důsledku odrazení infračervené složky slunečního záření zpět do vesmíru aerosoly přítomné v atmosféře ovlivňují významným způsobem radiční rovnováhu atmosféry (tzv. „přímý aerosolový efekt“)^{3–6}. Zvýšená koncentrace aerosolů v atmosféře způsobí nárůst množství kondenzačních jader, na nichž kondenzuje vodní pára, což vede ke zvýšené oblačnosti a tvorbě mraků, které opět odrážejí sluneční záření (tzv. „nepřímý aerosolový efekt“)⁷. Působení přímého a nepřímého aerosolového efektu na radiční rovnováhu atmosféry se označuje jako tzv. „whitehouse“ efekt a je protikladem tzv. „greenhouse“ efektu. V neposlední řadě aerosoly přispívají k acidifikaci a eutrofizaci půdy a vody v důsledku mokré a suché deponice^{8,9}. Nelze pominout ani nepříznivý vliv aerosolů na lidské zdraví¹⁰.

Atmosférický aerosol obsahuje množství různých anorganických (především kovy a ionty) a organických sloučenin. Organické sloučeniny tvoří významnou část hmotnosti aerosolů. V závislosti na lokalitě a dalších faktorech se podíl organických sloučenin na hmotě aeroso-

lů pohybuje v rozmezí 15–70 %. Podstatnou frakci organických sloučenin (20–80 %) tvoří ve vodě rozpustné organické sloučeniny (water soluble organic compounds; WSOC)^{11–13}.

Organické sloučeniny rozpustné ve vodě mají významné hygroskopické vlastnosti a výrazně ovlivňují chemické a fyzikální vlastnosti atmosférických aerosolů, např. snižují povrchové napětí vodných roztoků. WSOC jsou nejvýznamnější složkou atmosférických aerosolů způsobujících nepřímý aerosolový efekt^{10,14,15}. WSOC se účastní transformačních reakcí v atmosféře, jejichž výsledným produktem jsou většinou organické kyseliny, které následně přispívají k vyšší kyselosti srážek^{16,17}. Důsledkem kyselých dešťů je pokles pH povrchových vod a půd.

Tento příspěvek se zabývá složením a nejdůležitějšími zdroji ve vodě rozpustných organických sloučenin nacházejících se v atmosférických aerosolech a jejich analýzou.

2. Složení a zdroje ve vodě rozpustných organických sloučenin v aerosolu

Složení a koncentrace ve vodě rozpustných organických sloučenin nacházejících se v atmosférických aerosolech závisí na mnoha faktorech, např. na ročním období, meteorologických podmínkách (teplota, vlhkost, rozptylové podmínky, atd.), umístění posuzované lokality (nadmořská výška, město, vesnice, pastvina, apod.), množství vegetace, dálkovém transportu, emisních zdrojích, koncentraci a složení dalších polutantů (především OH, ozónu, NO₂, ...) apod.¹¹.

Ve vodě rozpustné organické sloučeniny nacházející se v atmosférických aerosolech jsou převážně antropogenního původu¹. Jedná se většinou o produkty spalování fosilního paliva a biomasy^{10,18} nebo pocházejí z fotochemických oxidací těkavých organických látek a dalších prekurzorů nacházejících se v atmosféře. Mohou být také přírodního původu (tzv. biogenní emise), kdy např. karboxylové kyseliny jsou uvolňovány z půdy biochemickou aktivitou půdních organismů nebo z vegetace v tropických oblastech¹¹. Dalším zdrojem WSOC jsou přírodní požáry¹⁹.

Vyšší koncentrace WSOC se obvykle vyskytují v zimních měsících, kdy se jedná především o produkty spalování tuhých paliv a biomasy. Nejmenší obsah WSOC byl nalezen v mořském a arktickém aerosolu^{19–21}. Nejvýznamnějšími zástupci WSOC v atmosférických aerosolech jsou sloučeniny podobné huminovým kyselinám (HULIS), anhydridy monosacharidů, sacharidy, dikarboxylové kyseliny, oxokyseliny, dikarboxyly, aminokyseliny a alifatické aminy. Koncentrace hlavních představitelů ve vodě rozpustných organických sloučenin v atmosférických aerosolech jsou uvedeny v tab. I.

