

KONCENTRACE OZONU, OXIDŮ DUSÍKU A PRACHOVÝCH ČÁSTIC UVNITŘ A V OKOLÍ DEPOZITÁŘE KNIHOVNY SZM – JEJICH VZÁJEMNÝ VZTAH, VLIV NA DEPONOVANÝ MATERIÁL A NÁVRH REŽIMU PREVENTIVNÍ KONZERVACE

Miloš Zapletal¹, Oldřich Schejbal²

(schejbal@szm.cz)

¹ Slezská univerzita v Opavě, Filozoficko-přírodovědecká fakulta

² Slezské zemské muzeum

Předkládaná studie prezentuje výsledky osmítýdenního monitorování vnitřních a venkovních koncentrací přízemního ozonu, oxidů dusíku a prachových částic v jednom z depozitářů Knihovny Slezského zemského muzea. Na základě kontinuálně naměřených dat je diskutován vzájemný vztah jednotlivých polutantů a navržen režim preventivní konzervace s ohledem na materiál uložených sbírkových předmětů.

CONCENTRATIONS OF OZONE, NITROGEN OXIDES AND PARTICULATE MATTER INSIDE AND OUTSIDE THE LIBRARY DEPOSITORY OF SILESIAN MUSEUM – ITS INTERRELATIONSHIP, INFLUENCE ON DEPOSITED MATERIAL AND PROPOSAL OF PREVENTIVE CONSERVATION MODE

The paper presents results of eight weeks monitoring inside and outside concentrations of tropospheric ozone, nitrogen oxides and particulate matter in one of the Library depositories of Silesian museum. On the basis of continuously measured data the interrelationship of single pollutants is discussed and preventive conservation mode with regard to materials of stored collection articles is proposed.

Ozon je jedním z nejsilnějších oxidantů. Mechanismus vzniku přízemního ozonu je založen především na troposférické interakci mezi kyslíkem, oxidy dusíku, těkavými organickými látkami, uhlovodíky a intenzitou solární radiace v závislosti na ročním období [Zapletal – Polášek, 2016; Theakston, 2000]. Zjednodušeně lze říci, že fotolýzou oxidu dusičitého vzniká oxid dusný a atomární kyslík, ozon pak následně vzniká reakcí atomu kyslíku s dvouatomovou molekulou kyslíku, přičemž vzniklý oxid dusný zpětně reaguje s ozonem za vzniku oxidu dusičitého a dvouatomového kyslíku. Tyto reakce udržují rovnovážný stav mezi zúčastněnými složkami [Zapletal – Polášek, 2015b; McKee, 1994].

V naší klimatické oblasti bývají hodnoty koncentrace ozonu zvýšené během letních měsíců, a to zejména v oblastech zatížených průmyslem a vysokou hustotou obyvatelstva. Během zimních měsíců jsou naopak koncentrace přízemního ozonu nízké [Zapletal – Polášek, 2016; Vingarzan, 2004]. Vnitřní koncentrace ozonu jsou pak závislé na venkovních koncentracích, toku ozonu, rychlosti odbourávání ozonu prostřednictvím vnitřních ploch, vnitřních zdrojích ozonu, vzájemných interakcích mezi ozonem a dalšími polutanty, době, za kterou je vzduch v místnosti nahrazen vzduchem venkovním, objemu místnosti a ploše povrchů [Zapletal – Polášek, 2015a; Weschler et al., 1989].

Ozon působí především jako silné oxidační činidlo, které reaguje prakticky se všemi organickými látkami za vzniku radikálů [Scott 2002]. Rozbízí každou dvojnou vazbu mezi atomy uhlíku, se kterou se dostane do kontaktu, a tudíž je (z hlediska movitého kulturního dědictví) nebezpečný především pro malby, polychromie, textilie, archivní materiály, nábytek, preparáty, usně a další organické materiály. Mimo tyto organické materiály může například zapříčinit zvýšení rychlosti oxidace stříbra a železa nebo vznik sulfidů stříbra a mědi [Thomson et al., 1986]. Ukazuje se, že vnitřní koncentrace ozonu mohou mít také vliv na sekundární emise aerosolových částic uvnitř budov. Suspendované organické aerosoly, které se skládají především z jemných a ultrajemných částic, jsou významnou podskupinou stabilních produktů, které vznikají spolupůsobením ozonu a dalších znečišťujících látek. Dosavadní výzkum reakcí ozonu s různými terpenoidy ve vnitřním prostředí prokázal, že za vhodných podmínek ozon významně přispívá ke zvýšení vnitřní koncentrace sekundárních aerosolových částic [Weschler 2000, 2006], a to především v prostředí s přítomností pracích prášků, čistících prostředků, osvěžovačů vzduchu [Wainman et al., 2000; Weschler, 2003], laserových tiskáren nebo lidské kůže [Wang – Waring, 2014; Zapletal – Polášek, 2015a].

