



VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Centrum ENET

Energetické jednotky pro využití netradičních zdrojů energie

***Stanovení „Black Carbon“ na vybraných lokalitách Moravskosleského kraje
pro projekt AIR SILESIA***

HS 777212

uzavřená mezi VŠB – TU Ostrava, ENET a družstvem ENVICRACK

Prof.Ing.K.Raclavský,CSc.

Prof.Ing.H.Raclavská,CSc.

Ing.S.Hartmann

Bc.Marek Kucbel

V Ostravě leden 2013

1. Úvod

Black carbon zjednodušeně chápeme, jako nespalitelné uhlíkaté zbytky vzniklé při nedokonalém spalování biomasy a fosilních paliv (Limon–Sanchez et al., 2011), nelze ho zaměňovat s pojmy *elementární uhlík* (EC - *elemental carbon*), saze či „*black smoke*“=„černý kouř“ (Shrestha et al., 2010). *Black carbon* vzniká při nedokonalém spalování v redukčním či anoxickém prostředí, zatímco elementární uhlík vzniká při oxidačním spalování (Shrestha et al., 2010; Watson et al., 2005). BC a EC tedy nejsou totožné, ale existuje mezi nimi vysoká korelační závislost (Wallace, 2005).

Rozdíl mezi pojmy BC a EC je dán i metodami jejich zjišťování v celkovém množství sazí. Jestliže je celkové množství sazí určováno metodou založenou na optické absorpci světla, zavádí se pojem *black carbon* (Hansson et al., 2011), naproti tomu EC je primárně zjišťován termickou oxidační metodou v oxidační atmosféře He/O_2 (Hansson et al., 2011; Cheng et al., 2011) nebo termickou optickou analýzou (Conny et al., 2003). BC nemá přesnou chemickou definici vyjádřenou strukturním vzorcem, ale představuje směs složenou z mnoha různých chemických látek. Obecně platí, že v závislosti na původu z různých zdrojů spalování mají částice BC rozdílnou morfologii, chemické složení a geometrický tvar, což má vliv na jejich povrchové a optické vlastnosti (Fu et al., 2008; Zencak, 2007).

Studiem BC se podrobněji začala v sedmdesátých letech dvacátého století zabývat vědecká skupina v USA v čele s Tihomir Novakovem (Rosen et al., 1980). V osmdesátých letech se k této skupině přidali fyzikové Hal Rosen a Tony Hansen, kteří za hlavního přispění Hansena v roce 1983 sestrojili přístroj pro měření koncentrací BC v reálném čase na základě optické absorpce světla, jež nazvali *aethalometr* z řeckého slova „*Aethalos*“ znamenající v překladu „zčernalé od sazí“ (Hansen et al., 1984).

Black carbon je antropogenní aerosol, který má intenzivní černou nebo tmavou barvu, je tvořen mikrokrystallickým grafitovým uhlíkem (Limon–Sanchez et al., 2011; Tripathi et al., 2005) s velkým množstvím elektronů v (π) vazbách. Mobilita elektronů umožňuje absorpci optických fotonů (Hansen, 2005). Absorpce světla v BC probíhá v polovině oblasti viditelného spektra a blízkém infračerveném spektru (Bond a Bergstrom, 2006). Absorpce je přímo úměrná frekvenci dopadajícího elektromagnetického pole, tím se v oblasti modrého spektra úměrně zvyšuje a v oblasti spektra infračerveného se snižuje (Hansen, 2005).

Elektrony obsažené v grafitu jsou mobilní a současně natolik účinné, že umožňují nejen rozptyl, ale i absorpci slunečního záření, což vede k efektu oteplování atmosféry, ale zároveň v kombinaci s jinými aerosoly může dojít i v regionálním měřítku k efektu ochlazení (Ban - Weiss et al., 2011; Hansen, 2005; Hansen a Novakov, 1990). Předpokládá se, že pro saze vzniklé nedokonalým spalováním v Dieslových motorech je výsledným efektem oteplování (Ramanathan, 2010; Novakov et al., 2005), zatímco spalování biomasy s přítomností značného množství organického uhlíku (OC – *organic carbon*) má za následek efekt ochlazení (Novakov et al., 2005; Kandlikar et al., 2009).

Vlivem velikosti částic většinou pod 1 μm setrvávají částice BC v atmosféře (v závislosti na meteorologických podmínkách) dny až týdny a jsou tedy schopny dálkového transportu (Dumka et al., 2010; Dodson et al., 2009). Částice BC jsou nerozpustné v polárních i nepolárních rozpouštědlech a na vzduchu jsou stabilní, stejně jako v čisté kyslíkové atmosféře při teplotě 350 °C (Bachmann, 2009; Hansen, 2005).

Částice BC emitované do ovzduší jsou hydrofobní (tzn. nerozpustné ve vodě). Při jejich „stárnutí“, ke kterému dochází prostřednictvím kondenzace a koagulace s aerosoly kyselin sírové a dusičné se převádí z hydrofobního režimu do hydrofilního. Depozice je závislá na dostupnosti těchto aerosolů,

pravděpodobností zapojení částic BC do kondenzačních a srážecích procesů a na místních povětrnostních podmínkách (Kumar et al., 2011; Nguyen et al., 2009; Lund a Berntsen, 2009).

Black carbon je v důsledku své charakteristické vlastnosti, již je inertnost, relativně odolný vůči degradaci. Používá se proto jako primární indikátor pro spalování biomasy a procesů spalování fosilních paliv, lze jej indentifikovat v jednotlivých složkách životního prostředí - atmosféra, půdy, sedimenty, ledovce a mořské vody (Limon-Sanchez et al, 2011; Masiello, 2004; Im et al., 2001).