Tabulka I
Srovnání koncentrací (ng m⁻³) zástupců WSOC v různých lokalitách

Zástupce	Frakce Lokalita	Konc. [ng m ⁻³]		Frakce Lokalita	Konc. [ng m ⁻³]		Frakce Lokalita	Konc. [ng m ⁻³]	
		zima	léto		zima	léto		zima	léto
Glukosa		73	270		16,4			13,9–62,1	
Fruktosa	PM2,5 Ghent ^a	37	193	PM2,5 Jülich ^b	10,9		PM2,5 Rhôdonia ^c	2,8–19,9	
Arabitol		26	105		15,2			9,2–32,2	
Levoglukosan		420	19,1		326	47,1		422	34,2
Galaktosan	PM2,5 Ghent ^a	25	1,02	PM2,5 Brno ^d	34,9	18,9	PM1 Šlapanice ^d	19,5	2,78
Mannosan		61	3,00		73,4	24,0		71,2	5,47
Kys. šřavelová			177		44,7	190			–
Kys. malonová	PM2,5 Rhôdonia ^e		295	PM2,5 Tokio ^f	23,2	38,6	PM10 Ghent ^g		–
Kys. glutarová			–		2,57	10,2		1,20	1,30
Kys. jantarová			272		19,5	16,7		3,40	4,70
Vanilin	PM2,5		51,2	PM10		0,77	PM2,5		0–9,2
Syringol	Marseille ^h		28,6	Stuttgart ⁱ		0,29	Rhôdonia ^c		12,1
Kys. dehydro- abietová	PM10 Ghent ^g	20	10,3	PM2,5 Oregon ^j		42,0	PM2,5 Los Angeles ^k		10,2–23,6
Kys. abietová			0,7			–			–
Glycin			4,0	PM2,5		2,26	PM2,5		1,95
Leucin	PM10 Ålesund ^l		14,0	Benátky ^m		0,35	Liverpool ⁿ		1,31

^a Belgie, cit. ³⁷, ^b SRN, cit. ⁴⁹, ^c Brazílie, cit. ⁵¹, ^d ČR, cit. ³⁴, ^e Brazílie, cit. ⁵⁰, ^f Japonsko, cit. ³⁹, ^g Belgie, cit. ⁵³, ^h Francie, cit. ⁵⁴, ⁱ SRN, cit. ⁵², ^j USA, cit. ⁵⁶, ^k USA, cit. ⁵⁷, ^l Norsko, cit. ⁵⁵, ^m Itálie, cit. ⁵⁸, ⁿ Velká Británie, cit. ⁵⁹

2.1. Sloučeniny podobné huminovým kyselinám (HULIS)

Sloučeniny podobné huminovým kyselinám (HULIS, HUmic-Like Substances) jsou všudypřítomnou součástí atmosférických aerosolů a tvoří významnou frakci WSOC (cit. ^{22,23}). Jde o vysokomolekulární multikomponentní směs aromatických a alifatických sloučenin s karboxylovými, hydroxylovými, karbonylovými, methylovými, nitro, fenolovými, nitrátovými nebo síranovými koncovými skupinami. Jejich komplikované nestechiometrické složení brání přesné a jednoznačné identifikaci chemického složení^{12,24}. Místo toho jsou obvykle charakterizovány pouze na základě skupinové separace založené na rozpustnosti, polaritě a kyselých vlastnostech^{22,25} nebo se charakterizují spektroskopické vlastnosti pomocí NMR, IR nebo UV-VIS spektroskopie²³. HULIS se svými strukturálními, fyzikálními a chemickými vlastnostmi podobá huminovým kyselinám, polymerním organickým kyselinám vyskytujícími se v půdě, což vedlo i k odvození názvu této komplikované skupiny WSOC. Na rozdíl od huminových kyselin mají však atmosférické HULIS mnohem nižší molekulární hmotnost, většinou do hodnoty 600 Da (cit. ^{23,26}).