Dalším významným plynným polutantem, jehož monitorování v rámci měřicí kampaně probíhalo, jsou oxidy dusíku (NO_x). NO_x je kolektivní označení pro širokou škálu oxidů dusíku, přičemž nejdůležitější a nejčastěji se vyskytující jsou oxid dusnatý (NO) a z něj vznikající oxid dusičitý (NO_2). Hlavní zdroje oxidů dusíku jsou antropogenního původu. Většina oxidů dusíku, které vznikají lidskou činností, pochází z dopravy (spalovací motory) a spalování paliv při vytápění nebo výrobě elektřiny

[Hatchfield, 2002]. Zdroje emisí oxidů dusíku jsou spojeny především s venkovním prostředím. Vnitřní koncentrace jsou pak závislé zejména na stavební konstrukci a materiálech budovy, jejím ventilačním systému, ale také na přítomnosti vnitřních zdrojů. NO_2 , stejně tak jako oxid siřičitý (SO_2), je ve vnitřním prostředí generován v důsledku vytápění, vaření, popřípadě kouření tabákových výrobků [Hatchfield, 2002].

NO_x urychlují korozi kovů [Edney et al., 1986]; NO_2 poškozuje textilní vlákna [Beloin, 1972] a navíc se podílí na blednutí pigmentů [Kadokura et al., 1988]. Studie o vlivu NO_2 na papír poukazuje na špatnou stabilitu kyselého papíru (na rozdíl od papíru s neutrálním pH) vlivem expozice NO_2 [Iversen – Kolar, 1995; Hatchfield, 2002]. Navíc při reakci NO_2 s vodou vzniká kyselina dusičná (HNO_3), což je silná kyselina, která způsobuje korozi kovů, rozpouštění vápenných materiálů a může vyvolat hydrolytické štěpení bílkovin i celulózy [Grzywacz, 2006; Kopecká, 2002].

Dalšími polutanty přítomnými ve vnějším i vnitřním prostředí jsou pevné částice nejrůznější velikosti i různého složení. Suspendované částice frakce PM_{10} (< 10 μm) můžeme rozdělit do dvou skupin na základě jejich velikosti, původu a složení. Částice o velikosti v rozmezí 2,5–10 μm vznikají mechanickým obrušováním (drcením, otěrem povrchů) a vířením prachu. Jde především o prach z vozovek, průmyslu, dobývání v lomech a obdělávání půdy. Tato frakce obsahuje i biotické částice, jako jsou bakterie, spory, pyl a částičky rostlin. Částice frakce $\text{PM}_{2,5}$ (< 2,5 μm) vznikají v důsledku chemických reakcí, kondenzací plyných emisí na povrchu vzniklých částic či koagulací nejméně částic. Vznikají při spalování uhlí, pohonných hmot a dřeva, chemické výrobě, transformaci NO_x a SO_2 v atmosféře a přeměně organických látek. V této frakci převládají sírany, dusičnany, amonné ionty, elementární dusík, organické látky a kovy. V zásadě platí, že čím menší částice, tím je delší její zdržná doba v atmosféře, a tedy i větší vzdálenost, na kterou může být transportována [Durovič, 2009].

Většina poléťavého prachu ve vnitřním prostředí budov je tvořena částicemi, které pronikají pláštěm budovy z vnějšího prostředí. Ve vnitřním prostředí je zdrojem částic především pohyb osob, manipulace s předměty, stavební úpravy, úklid nebo kancelářská technika (kopírky, tiskárny) [Mašková – Smolík, 2013].

Hrubé minerální částice působí abrazivně a způsobují hlavně mechanické poškození široké škály materiálů. Částice emitované při destrukci stavebních materiálů (bourání, přestavby, degradace) jsou alkalické. Především v objektech, kde jsou přítomné moderní konstrukční materiály jako beton, je pravděpodobný poškozující vliv alkalických částic na materiály sbírkových předmětů. Sekundární anorganické a organické částice jsou hygroskopické a mohou být i kyselé povahy, což mimo jiné urychluje korozi kovových materiálů. Saze pak způsobují znečištění povrchu a mohou adsorbovat například i plynou kyselinu sírovou, kyselinu dusičnou nebo těkavé organické látky [Mašková – Smolík, 2013].

Cílem této studie je vyhodnocení monitorování koncentrací ozonu, oxidů dusíku a prachových částic v depozitáři Knihovny Slezského zemského muzea, zjištění jejich vzájemného vztahu, zhodnocení současného depozitárního režimu a návržení možných východisek pro systém preventivní konzervace a ochranu sbírkových předmětů SZM.

MATERIÁL A METODY

Popis lokalit a metod měření koncentrace ozonu, oxidů dusíku, prachových částic, parametrů mikroklimatu vnitřního prostředí a meteorologických parametrů

Město Opava zaujímá rozlohu 90 km^2 a žije zde přibližně 58 tisíc obyvatel. Opava leží v mírně teplé klimatické oblasti MT10, charakterizované dlouhým létem, krátkým, teplým a mírně suchým přechodným obdobím s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, krátkou, mírně teplou a suchou zimou s krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota je 7–8 $^{\circ}\text{C}$, roční srážkový úhrn v průměru 690 mm [Statistická ročenka ČR]. Pro Opavu a blízké okolí jsou z hlediska výrobní sféry charakteristické zejména zemědělská výroba a lehký průmysl (strojírenský, farmaceutický, potravinářský, papírenský) [Zapletal – Polášek, 2015b]. Na kvalitu ovzduší mají negativní vliv zejména opakující se stavy nadlimitních koncentrací suspendovaných částic PM_{10} během nepříznivých rozptylových a meteorologických podmínek, jakož i další znečišťující látky (SO_2 , NO_x , O_3 nebo benzo(a)pyren).¹