2. Metody používané k měření *black carbon*

Metody pro určování koncentrací BC mohou být rozděleny do tří kategorií: **termické, fotoakustické a optické** (Hammes et al., 2008, Du et al., 2011). Termické metody jsou charakteristické spíše pro určení EC zachycených na křemíkovém filtru, přesto jimi lze určit i koncentraci BC.

Princip Aethalometru spočívá v měření snížení intenzity světelného paprsku, který prochází přes křemíkový filtr, kde je kontinuálně zachycován vzorek aerosolu a výpočtu koncentrace opticky absorbujícího materiálu ve vzorkovaném proudu vzduchu.

Aethalometr je automatický přístroj, který v reálném čase na základě optického útlumu, měří koncentraci aerosolových částic BC v proudu vzduchu (Park et al., 2010; Wallace, 2005). Vzorek vzduchu je nasáván přes přívodní trubici pomocí čerpadla s nastavitelným průtokem (Tripathi et al., 2005). Průtok vzorku je řízen vnitřním hmotnostním průtokoměrem. Optimální rychlost průtoku je od 2 do 6 litrů za minutu. Vzorek vzduchu je zachycen na filtru z křemíkových vláken (Hansen, 2005). Křemíkový vláknitý filtr je využíván proto, že umožňuje dokonalý difúzní rozptyl matrice, na kterém jsou zachyceny částice BC absorbující světlo (Weingartner et al., 2003). Sběrná vzorkovací plocha je buď 0,5 cm² u vzorkovací hlavičky s „*vysokou citlivostí*“ (HS), jejíž použití se doporučuje v oblastech s extrémně nízkými koncentracemi BC (při vyšších rychlostech průtoku), nebo 1,67 cm² u vzorkovací hlavičky s „*rozšířeným rozsahem*“ (ER), doporučené pro měření v městských oblastech, resp. pro vzorkování proudů vzduchu s vyšší koncentrací BC (při nižších rychlostech průtoku). Rychlost akumulace BC na vzorkovaném místě je přímo úměrná koncentraci BC v proudu vzduchu a rychlosti proudění vzduchu (Hansen, 2005).

Toto měření se provádí v pravidelných po sobě následujících intervalech časové báze. Použitím příslušné hodnoty specifické pro útlum s kombinací filtrů a optických komponentů, lze určit obsah BC po každém měření intervalu časové báze. Výsledná koncentrace BC se vypočítá z dílčích časových intervalů (Hansen, 2005; Jimenez et al., 2007; Ng et al., 2007; Tang et al., 2011). Rychlejší časová báze poskytuje rychlejší odezvu, ale zapříčiňuje větší šum přístroje. Naproti tomu u pomalejší časové báze je šum menší, avšak dochází ke „ztrátě“ časových detailů. Proto se při monitoringu ve městě doporučuje nastavit časovou bázi na 5 minut a při studiu jednotlivých události na 1 minutu (Hansen, 2005).

Přístroj má dva fotodetektory, měřící intenzitu procházejícího světla přes snímací a referenční část filtru. Jeden tzv. *referenční paprsek* (RB) měří intenzitu světla, procházejícího přes „čisté“ (neexponované) místo křemíkového filtru. Druhý tzv. *snímací paprsek* (SB) měří rovněž intenzitu světla, ale prochází místem, kde se neustále hromadí vzorek aerosolu (Fialho et al., 2005; Weingartner et al., 2003; Cheng et al., 2006). Aethalometr měří i signály detektorů, zatímco je zdroj světla vypnutý s cílem určit jejich nulové odchylky (RZ pro *referenční paprsek* a SZ pro *snímací paprsek*).

Tyto hodnoty se odečítají od hodnot zjištěných při zapnutém zdroji světla (lampy). Útlum je definován jako $ATN_{(\lambda)} = -100 \cdot \ln\left(\frac{SB-SZ}{RB-RZ}\right)$, kde 100 je faktor zavedený pro ulehčení numerických výpočtů (Cheng et al., 2006).

Výpočet koncentrace BC v aerosolu každého cyklu časové základy se vypočítá jako:

$$BC = \frac{ATN(T) - ATN(0)}{\sigma_{\left(\frac{1}{\lambda}\right)}} \cdot \frac{A}{V}$$

Kde:

$\sigma_{(1/\lambda)}$ je průřez specifického zeslabení pro depozit BC na filtru,

ATN (0) a ATN (T) jsou počáteční a konečný útlum v důsledku uložení aerosolu na filtru při každém cyklu časové základny,

A (m²) je plocha vystavena místu na filtru,

V (m³) je objem nasávaného vzduchu přes filtr (Cheng et al., 2006).

Hmotnostní koncentrace se vypočítá jako rozdíl optické hustoty dvou posledních měření, pomocí kalibračního faktoru pro snížení intenzity světla (ATN) (Wallace, 2005). Zdroj světla v modelu Aethalometru se skládá z vysoce intenzivní světelných diodových (LED) lamp s vysokou intenzitou záření (880 nm a dalšími vlnovými délkami v závislosti na modelu). Množství světla detekované diodou se v místě filtru, kde jsou shromážděné částice BC snižují. Všechny optické signály z diody jsou převedeny na napětí a digitalizovány (Hansen, 2005; Park et al., 2010).