Obsah těchto sloučenin v aerosolech závisí silně na

studované lokalitě. Odhaduje se, že v Amazonii HULIS tvoří 15–36 % WSOC (cit. ²⁷), zatímco v jemné aerosolové frakci v Evropě mohou tvořit až 60 % WSOC (cit. ^{13,28}). Hlavním primárním zdrojem HULIS v aerosolech je spalování biomasy a resuspenze. Předpokládá se, že HULIS vzniká také sekundárními reakcemi a procesy (vypařování, kondenzace, polymerizace) polárních, nízkomolekulárních sloučenin²³.

2.2. Anhydridy monosacharidů a sacharidy

Na rozdíl od HULIS mají anhydridy monosacharidů, sacharidy a další zástupci ve vodě rozpustných organických sloučenin v atmosférických aerosolech jednoznačně definované chemické složení.

Anhydridy monosacharidů se do ovzduší uvolňují při spalování dřeva, kdy dochází ke zplynění a termickému rozkladu celulosy, hemicelulosy a ligninu. Nejvýznamnějším představitelem anhydridů monosacharidů je levoglukosan, který je hlavním produktem pyrolýzy celulosy při teplotách vyšších než 300 °C. Levoglukosan tvoří 76 až 93 % z celkového obsahu anhydridů monosacharidů je nejrozšířenější organickou sloučeninou nacházející se v atmosférickém aerosolu²⁹. Galaktosan a mannosan jsou

produkty spalování hemicelulosa a jejich koncentrace jsou mnohem menší než koncentrace levoglukosanu, protože hemicelulosa se vyskytuje ve dřevě v mnohem menším množství než celulóza³⁰.

Zdrojem primárních sacharidů jsou rostliny a mikroorganismy, zatímco cukerné alkoholy (alditoly) jsou produkovány houbami, lišejníky a bakteriemi³¹. Sacharidy jsou rovněž důležitou složkou organického materiálu v půdě. Sacharidy z půd se do atmosféry dostávají resuspenzí^{32,33}.

Na jaře převažují mezi sacharidy v atmosférickém aerosolu disacharidy, v létě aldioly, a v podzimním a zimním období se v aerosolech nacházejí převážně monosacharidy³⁴.

Nejvýznamnější monosacharid, který můžeme najít v aerosolech, je glukosa, která vzniká v rostlinách jako jeden z hlavních produktů fotosyntézy a slouží jako energetická rezerva. V letních měsících dochází k nárůstu koncentrace glukosy z květenství a produkce plodů, ale glukosa se vyskytuje v aerosolu i v zimních měsících, kdy je jejím zdrojem rozpad polymerního řetězce celulózy při spalování dřeva³¹. Kromě glukosy se v aerosolu nachází také fruktosa, jejíž obsah v aerosolu je nejvyšší v letních měsících, protože je součástí květů a plodů rostlin (vyskytuje se i v rostlinných šťávách a medu). Dalším zástupcem monosacharidů je xylosa, která je součástí polymerního řetězce hemicelulosa a do ovzduší se dostává při jejím spalování. Vyšší koncentrace xylosy v ovzduší byly naměřeny v zimních měsících a na podzim²¹.

V aerosolech se nacházejí i disacharidy, především sacharosa, která se nachází ve stoncích, listech a plodech rostlin. K nárůstu koncentrací sacharosy dochází především na jaře, tedy v období květenství a produkce pylu. V zimních měsících je zdrojem sacharosy spalování biomasy. Z obilovin (zejména ječmene) se do ovzduší od jara do podzimu dostává především maltosa, v zimních měsících jsou její koncentrace v ovzduší velmi nízké³⁴.

Nejvýznamnějším zástupcem alditolů v aerosolu je myo-inositol, jehož hlavním zdrojem jsou mikroorganismy, kde vzniká buď jako produkt biochemických procesů (především na podzim, kdy dochází k rozkladu opadaného listí a nárůstu počtu mikroorganismů v půdě) nebo při jejich metabolismu. Arabitol a manitol, zásobní látky hub, se nejvíce vyskytují v aerosolu v létě a na podzim. Manitol rovněž vzniká při spalování biomasy³⁴.

2.3. Karboxylové kyseliny

Karboxylové kyseliny jsou dalším významným zástupcem ve vodě rozpustných organických sloučenin v atmosférických aerosolech. V aerosolech se nacházejí dikarboxylové kyseliny (např. kyselina šťavelová, malonová, jantarová), vyšší monokarboxylové kyseliny (kyselina palmitová, stearová), aromatické kyseliny (např. 1,2,4-benzotrikarboxylová kyselina³⁵), aminokyseliny (např. valin, glycin), oxokyseliny (např. kyselina pyrohroznová, kyselina glyoxylová) a hydroxykyseliny (např. kyselina mléčná, kyselina jablečná)³¹.