Sledovaný prostor depozitáře Knihovny Slezského zemského muzea se nachází ve třetím (posledním) nadzemním podlaží budovy Muzeologického centra Slezského zemského muzea, která je situována na jižním okraji centra města (Nádražní okruh 33B). Budova byla postavena koncem osmdesátých let 20. století, její stěny jsou vyzděny z cihel (zevnitř opatřené vápennou štukovou omítkou, z vnějšku škrábanou cementovou omítkou), podlahy jsou kryté PVC. Okenní a dveřní otvory jsou osazeny původními (již špatně těsnícími) výplněmi. Místnosti depozitáře jsou permanentně zatemněny (hliníkové fólie v oknech) a temperovány pomocí litinových radiátorů. Knihy a listinný materiál jsou uloženy v dřevěných policových regálech. Není zde prováděna žádná úprava mikroklimatu. Celková plocha depozitáře je cca 130 m^2 . Prostor je navštěvován pouze 2–3× měsíčně knihovníkem (pobyt do 5 minut) a 1× měsíčně uklízečkou (pobyt do 30 minut).

Prachové částice byly měřeny dvěma přístroji Haz-Dust EPAM-5000 (jeden s impaktorem pro měření PM_{10} , druhý s impaktorem pro měření $\text{PM}_{2,5}$). Koncentrace ozonu byly měřeny přístrojem Horiba APOA-370 a koncentrace oxidů dusíku přístrojem Horiba APNA-370. Vzduch byl odebírán stejně dlouhými trubicemi CHEMITEC o délce 5 m z vnitřního prostoru a prostoru bezprostředně před budovou střídavě v pětiminutových intervalech pomocí rozdělovače toku plynu Horiba [Hole et al., 2004; Zapletal – Polášek, 2015a].

Jelikož byly k dispozici pouze dva měřicí přístroje pro danou velikost prachových částic (PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$) a nebylo možné měřit současně venku i uvnitř, byly vnitřní naměřené průměrné hodinové koncentrace poléťavého prachu porovnány s naměřenými průměrnými hodinovými koncentracemi PM_{10} na automatické meteorologické stanici Českého hydrometeorologického ústavu v Opavě-Kateřinkách² ($\text{PM}_{2,5}$ se ve sledovaném období na této stanici ještě neměřily).

Venkovní teplota a relativní vlhkost vzduchu (senzor YOUNG), rychlost a směr větru (2D ultrasonický anemometr Gill Windsonic) a intenzita slunečního záření (pyranometr RS 81 ENVITECH) byly měřeny na střeše budovy Muzeologického centra Slezského zemského muzea. Teplota a relativní vlhkost vzduchu uvnitř depozitáře byly měřeny čidly telemetrického systému HANWELL [Zapletal – Polášek, 2015a].

Celá měřicí kampaň probíhala v období od 11. 3. do 4. 5. 2015 (středoevropský letní čas – SELČ), analyzována byla však pouze data z období od 12. 3. do 3. 5. 2015 (celé dny).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Mikroklimatické a meteorologické parametry

V tab. 1 je uvedena průměrná teplota vzduchu uvnitř a venku, relativní vlhkost vzduchu uvnitř a venku, denní suma globálního záření a rychlost větru na střeše budovy Muzeologického centra včetně směrodatných odchylek. Ve sledovaném období byla v depozitáři velmi stabilní teplota (okolo 17 $^{\circ}\text{C}$) a relativní vlhkost (okolo 45 %), což se dá v podstatě označit za ideální stav.

Doba měření	Teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)		Relativní vlhkost vzduchu (%)		Denní suma globálního záření (MJ m^{-2})	Rychlost větru (m s^{-1})
	uvnitř	venku	uvnitř	venku		
12. 3.–3. 5. 2015 ¹⁾	17,1±0,5	9,1±5,3	45,3±2,8	58,7±18,2	8,1±3,6	2,1±1,4

Tabulka 1 Denní průměrná hodnota teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu uvnitř a venku, denní suma globálního záření a rychlosti větru na střeše budovy Muzeologického centra (\pm směrodatná odchylka, $p \pm 0,05$)

Koncentrace přízemního ozonu, oxidů dusíku a prachových částic uvnitř a vně depozitáře

V tab. 2 jsou uvedeny průměrné denní koncentrace NO_x , O_3 , PM_{10} a $\text{PM}_{2,5}$ včetně maximální a minimální hodnoty koncentrace uvnitř depozitáře a v okolí depozitáře. Na základě naměřených dat byl vypočítán poměr vnitřní a vnější koncentrace ozonu I/O (indoor/outdoor). Jestliže je poměr I/O > 1,

je v místnosti vnitřní zdroj ozonu; jestliže je poměr I/O < 1, existují v místnosti vnitřní mechanismy ztráty ozonu [Weschler, 1989]. Nicméně pokud se poměr I/O nachází v rozpětí od 0,5 do 1, může to znamenat, že budova nebo filtrační systém budovy nejsou schopné úspěšně zamezit průniku ozonu do vnitřního prostoru [Grzywacz, 2006; Zapletal – Polášek, 2015a]. Průměrný poměr vnitřní a vnější koncentrace ozonu I/O ve sledovaném depozitáři v daném období je 0,2; maximální poměr vnitřní a vnější koncentrace ozonu je 0,4 a je ho dosahováno během 6. hodiny (6–7 hod.). Naměřený poměr je velmi nízký a dosahuje dokonce přibližně stejné úrovně jako poměr (0,19–0,23) naměřený v prostorách s chemickou filtrací vzduchu v National Museum Krakow [Salmon et al. 2000]. Průměrný denní chod poměru vnitřních a venkovních koncentrací ozonu (spolu s I/O poměry oxidů dusíku a prachových částic PM₁₀) je zobrazen v grafu (Obr. 3). Průměrný poměr vnitřní a vnější koncentrace oxidů dusíku I/O je 0,3 (maximálního denního poměru 0,5 je dosahováno během 8. a 9. hodiny), průměrný I/O poměr prachových částic PM₁₀ je 0,7 (maximálního denního poměru 0,8 je dosahováno během 8., 9. a 10. hodiny).