Aethalometr měří absorpci světla suspendovaných aerosolových částic ve dvou základních vlnových délkách: 880 nm (infračervené záření) pro určení kvantitativní hodnoty hmotnosti „black carbon“ a 370 nm (UV záření) pro měření aromatických organických sloučenin, jako jsou PAH, které silně absorbují UV záření (Hansen, 2005; Jeong et al. 2004; Fialho et al., 2005).

Aethalometer může být doplněn dalšími zdroji vlnových délek 470 nm (modré), 520 nm (zelené), 590 nm (žluté), 660 nm (červené) a 950 nm (blízké infračervené spektrum). Optické měření absorpce ve více vlnových délkách umožňuje identifikaci fyzikálních vlastností aerosolů, které se zachytí na filtru.

Základní vlnovou délkou je hodnota 880 nm, která je považovaná za standardní kanál pro měření koncentrace BC, především protože BC absorbuje nejvíce světla právě při této vlnové délce a ostatní aerosolové komponenty mají absorpci zanedbatelnou (Saha a Despiou, 2009, Goto et al. 2011). Dalším důvodem je, že při nižších hodnotách vlnových délek mají silnější příspěvky jiné sloučeniny než BC, jimiž jsou především aromatické organické látky, hematit (Fe₂O₃) aj. (Weingartner et al., 2003).

Vlnové délky kratší než 400 nm, poukazují na přítomnost některých druhů organických sloučenin (jako jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, a také látky přítomné v tabákovém kouři a výfukových plynech ze vznětových motorů). Hlavní význam složek absorbujících UV záření spočívá v tom, že mohou být použity jako indikátor emisí vznikajících spalováním ropy a tuhých paliv. Koncentrace UV složek lze získat rozdílem mezi naměřenou koncentrací BC a koncentrací zdroje naměřenou při 370 nm.

Tyto UV komponenty nepředstavují reálný fyzikální nebo chemický materiál, ale parametr absorpce UV záření způsobené směsí organických látek naměřených na této vlnové délce. Jednotkou jejich vyjádření jsou „ekvivalentní BC“ (BC Equivalent) (Butterfield et al., 2010; Sandradewi et al., 2008). Jako popisný (ačkoli nesprávný) termín, se občas pro tyto sloučeniny používá „modrý“ uhlík (blue

carbon) naznačující spektrální specifičnost (Hansen, 2005). Některé další komponenty aerosolu mohou mít v určitém rozsahu spektra rovněž specifické „zabarvení“: hematitový minerální prach může mít červené zbarvení (660 nm), některé anorganické sloučeniny absorbují v blízké infračervené oblasti (880 nm a 950 nm) a tabákový kouř má často žluté zbarvení (590 nm) (Hansen, 2005).

3. Koncentrace BC v ovzduší

Hmotnostní koncentrace BC v ovzduší se vyjadřují v jednotkách $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ při velkém znečištění v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Koncentrace vykazují často výrazné časové rozdíly, a to jak denní, tak i roční. Denní variace koncentrací BC poukazují na jejich ranní vrchol (maximum) a odpolední pokles. Denní změny jsou výraznější v zimní sezóně, s přítomností sekundárních vrcholů během večera. Denní variace jsou spojeny s místní hustotou dopravy, s rychlostí větru a zdroji spalovacích procesů (Saha a Despiou, 2009; Herich et al. 2011; Dumka et al., 2010). Regresní analýza mezi hmotnostní koncentrací BC a rychlosti větru ukazuje, že se zvýšením rychlosti větru se hmotnostní koncentrace BC snižuje a naopak (Kumar et al., 2011).

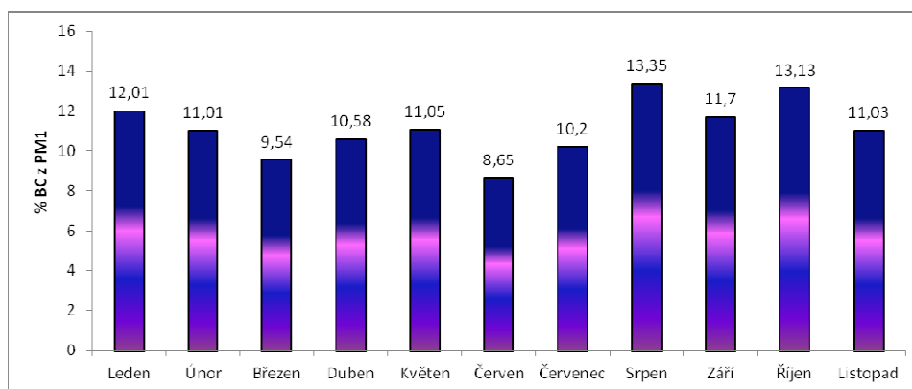
Koncentrace částic BC v závislosti na počasí značně kolísá. Byla prokázána silná korelační závislost mezi koncentracemi BC a atmosférickými jevy, poukazující na maximální hodnoty během dnů s mlhou a minimální za jasných dnů. Za mlhavých dnů je koncentrace BC přibližně 7,4 krát větší, než za jasných dnů, tato závislost plyne ze studie provedené v Indii (Kumar et al., 2011). Minimální obsah koncentrací BC v ovzduší je i po dešti (Latha a Badrinath, 2005, Bano et al., 2007).

Studie provedené v různých zemích potvrzují vysoké koncentrace v zimním období (od listopadu do února) a nižší hodnoty v letním období (od května do září). Nárůst koncentrací BC v zimním období je způsoben zvyšující se antropogenní činností v souvislosti s vytápěním, nepříznivými meteorologickými podmínkami, např. nízkou rychlostí větru, inverzním charakterem počasí aj. (Saha a Despiou, 2009, Latha a Badrinath, 2005, Cao et al., 2009; Lyamani et al., 2011).