Nižší karboxylové kyseliny, které mají ve své molekule méně než 16 atomů uhlíků, jsou většinou antropogenního původu¹⁷. Vznikají při spalování fosilních paliv a dřeva, nacházejí se v emisích z dopravy, v silničním prachu, ale i v cigaretovém kouři anebo se uvolňují při otěru asfaltu a pneumatik^{17,30}. Vyšší karboxylové kyseliny pocházejí převážně z biogenních zdrojů (hlavně vegetace), které produkují také nenasycené mastné kyseliny, které následně často reagují s volnými radikály nebo oxidanty za vzniku aldehydů a dikarboxylových kyselin (sekundární zdroje ve vodě rozpustných organických sloučenin)¹⁷.

K nejvýznamnějším dikarboxylovým kyselinám patří kyselina šťavelová, malonová, jantarová a adipová. Všechny dikarboxylové kyseliny jsou rozpustné ve vodě, jsou hygroskopické a netěkavé³⁶. Vzhledem k jejich nízké tenzi par jsou v atmosféře převážně vázány na částice aerosolu a hrají významnou roli při ovlivnění globálního klimatu³⁷. Kyselina adipová a pimelová jsou hlavními produkty fotooxidace antropogenních cykloalkenů, zatímco dikarboxylové kyseliny C₁₂ a C₂₆ jsou produkty fotooxidace nenasycených mastných kyselin biogenního původu³⁸. Ke zvýšení koncentrace dikarboxylových kyselin v aerosolech (především kyseliny glutarové, adipové, pimelové, azelaové a sebakové) přispívá významně také automobilová doprava³⁹. Kyselina jantarová je konečným produktem atmosférické oxidace mastných kyselin³⁹ a je majoritní kyselinou zastoupenou v antarktickém aerosolu³⁹. Otěry pneumatik a silniční prach jsou nejvýznamnějšími zdroji kyselin olejové a linolové³⁹.

Vaření a příprava masných výrobků je jedním ze zdrojů nasycených mastných kyselin, a tedy organického aerosolu ve městech⁴⁰. Tuk v neuvařeném mase obsahuje triglyceridy, které se během úpravy masa částečně hydrolyzují za vzniku mastných kyselin (kyselina palmitová, stearová, apod.), glycerolu, monoglyceridů a diglyceridů⁴¹.

2.4. Další ve vodě rozpustné organické látky

Mezi nimi lze najít velké množství dalších sloučenin, které se však často vyskytují v nízkých koncentracích a z důvodu jejich nízké toxicity se většinou jejich obsah v aerosolech běžně nesleduje⁴².

Prskyřičné kyseliny jsou produktem spalování jehličnatého dřeva. Hlavním představitelem je kyselina dehydroabietová, která se používá jako indikátor spalování jehličnatého dřeva. Vedle tohoto zdroje se kyselina dehydroabietová může do ovzduší dostávat jako produkt oxidace kyseliny abietové, nebo otěrem pneumatik, které obsahují změkčovadla a plniva s obsahem přírodních prskyřic^{43,44}.

Methoxyfenoly vznikají tepelným rozkladem ligninu. K nejvýznamnějším zástupcům methoxyfenolů patří guaiakol, vanilin, syringol a kyseliny vanilová a syringová. Syringol a kyselina syringová jsou produkty spalování listnatého dřeva, zatímco guaiakol, vanilin a kyselina vanilová se do ovzduší dostávají při spalování jehličnatého i listnatého dřeva^{45,46}.

Ftalové kyseliny (benzendikarboxylová a methylbenzendikarboxylová kyselina) se nacházejí v automobilových

exhalacích a tabákovém kouři. Ftalové kyseliny vznikají také při spalování změkčovadel⁴⁷, případně se tvoří sekundárně při atmosférických reakcích z polyaromatických uhlovodíků.