Polutant	Jednotka	Uvnitř		Venku	
		Koncentrace	Maximální a minimální koncentrace	Koncentrace	Maximální a minimální koncentrace
NO _x	ppb	5,9±6,9	82,5/0,1	21,1±9,4	99/0
NO ₂	ppb	3,7±2,9	20,1/0,1	8,3±5	33,3/0,5
NO	ppb	2,2±3,8	39,8/0,1	2,6±1,8	12,7/0,6
O ₃	ppb	5±0,7	11,5/3,9	31,3±14,6	71,5/1,8
PM ₁₀	µg/m ³	16±8,8	83/3	27,7±15	73,5/3,8
PM _{2,5}	µg/m ³	15,6±8,3	44,5/4	neměřeno	

Tabulka 2 Denní průměrné koncentrace měřených polutantů (± směrodatná odchylka, p±0,05) a jejich maximální a minimální koncentrace uvnitř a v okolí depozitáře

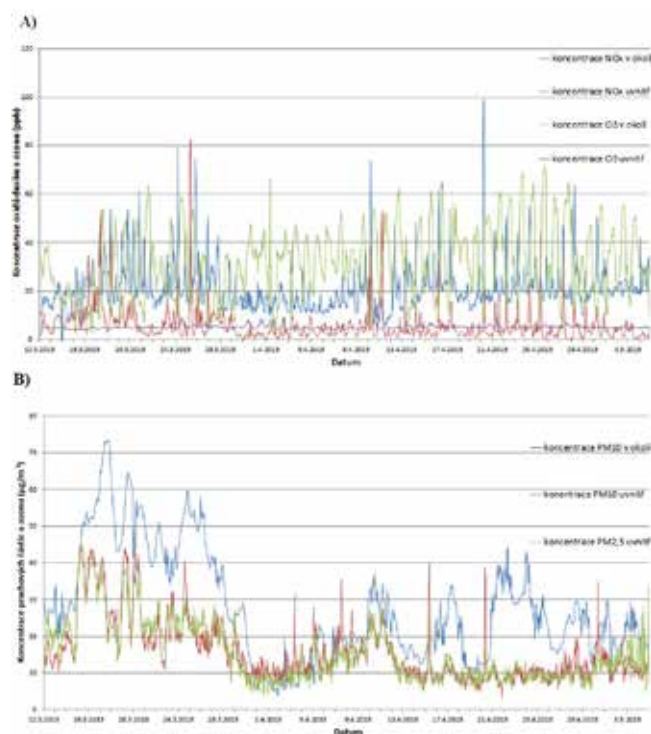
Na obr. 1 jsou uvedeny průměrné hodinové koncentrace NO_x, O₃ a prachových částic uvnitř a v okolí depozitáře knihovny SZM. Na obr. 2 je uveden průměrný denní chod koncentrací NO_x, O₃ a prachových částic uvnitř a v okolí depozitáře knihovny SZM.

Z průměrných hodinových koncentrací NO_x (Obr. 1A) za sledované období je patrný výrazný vliv venkovních koncentrací na jejich koncentrace uvnitř depozitáře. Nestabilní venkovní koncentrace, které v průměru dosahují hodnoty 21,1 ppb, zřejmě zásadně ovlivňují vnitřní koncentrace, které jsou v průměru o 15,2 ppb nižší, ale obdobně nestabilní (výkyvy hodnot ve stejnou dobu). Výrazná závislost vnitřních koncentrací NO_x na venkovních koncentracích je dobře patrná i z průměrného denního chodu (obr. 2A), kde dochází k prudkému růstu koncentrací venku i uvnitř kolem 5. hodiny, kolem 7. hodiny dosahují svého denního maxima, poté klesají až do 14. hodiny. Po 14. hodině začínají pozvolna růst, aby dosáhly svého odpoledního maxima kolem 20. hodiny venku a 22. hodiny uvnitř.

Závislost vnitřních průměrných hodinových koncentrací na venkovních je mnohem méně zřetelná u O₃ (Obr. 1A). Vnitřní koncentrace O₃ v průměru dosahují hodnoty 5 ppb a jsou velmi stabilní, ačkoli venkovní koncentrace O₃ (v průměru 31,3 ppb) jsou podobně nestabilní jako venkovní koncentrace NO_x. Průměrný denní chod O₃ uvnitř je stabilní, průměrný denní chod O₃ venku (Obr. 2A) je charakterizován počátečním růstem koncentrace O₃ okolo 6. hodiny, dosažením maxima okolo 15. hodiny a následným poklesem. Nízké hodnoty koncentrace O₃ uvnitř depozitáře jsou pravděpodobně ovlivněny schopností depozitářů knih odbourávat O₃ svým povrchem.