Studie provedená v pěti městech ve Finsku (od prosince 2004 do prosince 2008) uvádí, že průměrná koncentrace BC během letních měsíců byla v Pallastunturi $0,06 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a během zimních $0,81 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a v Hyytiälä $0,22 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (letní průměr) a $0,39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (zimní průměr) (Hyvärinen et al. 2011).

Během dvou a půl letého (2008 - 2010) měření koncentrací BC ve dvou venkovských oblastech (Pay a Mag) a jedné městské oblasti Zue ve Švýcarsku, byly v letních měsících naměřené tyto průměrné koncentrace BC: v Pay $0,43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v Magu $0,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ a Zue $0,99 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Během zimního období koncentrace v Pay dosahovaly $0,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v Magu $3,03 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, vlivem značného spalování biomasy, během „topné“ sezóny byly koncentrace BC vyšší než ve městě Zue, kde průměrné koncentrace činily $1,34 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (Herich et al., 2011).

Paakannen et al. (2000) studoval obsahy BC v Helsinkách, v pracovní dny byla koncentrace BC $1,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, v sobotu $1,2$ a v neděli $1,0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. BC vykazoval variabilitu i během dne, nejvyšší hodnoty $2,7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ byly naměřeny ráno a nejnižší večer $1,9 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Black carbon činil cca 19 % z celkového obsahu PM_{10} . Odhad příspěvku dálkového přenosu se pohybuje mezi $0,4$ až $0,8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, je velmi variabilní pro různé oblasti. Jiné studie pro Evropu určily obsah BC v PM_{10} v rozmezí 5 – 10 % (Shrestha et al., 2010). V Ostravě Zábřehu se koncentrace BC ve třídě PM_1 pohybovala v rozmezí 8.65 % (červen) až 13.35 % (srpen, říjen).



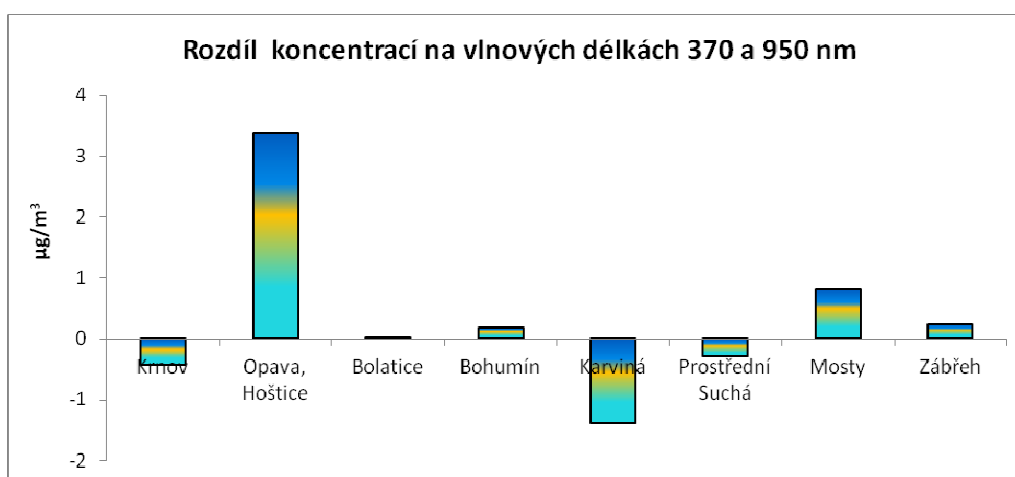
Obrázek 1 Procentuální zastoupení BC ve třídě PM1 – rok 2012, Ostrava - Zábřeh

3.1 Koncentrace BC v ovzduší mimo topnou sezonu

4. října bylo provedeno měření BC v 8 městech Moravskoslezského kraje. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce č.1. Rozdíl koncentrací měřených na dvou vlnových délkách: v oblasti UV (370) a IR (950 nm) je uveden na obrázku 2. Při tomto měření se potvrdil vliv spalování fosilních paliv v Karviné, Prostřední Suché a v Krnově.

Tabulka 1 Koncentrace BC v oblasti jednotlivých vlnových délek a průměrná koncentrace BC (ng/m^3)

	370 nm	470 nm	520 nm	590 nm	660 nm	880 nm	950 nm	BC (ng/m^3)
Krnov	3263	3452	2832	2643	2910	3048	3687	3 119
Opava, Hoštice	7658	7937	5860	4996	5743	3953	4266	5 773
Bolatice	806	786	626	996	980	602	804	800
Bohumín	1667	1609	1418	1612	1513	1365	1468	1 522
Karviná	1155	3095	1248	1172	2832	2462	2525	2 070
Prostřední Suchá	709	408	545	513	846	1363	992	768
Mosty	1307	1225	836	548	1032	-58	503	770
Ostrava -Zábřeh	455	254	285	371	369	384	221	334