Alifatické aminy pocházejí ze spalování biomasy, požárů savan, odlesňování, zemědělství a zemědělského odpadu⁴⁸. Mezi zástupce aminů se řadí např. methylamin, ethylamin nebo ethanolamin.

3. Analýza

V dnešní době nejpoužívanější způsob analýzy chemického složení WSOC v atmosférických aerosolech zahrnuje vzorkování aerosolů na různé typy filtrů či jiná vhodná média (např. fólie v impaktorech) a následně zpracování filtrů a jejich analýzu v laboratoři. Časové rozlišení se pohybuje většinou v rozmezí 12–24 hodin. Hlavní výhodou tohoto způsobu vzorkování je 100% účinnost zachytu aerosolů na filtru. Po odběru lze filtr se vzorkem (většinou v případě použití tzv. velkoobjemových vzorkovačů) rozdělit a podrobit analýzám se zaměřením na odlišné skupiny organických sloučenin (např. organický uhlík, kyseliny, sacharidy, anhydridy, atd.). Nevýhodou vzorkování aerosolů na filtry je možnost odběru pouze jedné velikostní frakce (nejčastěji PM₁, PM_{2,5} nebo PM₁₀).

Pro vzorkování aerosolů s následnou analýzou WSOC se užívají převážně křemenné filtry, případně teflonové filtry v případě analýzy karboxylových kyselin^{60,61}. Křemenné filtry se extrahují organickými rozpouštědly v Soxhletově extraktoru⁶¹, pomocí ultrazvuku³⁴ nebo za zvýšené teploty a tlaku⁶⁰. Alternativně se filtry extrahují přímo vodou^{12,27,51}. Extrakt je pak analyzován na celkový obsah WSOC pomocí analyzátoru organického uhlíku^{12,27,51}. Pro stanovení jednotlivých sloučenin WSOC v extraktu je používána GC-MS (sacharidy a anhydridy sacharidů^{34,62}, monokarboxylové a dikarboxylové kyseliny^{61,63}), LC (sacharidy a anhydridy sacharidů⁶⁴, monokarboxylové a dikarboxylové kyseliny⁶⁵, oxokyseliny⁶⁶, aminokyseliny⁵⁵), IC s vodivostním (karboxylové kyseliny^{67,68}), MS (anhydridy sacharidů⁶⁹, karboxylové kyseliny⁷⁰) nebo pulzním amperometrickým detektorem (sacharidy a anhydridy monosacharidů⁷¹) a CZE s UV (karboxylové kyseliny^{66–68,71–74}) nebo MS (karboxylové kyseliny⁷⁵) detektorem. Sloučeniny podobné huminovým kyselinám jsou stanovovány na základě skupinové separace nebo pomocí NMR, IR, UV-VIS (cit.²³).

4. Závěr

Ve vodě rozpustné organické sloučeniny jsou významnou součástí atmosférických aerosolů. Mají významný vliv na změnu radiční rovnováhy atmosféry, přispívají k acidifikaci a eutrofizaci půdy a vody a mají nepříznivý vliv na lidské zdraví.

Ve vodě rozpustné organické sloučeniny pocházejí většinou ze spalování biomasy a fosilních paliv, silničního

prachu, cigaretového kouře, otěrů pneumatik a asfaltu, případně z biogenních emisí (primární organický aerosol), ale mohou pocházet i z transformačních reakcí v atmosféře (sekundární organický aerosol). K nejdůležitějším zástupcům ve vodě rozpustných organických sloučenin patří huminovým kyselinám podobné sloučeniny, anhydridy monosacharidů, sacharidy, karboxylové kyseliny, pryskyřičné kyseliny a methoxyfenoly.

Ke vzorkování aerosolů s následnou analýzou ve vodě rozpustných organických sloučenin se používá převážně zachyt aerosolů na filtry. Extrakt filtrů je následně podroben analýze plynovou nebo kapalinovou chromatografií, případně iontovou chromatografií nebo kapilární elektroforézou.

Autoři děkují za podporu výzkumnému záměru Ústavu analytické chemie AV ČR, v.v.i., č. RVO: 68081715, a grantu GA ČR č. P503/11/2315, č. P503/12/G147 a č. P503/13/1438S.