Průměrné denní chody venkovních koncentrací O₃ a NO_x (Obr. 2A) mají velmi podobný průběh jako denní chody O₃ a NO_x ve studii závislosti jarních přízemních koncentrací NO_x a O₃ v blízkosti dálnic na východním pobřeží USA [Song et al., 2011]. Pravděpodobně hlavně vlivem automobilové dopravy a intenzity slunečního záření v průběhu dne dochází od 3. hodiny k růstu koncentrace NO_x a poklesu koncent-

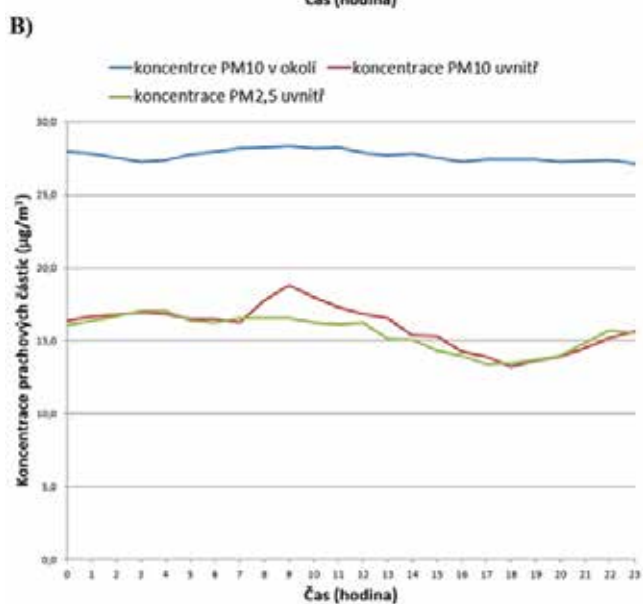
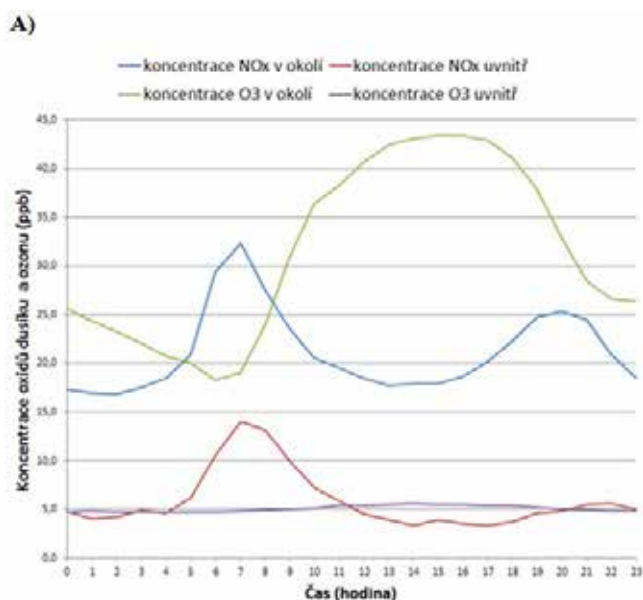
race O₃, okolo 7. hodiny dosahuje koncentrace NO_x denního maxima a koncentrace O₃ denního minima, následuje pokles koncentrace NO_x a růst koncentrace O₃ až do 15. hodiny, kdy opět nastává pozvolný růst koncentrace NO_x a pokles koncentrace O₃; od 20. hodiny dochází ke stagnaci koncentrace NO_x i O₃. Jako možná příčina negativní korelace NO_x a O₃ je ve studii uvedena možná místní necitlivost koncentrace O₃ na koncentraci NO_x a naopak citlivost na koncentraci těkavých organických látek [Song et al., 2011]. Uvnitř depozitáře je pak průběh průměrných denních chodů koncentrace NO_x podobný jako venku. Z porovnání průběhů průměrných hodinových koncentrací a průměrných denních chodů koncentrací PM₁₀ uvnitř, PM_{2,5} uvnitř a PM₁₀ venku (Obr. 1B, Obr. 2B) vyplývá dominantní vliv venkovní prašnosti na prašnost uvnitř depozitáře. Drobné rozdíly v průběhu průměrných hodinových koncentrací mohou být způsobeny větší vzdáleností měřícího stanoviště pro venkovní koncentrace PM₁₀ (stanice ČHMÚ v Opavě-Kateřinkách) od budovy, kde je umístěn sledovaný depozitář (cca 1 200 m vzdušnou čarou) a povětrnostními podmínkami. Příčinou vysokých koncentrací prachových částic v depozitáři vlivem venkovních koncentrací lze spatřovat ve vysoké propustnosti pláště budovy z důvodu zastaralých výplní okeních a dveřních otvorů. Z porovnání naměřených vnitřních koncentrací PM₁₀ a PM_{2,5} jasně vyplývá, že zcela převažuje frakce PM_{2,5} (< 2,5 µm) a naopak částice o velikosti 2,5–10 µm mají zanedbatelný podíl. Z porovnání naměřených vnitřních koncentrací prachových částic a O₃ bohužel nelze potvrdit či vyvrátit přítomnost sekundárních emisí aerosolových částic vyvolaných reakcí O₃ s dalšími látkami. Sekundárně emitované aerosolové částice totiž spadají do ultrajemné frakce (< 0,1 µm), která je v rámci koncentrace nejmenší měřené frakce PM_{2,5} zanedbatelná.