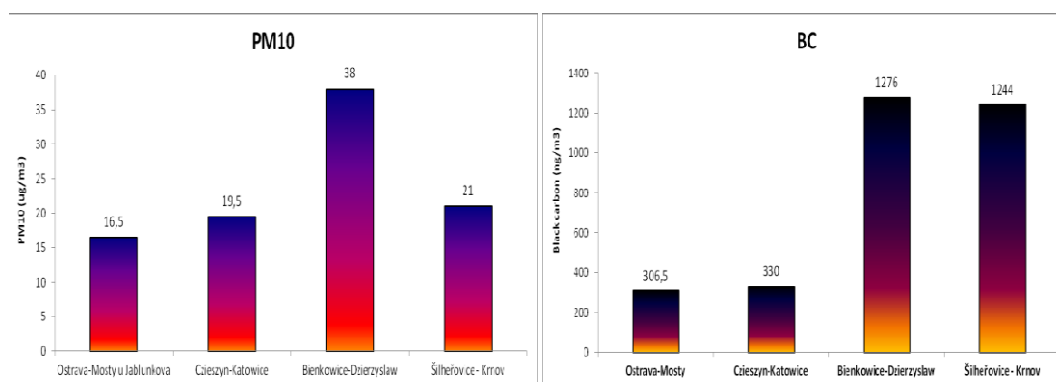


Obrázek 2 Rozdíl koncentrací měřených na dvou vlnových délkách: v oblasti UV (370) a IR (950 nm)

Další měření pro stanovení koncentrace BC v mimotopné sezóně byly provedeny na přelomu měsíce května/června 2013. Výsledky pro vybrané lokality jsou uvedeny v tabulce č.2 a na obrázku 3. Součástí měření BC bylo i sledování koncentrace celkové koncentrace TSP (označeno jako Total), částic o velikosti pod 10 μ m (PM10), PM2.5 a PM1.

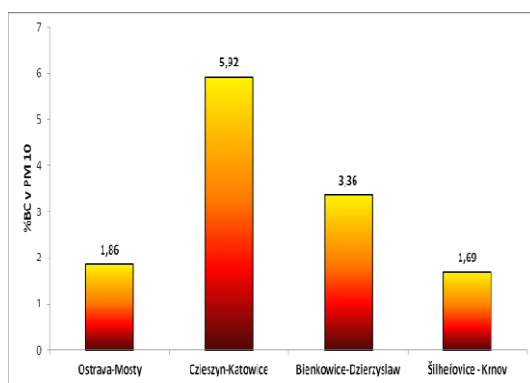
Tabulka č.2 Koncentrace BC v ovzduší – mimotopná sezóna květen/červen 2013

Lokalita	Total	PM10	Resp	PM2.5	PM1	BC
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ng/m^3
Český Těšín	22	18	13	12	11	405
Havířov (Prostřední Suchá)	16	12	11	11	10	157
Třinec (Horní Lištná)	24	12	11	11	11	328
Karviná	33	21	15	14	13	285
Kaczyce	27	23	20	19	18	635
Zebrzydovice	88	66	59	57	55	7905
Ostrava Muglinov	68	30	20	19	17	1934
Czieszyn	22	21	20	19	18	95
Goczalkowice Zdroj	31	18	13	12	12	4118
Karviná (ZŠ ČSA)	20	15	12	12	12	129
Ustroň	16	13	12	12	12	1244
Zory	17	14	13	13	12	308
Šilheřovice	43	26	20	18	17	614
Bohumín	36	26	20	19	17	2461
Orzesze	41	21	16	15	15	2017
Opava Malé Hoštice	23	17	14	13	12	274
Krnov	34	22	16	15	14	386
Zopow	55	33	27	26	25	898
Bolatice	28	16	14	13	12	101
Bienkowice	50	48	44	42	39	1276
Dzierzyslaw	63	38	30	28	26	1716
Mosty u Jablunkova	19	13	11	11	11	188
Katowice - letiště	38	24	18	17	16	176
Katowice (GIG)	21	19	16	16	15	1351