LITERATURA

1. Mészáros E.: *Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry*. Akadémiai Kiadó, Budapest 1999.
2. Finlayson-Pitts B. J., Pitts J. N. Jr.: *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*: Academic Press, San Diego 2000.
3. Blanchard D. C., Woodcock A. H.: *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 338, 330 (1980).
4. Holben B. N., Kaufman Y. J., Setzer A., Tanre D., Ward D. E.: *Global biomass burning*. Mass MIT Press, Cambridge 1991.
5. Kalitivis N., Bougiatioti A., Kouvarakis G., Mihaloopoulos N.: *Atmos. Res.* 102, 351 (2011).
6. Maenhaut W.: *Nouv. Sci. Technol.* 14, 59 (1996).
7. Hidy G. M.: *Aerosols. An Industrial and Environmental Science*. Academic Press, London 1984.
8. Hudson J. G., Hallet J., Rogers C. F.: *J. Geophys. Res.* 96, 10 847 (1991).
9. Kaufman Y. J., Setzer A., Ward D., Tanre D., Holben B. N., Menzel P., Pereira M. C., Rasmussen R.: *J. Geophys. Res.* 97, 14 581 (1992).
10. Novakov T., Corrigan C. E.: *Geophys. Res. Lett.* 23, 2141 (1996).
11. Saxena P., Hildemann L. M.: *J. Atmos. Chem.* 24, 57 (1996).
12. Decesari S., Facchini M. C., Fuzzi S., Tagliavini E.: *J. Geophys. Res.* 105, 1481 (2000).
13. Zappoli S., Andracchio A., Fuzzi S., Facchini M. C., Gelencsér A., Kiss G., Krivácsy Z., Molnár Á., Mészáros E., Hansson H.-C., Rosman K., Zebühr Y.: *Atmos. Environ.* 33, 2733 (1999).
14. Kerminen V. M., Virkkula A., Hillamo R., Wexler A. S., Kulmala M.: *J. Geophys. Res.* 105, 9255 (2000).
15. Pietsch-Blanco M. C., Pineiro-Iglesias M., López-Mahía P., Muniategui S., Prada D.: *European aerosol conference, Ghent – Belgium, 28 August – 2 September*