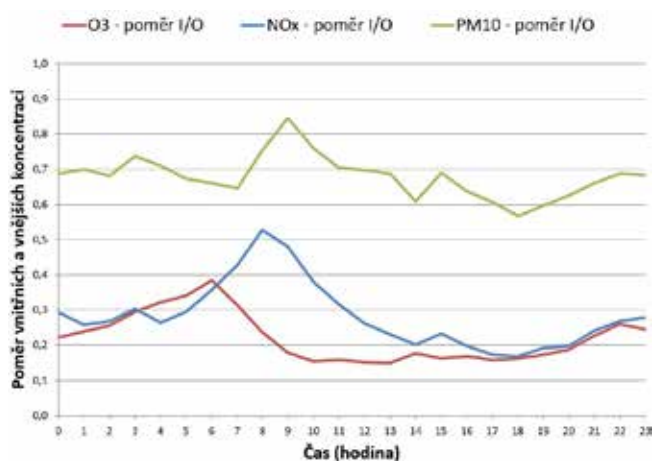
Obr. 1a, b Průměrné hodinové (SELČ) koncentrace polutantů (A – oxidů dusíku a ozonu, B – prachových částic) uvnitř a v okolí depozitáře knihovny SZM v období 12. 3.–4. 5. 2015

Limitní koncentrace pro sbírkové předměty

Ve sledovaném depozitáři se nachází především noviny, časopisy, knihy a další listinný materiál. Z hlediska preventivní konzervace je papír řazen mezi citlivé materiály a jsou pro něj doporučeny velmi nízké limity koncentrací plyných polutantů [National Air Filtration Association, 2004]. Nejcitlivějšími vůči O₃ jsou především různé druhy inkoustů na listinném materiálu [Durovič, 2009]. U těchto materiálů může prakticky každá chemická reakce s ozonem způsobit nevratné poškození [Grzywacz, 2006]. Doporučené limitní koncentrace O₃ pro umělecké předměty a historické dokumenty v muzeích, galeriích,



Obr. 2a, b Průměrný denní chod (SELČ) koncentrací A) oxidů dusíku a ozonu uvnitř a v okolí, B) prachových částic uvnitř a v okolí depozitáře Knihovny SZM v období 12. 3.–4. 5. 2015



Obr. 3 Průměrné denní chody (SELČ) poměrů vnitřních a venkovních koncentrací ozonu, oxidů dusíku a prachových částic PM_{10} měřených uvnitř a v okolí depozitáře Knihovny SZM v období 12. 3.–4. 5. 2015

knihovnách a archivech jsou v zahraniční odborné literatuře nejčastěji uváděny v širším rozmezí 1–13 ppb (s ohledem na materiálové složení) [Cass et al., 1991], norma *Požadavky na ukládání archivních a knihovních dokumentů* pak uvádí rozmezí 5–10 ppb [ČSN ISO 11799, 2006]. Naměřené průměrné hodnoty ozonu v depozitáři ($5 \pm 0,7$ ppb) splňují běžně uváděné limity, nicméně je třeba vzít v úvahu závislost na venkovních koncentracích v kontextu ročních období (vyšší koncentrace O_3 v letních měsících). Je také třeba si uvědomit, že pro velmi citlivé materiály může být i tato koncentrace poškozující (bezpečná průměrná koncentrace O_3 pro citlivé materiály je nižší než 0,05 ppb) [Grzywacz, 2006; Zapletal – Polášek, 2015a].

NO_x respektive NO_2 je z hlediska uložených dokumentů patrně nejrizikovější pro usňové vazby, kyselý papír a jisté druhy inkoustů a barviv [Iversen – Kolar, 1995; Grzywacz, 2006]. Doporučené limitní koncentrace NO_2 pro sbírkové předměty se v zahraničních normách pohybují v rozmezí 2–10 ppb, nicméně pro zvláště citlivé materiály je doporučována maximální koncentrace 0,5–2,6 ppb [Iversen – Kolar, 1995; Grzywacz, 2006], což průměrné hodnoty naměřené ve sledovaném depozitáři ($3,7 \pm 2,9$ ppb) překračují.

Negativní vliv prachových částic různé velikosti a složení spočívá například v jejich abrazivních schopnostech (větší minerální částice), alkalické nebo naopak kyselé povaze, schopnosti adsorbovat plynou HNO_3 a kyselinu sírovou (H_2SO_4) či těkavé organické látky [Mašková – Smolík, 2013]. Jako doporučená limitní koncentrace velikostně nerozlišených prachových částic se v české i zahraniční literatuře nejčastěji uvádí hodnota $75 \mu g/m^3$ [Hatchfield, 2002; Kopecká, 2002], popřípadě je doporučováno odstranění 60–80 % částic $> 0,5 \mu m$ (ČSN ISO 11799, 2006). Limity pro námi měřené frakce PM_{10} (naměřená průměrná hodnota $16 \pm 8,8 \mu g/m^3$) a $PM_{2,5}$ (naměřená průměrná hodnota $15,6 \pm 8,3 \mu g/m^3$) se neuvádějí.