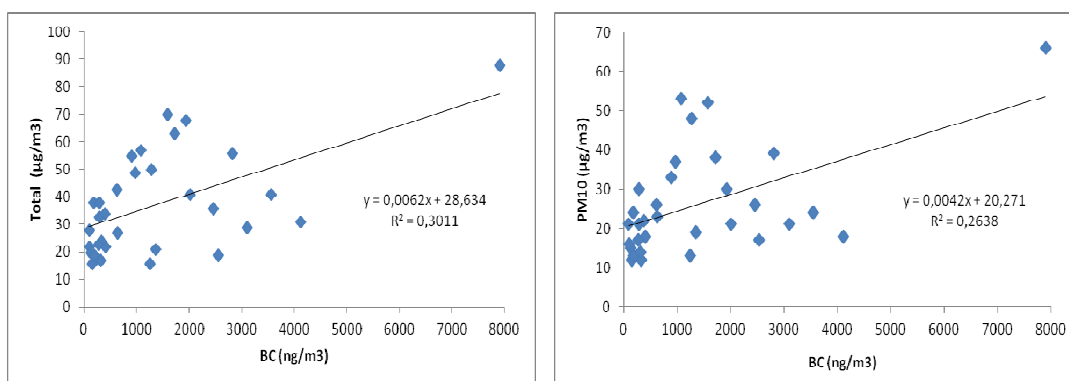


Obrázek 3 BC a PM10 v měřených oblastech květen/červen 2013

Z výsledků je zřejmé, že vyšší koncentrace BC byla naměřena v oblasti mezi Šilheřovicemi a Krnovem a podobně v polské části nad Krnovem, Zatímco v průmyslovější oblasti Ostrava – Mosty u Jablunkova a Cieszyn – Katowice byly koncentrace BC až 4 násobně nižší. V tomto případě mohly být koncentrace BC ovlivněny depozicí pylu. Z výsledků uvedených v kapitole 2 je zřejmé, že koncentrace BC tvoří cca 10 % z koncentrace PM10. Z obrázku 4 je zřejmé, že pro vzorkování na přelomu květen/červen 2012 tyto závislosti neplatí. Obsah BC ve třídě PM10 byl mnohem nižší maximálně 6% pro průmyslovější oblast Cieszyn – Katowice. Na základě denních měření, které byly v roce 2012 prováděny v Ostravě Zábřehu, byla potvrzena statisticky velmi významná závislosti mezi koncentrací PM10, zvláště PM1 a BC, což znamenalo, že nejvyšší množství částic BC se vyskytuje v nejjemnozrnnější třídě. V případě měření BC na přelomu květen/červen byla statisticky nejvýznamnější závislost zjištěna mezi celkovou depozicí (TSP) a BC ($r = 0.54$) a mezi PM10 a BC byla stanovena hodnota koeficientu korelace ($r = 0.51$). Pro oba soubory byla splněna podmínka kritické hodnoty koeficientu korelace pro 24 vzorků ($r = 0.51$) při hladině významnosti 0.005. Je tedy pravděpodobné, že výsledky koncentrace BC jsou ovlivněny koncentrací pylu v ovzduší.



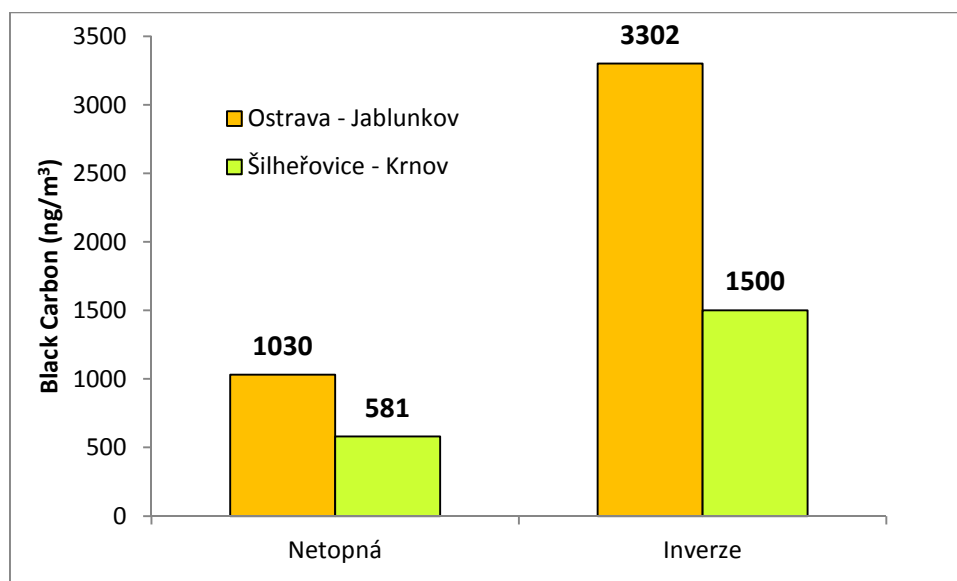
Obrázek 4 Zastoupení BC v PM10 (%)



Obrázek 5 Závislost mezi BC a TSP, závislost mezi BC a PM10

Na obrázku 6 jsou uvedeny průměrné hodnoty BC pro mimotopnou sezónu, které byly vypočteny z měřených koncentrací v říjnu (bez pylu) a květen/červen 2013. Tyto koncentrace jsou porovnány s koncentracemi v topné sezóně v období inverze 14 – 16.11.2012. Z obrázku je zřejmé, že rozdíl v koncentraci v topné a mimotopném období je pro obě lokality trojnásobný. Koncentrace BC

v oblasti mezi Ostravou a Jablunkovem je 2 x vyšší než koncentrace BC v okolí Krnova (Šilheřovice – Krnov).



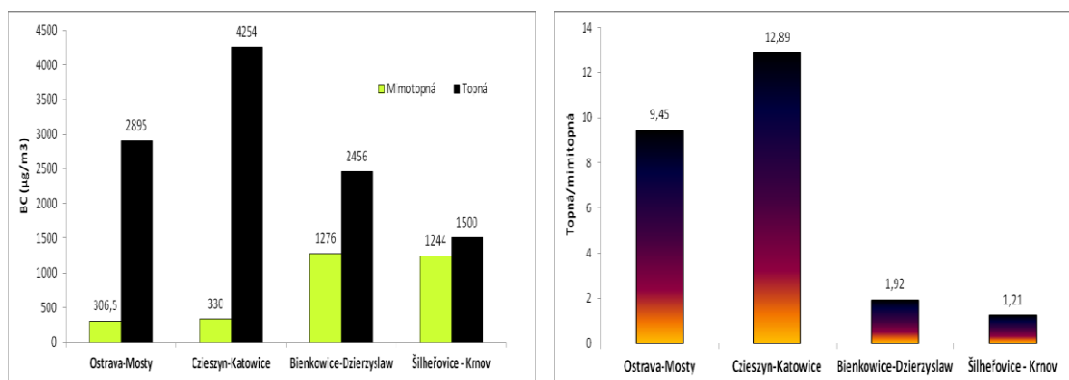
Obrázek 6 Průměrné koncentrace BC pro mimotopnou sezonu (říjen2012, květen/červen2013) a topnou sezonu

3.2 Koncentrace BC v ovzduší v topné sezóně

Koncentrace BC na vybraných lokalitách byla měřena ve dnech 15 – 16.11.2012, ve dnech inverzní situace, kdy se koncentrace PM₁₀ v oblasti Vernýřovic pohybovala okolo 240 µg/m³, v oblasti Karvinska byla okolo 150 – 170 µg/m³. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č.3.