- 2005 Book of Abstracts (Maenhaut W., ed.), str. 56.
16. Chebbi A., Carlier P.: *Atmos. Environ.* **24**, 4233 (1996).
 17. Křůmal K., Mikuška P., Večeřa Z.: *Chem. Listy* **103**, 277 (2009).
 18. Narukawa M., Kawamura K., Takeuchi N., Nakajima T.: *Geophys. Res. Lett.* **26**, 3101 (1999).
 19. Yu J. Z., Yang H., Zhang H., Lau A. K. H.: *Atmos. Environ.* **38**, 1061 (2004).
 20. Yao X., Fang M., Chan C. K.: *Atmos. Environ.* **36**, 2099 (2002).
 21. Gao S., Hegg D. A., Hobbs P. V., Kirchstetter T. W., Mag B. I., Sadílek M.: *J. Geophys. Res.* **108**, 8491 (2003).
 22. Salma I., Ocskay R., Láng G. G.: *Atmos. Chem. Phys.* **8**, 2243 (2008).
 23. Graber E. R., Rudich Y.: *Atmos. Chem. Phys.* **6**, 729 (2006).
 24. Salma I., Ocskay R., Chi X., Maenhaut W.: *Atmos. Environ.* **41**, 4106 (2007).
 25. Claeys M., Vermeylen R., Yasmeen F., Gómez-González Y., Chi X., Maenhaut W., Mészáros T., Salma I.: *Environ. Chem.* **9**, 273 (2012).
 26. Kiss G., Tombacz E., Varga B., Alsberg T., Persson L.: *Atmos. Environ.* **37**, 3783 (2003).
 27. Mayol-Bracero O. L., Guyon P., Graham B., Roberts G., Andreae M. O., Decesari S., Facchini M. C., Fuzzi S., Artaxo P.: *J. Geophys. Res.* **107**, 8091 (2002).
 28. Krivacsy Z., Hoffer A., Sarvari Z., Temesi D., Baltensperger U., Nyeki S., Weingartner E., Kleefeld S., Jennings S. G.: *Atmos. Environ.* **35**, 6231 (2001).
 29. Křůmal K., Mikuška P., Večeřa Z.: *Chem. Listy* **106**, 95 (2012).
 30. Křůmal K.: *Dizertační práce*. Vysoké Učení Technické v Brně, Brno 2011.
 31. Simoneit B. R. T., Elias V., Kobayashi M., Kawamura K., Rushdi A., Medeiros P. M., Rogge W. F., Didyk B. M.: *Environ. Sci. Technol.* **38**, 5939 (2004).
 32. Mahía P. L., Muniategui-Lorenzo S., López-Moure P., Piñeiro-Iglesias M., Prada-Rodríguez D.: *Environ. Sci. Pollut. Res.* **10**, 98 (2003).
 33. Ramanathan V., Crutzen P. J., Kiehl J. T., Rosenfeld D.: *Science* **288**, 2119 (2001).
 34. Křůmal K., Mikuška P., Vojtěšek V., Večeřa Z.: *Atmos. Environ.* **44**, 5148 (2010).
 35. Mancinelli V., Rinaldi M., Finessi E., Emblico L., Mircea M., Fuzzi S., Facchini M. C., Decesari S.: *J. Chromatogr. A* **1149**, 385 (2007).
 36. Kerminen V. M., Ojanen C., Pakkanen T., Hillamo R., Aurela M., Meriläinen J.: *Aerosol. Sci.* **31**, 349 (2000).
 37. Pashynska V., Vermeylen R., Vas G., Maenhaut W., Claeys M.: *J. Mass Spectrom.* **37**, 1249 (2002).
 38. Tran N. K., Steinberg S. M., Johnson B. J.: *Atmos. Environ.* **34**, 1845 (2000).
 39. Kawamura K., Kaplan I. R.: *Environ. Sci. Technol.* **21**, 105 (1987).
 40. Alves C. A.: *An. Acad. Bras. Cienc.* **2008**, 21.
 41. Nolte C. H. G., Schauer J. J., Cass G. R., Simoneit B. R. T.: *Environ. Sci. Technol.* **33**, 3313 (1999).
 42. Mazurek M. A., Cass G. R., Simoneit B. R. T.: *Aerosol Sci. Technol.* **10**, 408 (1989).
 43. Rogge W. F., Hildemann L. M., Mazurek M. A., Cass G. R., Simoneit B. R. T.: *Environ. Sci. Technol.* **32**, 13 (1998).
 44. Rogge W. F., Hildemann L. M., Mazurek M. A., Cass G. R., Simoneit B. R. T.: *Environ. Sci. Technol.* **27**, 1892 (1993).
 45. Bergauff M., Ward T., Noonan C., Palmer C.: *J. Environ. Anal. Chem.* **88**, 473 (2008).
 46. Kjällstrand J., Rannäs O., Petersson G.: *Chemosphere* **41**, 735 (2000).
 47. Rogge W. F., Hildemann L. M., Mazurek M. A., Cass G. R., Simoneit B. R. T.: *Environ. Sci. Technol.* **27**, 18 (1993).
 48. Andreae M. O., Crutzen P. J.: *Science* **276**, 1052 (1990).
 49. Kourtchev I., Warnke J., Maenhaut W., Hoffmann T., Claeys M.: *Chemosphere* **73**, 1308 (2008).
 50. Falkovich A. H., Graber E. R., Schkolnik G., Rudich Y., Maenhaut W., Artaxo P.: *Atmos. Chem. Phys.* **5**, 781 (2005).
 51. Graham B., Mayol-Bracero O. L., Guyon P., Roberts G. C., Decesari S., Facchini M. C., Artaxo P., Maenhaut W., Koll P., Andreae M. O.: *J. Geophys. Res.* **107**, 8047 (2002).
 52. Bari A., Baumbach G., Kuch B., Scheffknecht G.: *Atmos. Environ.* **44**, 3823 (2010).
 53. Kubátová A., Vermeylen R., Claeys M.: *J. Geophys. Res.* **107**, 8343 (2002).
 54. Marchand N., El Haddad I., Dron J., Wortham H., Besombes J. L., Jaffrezo J. L.: *Atmos. Environ.* **42**, 28 (2008).
 55. Scalabrin E., Zangrando R., Barbaro E., Kehrwald N. M., Gabrieli J., Barbante C., Gambaro A.: *Atmos. Chem. Phys.* **12**, 10453 (2012).
 56. Standley L. J., Simoneit B. R. T.: *J. Atmos. Chem.* **18**, 1 (1994).
 57. Schauer J. J., Rogge W. F., Hildemann L. M., Mazurek M. A., Cass G. R.: *Atmos. Environ.* **30**, 3837 (1996).
 58. Barbaro E., Zangrando R., Moret I., Barbante C., Cescon P., Gambaro A.: *Atmos. Environ.* **45**, 5050 (2011).
 59. Wedyan M. A., Preston M. R.: *Atmos. Environ.* **42**, 8698 (2008).
 60. Römpf A., Winterhalter R., Moortgat G. K.: *Atmos. Environ.* **40**, 6846 (2006).
 61. Yassaa N., Mekloati B. Y., Cecinato A.: *Atmos. Environ.* **35**, 6003 (2001).
 62. Mochida M., Kawamura K., Fu, P., Takemura T.: *Atmos. Environ.* **44**, 3511 (2010).
 63. Limbeck A., Puxbaum H.: *Atmos. Environ.* **33**, 1847 (1999).
 64. Engling G., Carrico Ch. M., Kreidenweis S. M., Collet Jr. J. L., Day D. E., Malm W. C., Lincoln E., Hao