Návrh režimu preventivní konzervace

Sledovaný depozitář vykazuje velmi dobré mikroklimatické podmínky. Díky internímu systému preventivní konzervace je depozitář zatemněn (aluminiové fólie nalepené přes okenní tabule) a je v něm zajištěn minimální pohyb osob. Teplota a relativní vlhkost ve sledovaném období dosahovaly velmi stabilních hodnot ($17,1 \pm 0,5$ °C, $45,3 \pm 2,8$ %). Skladování papíru při relativní vlhkosti do 50 % (čím nižší, tím lépe) pomáhá snižovat reaktivitu vzdušných polutantů [Durovič, 2009]. Vzhledem k tomu, že v depozitáři jsou uloženy i tisky s vazebními usněmi, které by mohly být při příliš nízké relativní vlhkosti poškozeny, jeví se hodnota relativní vlhkosti, která byla v depozitáři naměřena, jako zcela ideální. Ke snížení vnitřních koncentrací polutantů, především pak prachových částic, by mohla přispět výměna zastaralých a netěsnících výplní okenních a dveřních otvorů, což by snížilo propustnost pláště budovy a vliv venkovních koncentrací polutantů. Za účelem snížení koncentrací ozonu se jeví jako velmi efektivní použití pórovitých povrchových úprav vnitřního zdiva, například pomocí sádrových omítek nebo nových fotokatalytických nátěrů, které jsou však zatím ve stadiu vývoje a testování [Zapletal – Polášek, 2015a]. Ke snížení polutantů lze použít vhodně navržený systém vzduchotechniky, popřípadě i mobilní čističky vzduchu neemitující ozon.

ZÁVĚR

Naměřené koncentrace NO_x a prachových částic uvnitř depozitáře jsou ovlivněny především venkovními koncentracemi, v případě O_3 je denní chod koncentrace uvnitř depozitáře stabilní, na rozdíl od denního chodu koncentrace O_3 venku, který je charakterizován výrazným nárůstem koncentrace v dopoledních hodinách a maximem kolem 15. hodiny. Z hlediska preventivní konzervace je patrné, že sbírkové předměty uložené v depozitáři jsou v dlouhodobém horizontu negativně ovlivněny měřeními polutantů. Situaci lze zlepšit výměnou zastaralých a netěsnících výplní okenních a dveřních otvorů, použitím pórovitých povrchových úprav vnitřního zdiva, případně vhodně zvoleným systémem filtrace vzduchu. Úroveň teploty a relativní vlhkosti, která byla ve sledovaném období ideální, by se měla monitorovat i do budoucna (v ostatních ročních obdobích), aby se v případě přílišného vychýlení mohla korigovat.

PODĚKOVÁNÍ

Předložená studie vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Slezské zemské muzeum (DKRVO, MK000100595), interního grantového projektu SZM č. IGS201611/2016.

POZNÁMKY

¹ Ovzduší. *Statutární město Opava*. [online]. 29. 3. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.opava-city.cz/cs/ovzdusi>

² Informace o kvalitě ovzduší v ČR. *Český hydrometeorologický ústav*. [online]. 29. 3. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/actual_hour_data_CZ.html