Tabulka č.3 Stanovení BC v topné sezóně – inverzní situace 14-16.11.2012

Lokalita	BC (ng/m ³)	Lokalita	BC (ng/m ³)	Lokalita	BC (ng/m ³)	Lokalita	BC (ng/m ³)
Český Těšín	3750	Kaczyce	2987	Šilheřovice	897	Bienkowice	2456
Haviřov (Pr. Suchá)	9870	Zebrzydovice	6457	Opava Hoštice	1746	Zopowy	1987
Třinec (Horní Lištná)	1140	Czieszyn	4215	Krnov	1254	Dzierzyslaw	2987
Mosty u Jablunkova	247	Goczalkowice	7325	Bolatice	1748		
Karviná (ZŠ ČSA)	4048	Ustroň	3268				
Karviná	4487	Zory	3980				
Ostrava Muglinov	2040	Orzesze	4254				
Bohumín	832	Katowice - letiště	7854				
		Katowice (GIG)	8356				
Median	2895	Median	4254	Median	1500	Medián	2456



Obrázek 7 Porovnání mediánu koncentrace BC pro topnou a mimotopnou sezónu, podíl koncentrací v topnou a mimotopnou sezónu

Z obrázku 7 je zřejmé, že nejvyšší koncentrace BC v topné sezóně naměřeny pro oblast Cieszyn – Katowice, a pak pro oblast Ostrava – Mosty u Jablunkova. Podíl mezi koncentrací BC pro oblast Cieszyn – Katowice a pro oblast Ostrava – Mosty u Jablunkova je cca 13-ti násobný, pro oblast Ostrava – Mosty je cca 9-ti násobný. Pro polskou část v oblasti nad Krnovem je cca dvojnásobný a v oblasti Šilheřovice – Krnov byl naměřený rozdíl minimální (1,21 x). Z uvedených výsledků je zřejmé, že nejvyšší zátěž ze spalování fosilních paliv byla zjištěna v oblasti Cieszyn – Katowice. Vyšší koncentrace BC v mimotopném období byly naměřeny v oblasti v okolí Krnova, a to v české i polské části. Vyšší koncentrace v období květen/červen 2013 se dají vysvětlit vyšší koncentrací částic pylu v ovzduší. Tato situace, byla ale zjištěna i v říjnu 2012. Chování BC v této oblasti by bylo potřeba ověřit ještě dalším vzorkováním například v červenci nebo srpnu, případně doplnit tuto analýzu je ště o určení organického uhlíku, který by pomohl definovat zdroj BC.

Závěr

V porovnání s literárními daty byly v Moravskoslezském kraji naměřeny srovnatelné koncentrace BC. Ve většině prováděných měření je koncentrace uhlíku měřena při vlnové délce v oblasti UV (370 nm) vyšší než koncentrace *black carbon* měřena při vlnové délce 950 nm. Naměřená data vykazují značný rozdíl pro mimotopnou a topnou sezónu s výjimkou oblasti Šilheřovice – Krnov.

Literatura

1. BACHMANN, J. *Black Carbon: A Science/Policy Primer*. : Pew center on global climate change, 2009. 47 s.
2. BANO, T.; SINGH, S.S.; ROSHAN, R.K.; SONI, K.; TANWAR, R.S. a NATH S. *Study of aerosol black carbon during different weather conditions over Delhi*. 2007.
3. BAN-WEISS, G.A; L. CAO, G. BALA a K. CALDEIRA. Dependence of climate forcing and response on the altitude of black carbon aerosols. *Climate Dynamics*. 2011, **13**.
4. CONNY, J. M, D. B. KLINEDINST, S. A. WIGHT a J.L. PAULSE. Optimizing Thermal-Optical Methods for Measuring Atmospheric Elemental (Black) Carbon: A Response Surface Stud. *Aerosol Science and Technology*. 2003, **37**, 703-723.
5. DODSON, R. E., E. A. HOUSEMAN, B. MORIN a J. I. LEVY. An analysis of continuous black carbon concentrations in proximity to an airport and major roadways. *Atmospheric Environment*. 2009, **43**. 3764–3773.