- W. M., Iinula Y., Herrmann H.: *Atmos. Environ.* 40, S299 (2006).
65. Anttila P., Hyotylainen T., Haikkila A., Jussila M., Finell J., Kulmala M., Riekkola M. J.: *J. Sep. Sci.* 28, 337 (2005).
66. Adler H., Sirén H., Kulmala M., Riekkola M. L.: *J. Chromatogr. A* 990, 133 (2003).
67. Hsieh L. Y., Kuo S. C., Chen C. L., Tsai Y. I.: *Atmos. Environ.* 41, 6648 (2007).
68. Scholnik G., Falkovich A. H., Rudisch Y., Maenhaut W., Artaxo P.: *Environ. Sci. Technol.* 39, 2744 (2005).
69. Saarnio K., Teinilä K., Aurela M., Timonen H., Hilla-mo R.: *Anal. Bioanal. Chem.* 398, 2253 (2010).
70. Fisseha R., Dommen J., Sax M., Paulsen D., Kalberer M., Maurer R., Höfler F., Weingartner E., Baltensperger U.: *Anal. Chem.* 76, 6535 (2004).
71. Röder A., Bächmann K.: *J. Chromatogr. A* 689, 305 (1995).
72. Suzuki Y.: *Anal. Chim. Acta* 353, 227 (1997).
73. Soga T., Ross G. A.: *J. Chromatogr. A* 837, 231 (1999).
74. Noblitt S. D., Mazzoleni L. R., Hering S. V., Collett Jr. J. L., Henry C. S.: *J. Chromatogr. A* 1154, 400 (2007).
75. Pinxteren D., Herrmann H.: *J. Chromatogr. A* 1171, 112 (2007).

A. Kořínková^{a,b}, P. Mikuška^a, and Z. Večeřa^a
(^a*Institute of Analytical Chemistry, Academy of Sciences of the Czech Republic, Brno*, ^b*Institute of Chemistry and Technology of Environmental Protection, Faculty of Chemistry, Brno University of Technology*): **Composition, Sources and Analysis of Water-Soluble Organic Compounds in Atmospheric Aerosols**

Water-soluble organic compounds (WSOC) are an important part of atmospheric aerosols showing a significant effect on radiation balance of atmosphere, contribute to acidification and eutrophication of soil and water and have an adverse influence on human health. WSOC originate mostly from burning of biomass and fossil fuels, road dust, cigarette smoke, abrasion of tires and asphalt or biogenic sources including predominantly pollens from vegetation (primary organic aerosol). WSOC are also products of transformation reactions in atmosphere (secondary organic aerosol). WSOC are composed mainly of HULIS (humic-like substances), monosaccharide anhydrides, saccharides, carboxylic acids, resin acids and methoxyphenols. WSOC are sampled mostly on filters. Filter extracts are analysed by GC or LC or by ion chromatography or capillary electrophoresis.