LITERATURA

- BELOIN, N.: Fading of dyed fabrics by air pollution. *Textile Chemists and Colorist* 4 (3), 1972, s. 43–48.
- CASS, G. R. – NAZAROFF, W. W. – TILLER, C. – WHITMORE, P. M.: Protection of works of art from damage due to atmospheric ozone. *Atmospheric Environment*. 25, 1991, s. 441–451.
- ČSN ISO 11799. *Informace a dokumentace – Požadavky na ukládání archivních a knihovních dokumentů*. Český normalizační institut, 2006.
- ĎUROVIČ, M. (řešitel): *Závěrečná zpráva projektu VE20072008003 Monitorování plynných polutantů v depozitářích státních archivů ČR a způsoby jejich odstranění*. Praha, 2009.
- ĎUROVIČ, M. a kol.: *Živliv světla a ultrafialového záření na archivní dokumenty*, Praha, 2009.
- EDNEY, E. O. – STILES, D. C. – SPENCE, J. W. – WILSON, W. E.: A Laboratory Study to Evaluate the Impact of NO_x, SO_x and Oxidants on Atmospheric Corrosion of Galvanized Steel. *ACS Symposium Series* 318, 1986, s. 172–193.
- GRZYWACZ, C. M.: *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*. Tools for Conservation. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, 2006. ISBN 0-89236-851-9.
- HATCHFIELD, B. P.: *Pollutants in the Museum Environment: Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage*. London: Archetype Publication, 2002. ISBN 978-18-73132-96-8.
- HOLE, L. R. – SEMB, A. – TORSETH, K.: Ozone deposition to a temperate coniferous forest in Norway; gradient method measurements and comparison with EMEP deposition module. *Atmospheric Environment*, 38, 2004, s. 2217–2223.
- IVERSEN, T. – KOLAR, J.: *Effects of nitrogen dioxide on paper*. Report 5. FoU-projekten för Papperskonservering, Stockholm, 1995.
- KADOKURA, T. – YOSHIZUMI, K. – KASHIWAGI, M. – SAITO, M.: Concentration of nitrogen dioxide in the museum environment and its effects on the fading of dyed fabrics. In: J. S. Mills, P. Smith, K. Yamasaky (eds.): *The Conservation of Far Eastern Art*. London: IIC, 1988, s. 87–89.
- KOPECKÁ, I. (ed.): *Preventivní péče o historické objekty a sbírky v nich uložené*. Praha: Státní ústav památkové péče v Praze, 2002. ISBN 80-86234-28-2.
- MAŠKOVÁ L. – SMOLÍK J.: *Prach v knihovně. Fórum pro konzervátory-restaurátory*, Brno, 2013, s. 77–79, ISSN 1805-0050.
- MCKEE, J.: *Tropospheric ozone: human health and agricultural impacts*. New York: Lewis Publishers, 1994, ISBN 0-87371-475-X.
- National Air Filtration Association, *Recommended Practice: Guidelines – Libraries, Archives and Museums*, Virginia Beach, 2004.
- SALMON, L. G. – CASS, G. R. – BRUCKMAN, K. – HABER, J.: Ozone exposure inside museums in the historic central district of Krakow, Poland. *Atmospheric Environment* 34, 2000, s. 3823–3832.
- SCOTT, D. A.: *Copper and Bronze in Art: Corrosion, Colorants, Conservation*. Los Angeles, CA: Getty Conservation Institute, 2002. ISBN 978-0-89236-638-5.
- SONG, F – SHIN, J. Y. – JUSINO-ATRESINO, R. – GAO, Y.: *Relationships among the springtime ground-level NO_x, O₃ and NO₃ in the vicinity of highways in the US East Coast*, *Atmospheric Pollution Research* 2, 2011, s. 374–383.
- SPENGLER, J. D. – FERRIS, B. G. – DOCKERY, D. W. – SPEIZER, F. E.: Sulfur dioxide and nitrogen dioxide levels inside and outside homes and the implications on health effects research. *Environmental Science and Technology*, 13, 1979, s. 1276–80.
- Statistická ročenka České republiky – 2014, [online], [cit. 20. 9. 2015], dostupné z [www: https://www.czso.cz/csu/czso/statisticka-rocenka-ceske-republiky-2014-n-ziotqklk5k](https://www.czso.cz/csu/czso/statisticka-rocenka-ceske-republiky-2014-n-ziotqklk5k).
- THOMSON, G. – ODDY, A. – LINTRUM, D. *The Museum Environment* (Second Edition). Oxford: Butterworth Heine-mann, 1986. ISBN 978-0-7506-1266-1.
- THEAKSTON, F. (ed.): *Air quality guidelines for Europe*, Copenhagen 2000, s. 181.
- VINGARZAN, D.: A review of surface ozone background levels and trends. *Atmospheric Environment*, 38, 2004, s. 3431–3442.
- WAINMAN, T. – ZHANG, J. F. – WESCHLER, C. J. – LIOY, P. J.: Ozone and limonene in indoor air: a source of sub-micron particle exposure. *Environmental Health Perspectives*. 108, 2000, s. 1139–1145.
- WANG, CH. – WARING, M. S.: Secondary organic aerosol formation initiated from reactions between ozone and surface-sorbed squalene. *Atmospheric Environment*. 48, 2014, s. 222–229.
- WESCHLER, C. J. – SHIELDS, H. C. – NAIK, D.V.: Indoor ozone exposures. *The Official Journal of the Air Pollution Control Association*, vol. 39. 1989, s. 1562–1568.
- WESCHLER, C. J.: Ozone in Indoor Environments: Concentration and Chemistry. *Indoor Air*. 10 (4), 2000, s. 269–288.
- WESCHLER, C. J.: Ozone's Impact on Public Health: Contributions from Indoor Exposures to Ozone and Products of Ozone-Initiated Chemistry. *Environmental Health Perspectives*. 114 (10), 2006, s. 1489–1496.
- WESCHLER, C. J.: Indoor chemistry as a source of particles. In: MORAWSKA, L. – SALTHAMMER, T. (ed.): *Indoor Environment. Airborne Particles and Settled Dust*. Wiley-VCH: Weinheim, 2003. ISBN 978-3-527-30525-4.
- ZAPLETAL, M. – POLÁŠEK, M.: Koncentrace ozonu uvnitř a v okolí budov a návrh režimu větrání. *Meteorologické zprávy*, roč. 68, č. 6, 2015a, s. 171–179.
- ZAPLETAL, M. – POLÁŠEK, M.: *Hodnocení přízemního ozonu ve vztahu k muzejním sbírkovým předmětům, lidské populaci a vegetaci*. Opava: Slezské zemské muzeum, 2015. ISBN 978-80-87789-26-1.
- ZAPLETAL, M. – POLÁŠEK, M.: Monitorování koncentrace ozonu uvnitř a v okolí depozitářů Slezského zemského muzea. *Časopis Slezského zemského muzea*, 2016. V tisku.
- ZAPLETAL, M. – POLÁŠEK, M. – MRÁZEK, J. – PAVLÍČEK, P.: *Monitorování přízemního ozonu a jeho dopady na zdraví obyvatel Opavy*. Grantový program Magistrátu města Opavy – Podpora opatření ve prospěch životního prostředí. Opava: Magistrát města Opavy, 2014.
- ZAPLETAL, M. – POLÁŠEK, M. – MRÁZEK, J. – PAVLÍČEK, P.: *Monitorování polévatého prachu a jeho dopad na zdraví obyvatel*. Grantový program Magistrátu města Opavy – Podpora opatření ve prospěch životního prostředí. Opava: Magistrát města Opavy, 2016 a ozonu, B – prachových částic) uvnitř a v okolí depozitáře Knihovny SZM v období 12. 3.–4. 5. 2015