6. DU, K., Y. WANG, B. CHEN, K. WANG, J. CHEN a F. ZHANG. Digital photographic method to quantify black carbon in ambient aerosols. *Atmospheric Environment*. 2011, **45**, 7113-7120.
7. DUMKA, U.C., K.K. MOORTHY, R. KUMAR, P. HEGDE, R. SAGAR, P. PANT, N. SINGH a S.S. BABU. Characteristics of aerosol black carbon mass concentration over a high altitude location in the Central Himalayas from multi-year measurements. *Atmospheric Research*. 2010, **96**, 510–521.
8. FIALHO, P., A. D. A. HANSEN a R.E. HONRATH. Absorption coefficients by aerosols in remote areas: A new approach to decouple dust and black carbon absorption coefficients using seven-wavelength Aethalometer data. *Journal of Aerosol Science*. 2005, **36** (2), 267–282.
9. GOTO, D., T. TAKEMURA, T. NAKAJIMA a K.V.S. BADARINATH. Global aerosol model-derived black carbon concentration and single scattering albedo over Indian region and its comparison with ground observations. *Atmospheric Environment*. 2011, **45**, 3277-3285.
10. HAMMES, K., R. J. SMERNIK, J. O. SKJEMSTAD a M. W.I. SCHMIDT. Characterisation and evaluation of reference materials for black carbon analysis using elemental composition, colour, BET surface area and ¹³C NMR spectroscopy. *Applied Geochemistry*. 2008, **23**, 2113–2122.
11. HANSEN, A. D. A. a T. NOVAKOV. Real-Time Measurement of Aerosol Black Carbon During the Carbonaceous Species Methods Comparison Study, *Aerosol Science and Technology*. 1990, **12**, 194-199
12. HANSEN, A.D.A., H. ROSEN a T. NOVAKOV. The Aethalometer: an instrument for real-time measurement of optical absorption by aerosol particles, *The Science of the Total Environment*. 1984, **36**, 191-196.
13. HERICH, H., C. HUEGLIN a B. BUCHMANN. A 2.5 year's source apportionment study of black carbon from wood burning and fossil fuel combustion at urban and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Measurement Techniques*. 2011, **4**, 1409–1420.
14. CHEN, Y., G. ZHI, Y. FENG, J. FU, J. FENG, G. SHENG a B. R. T. SIMONEIT. Measurements of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China. *Geophysical Research Letters*. 2006, **33**, L20815.
15. JIMENEZ, J., C. CLAIBORN, L. LARSON a T. GOULD. Loading Effect Correction for Real-Time Aethalometer Measurements of Fresh Diesel Soot. *Journal of the Air* . 2007, **57**(7), 868-73.
16. KANDLIKAR, M., C. C. O. REYNOLDS a A. P. GRIESHOP. *A Perspective Paper on Black Carbon Mitigation as a Response to Climate Change*. Nemecko: Copenhagen Consensus on climate, 2009, 21 s.
17. KUMAR, K.R., K. NARASIMHULU, G. BALAKRISHNAIAH, B. S.K. REDDY, R.K. GOPAL, R.R. REDDY, S.K. SATHEESH, K.K. MOORTHY a S.S. BABU. Characterization of aerosol black carbon over a tropical semi-arid region of Anantapur, India. *Atmospheric Research*. 2011, **100**(1), 12-27.
18. 28. LATHA, K. M. a K. V. S. BADRINATH. Seasonal variations of black carbon aerosols and total aerosols mass concentrations over urban environment in India. *Atmospheric Environment*. 2005, **39**, 4129-4141.
19. LIMON–SANCHEZ, M.T., P.C. ROMERO, L. H. MENA, H. S. NORENA, A. L. LOPEZ, R. C. RAMIREZ, J.L. A. COLINA a W, SMIT. Black carbon in PM_{2.5}, data from two urban sites in Guadalajara, Mexico during 2008. *Atmospheric Pollution Research*. 2011, **2**, 358-365.
20. LUND, M.K. a BERNTSEN, T.K. *Black carbon in snow – sampling, albedo effects and climate impact*. Tromsø : Norwegian Polar Institute, 2009. The importance of aging for regional transport of Black carbon to the Arctic, s. 53-55. ISBN 978-82-7666-270-2.
21. MASIELLO, C.A. New directions in black carbon organic geochemistry. *Marine Chemistry*. 2004, **92**, 201– 213.
22. NGUYEN, B. T., J. LEHMANN, W. C . HOCKADAY, S. JOSEPH a C. A. MASIELLO. Temperature Sensitivity of Black Carbon Decomposition and Oxidation. *Environmental Science Technology*. 2010, **44**, 3324–3331.

23. NOVAKOV, T., MENON S., KIRCHSTETTER T. W., KOCH D., HANSEN J. E.. Aerosol organic carbon to black carbon ratios: Analysis of published data and implications for climate forcing. *Journal of Geophysical Research*. 2005, **110**, D21205.
24. PARK, S. S., A. D.A. HANSEN a S. Y. CHO. Measurement of real time black carbon for investigating spot loading effects of Aethalometer data. *Atmospheric Environment*. 2010, **44**, 1449-1455.
25. ROSEN, H., A.D.A HANSEN, R.L. DOD a T. NOVAKOV. Soot in urban atmospheres: Determination by an optical absorption technique, *Science*. 1980, **208**, 741-744
26. SAHA, A. a S. DESPIAU. Seasonal and diurnal variations of black carbon aerosols over a Mediterranean coastal zone. *Atmospheric Research*. 2009, **92**, 27-41.
27. SANDRADEWI, J., A. S. H. PRÉVÔT, E. WEINGARTNER, R. SCHMIDHAUSER, M. GYSEL a U. BALTENSBERGER. A study of wood burning and traffic aerosols in an Alpine valley using a multi-wavelength Aethalometer. *Atmospheric Environment*. 2008, **42**, 101-112.
28. SHRESTHA, G; S. J TRAINA a Ch. W. SWANSTON. Black Carbon's Properties and Role in the Environment: A Comprehensive Review. *Sustainability*. 2010, **2**, 294-320.
29. TRIPATHI, S.N., S. DEY, V. TARE. Aerosol black carbon radiative forcing at an industrial city in northern India. *Geophysical Research Letters*. 2005, **32**, L08802.
30. WALLACE, L. Real-Time Measurements of Black Carbon Indoors and Outdoors: A Comparison of the Photoelectric Aerosol Sensor and the Aethalomete. *Aerosol Science and Technolog.* 2005, **39**(10), 1015-1020.
31. WATSON, J. G; J. C CHOW a L.W.A. CHEN, Summary of Organic and Elemental Carbon/Black Carbon Analysis Methods and Intercomparisons. *Aerosol and Air Quality Research*. 2005, **5** (1) 65-102.
32. WEINGARTNER, E., H. SAATHOFF, M. SCHNAITER, N. STREIT, B. BITNAR a U. BALTENSBERGER. Absorption of light by soot particles: determination of the absorption coefficient by means of aethalometers. *Aerosol Science*. 2003, **34**, 1445–1463.