

# Měření kvality ovzduší v depozitářích Národní knihovny České republiky – metody měření a vybrané výsledky

Air quality measurement in depositories of the National Library of the Czech Republic – measurement methods and selected results

*Ing. Magda Součková, Ing. Petra Vávrová, Ph.D., Ing. Jan Franci / Národní knihovna České republiky (National Library of the Czech Republic), Klementinum 190, 110 00 Praha 1*

## Resumé:

Preventivní ochrana knihovních fondů je základem péče o jejich uchování. Její důležitou součástí je zajištění kvalitního vnitřního ovzduší depozitářů. Příspěvek se zabývá klimatickými podmínkami doporučovanými pro dlouhodobé uchovávání knihovních materiálů a jejich měřením v depozitářích Národní knihovny ČR. Jedná se o měření fyzikálních parametrů ovzduší (teplota, relativní vlhkost a světlo) a parametrů chemických (koncentrace vnějších a vnitřních vzdušných polutantů). Fyzikální parametry jsou v depozitářích NK ČR sledovány průběžně, chemické parametry byly měřeny převážně v rámci výzkumných projektů ve spolupráci s tuzemskými i zahraničními výzkumnými organizacemi. Zvlášť detailně byl, pokud se týká koncentrace polutantů, zkoumán Barokní sál v Klementinu, který je v Národní knihovně ČR jediným depozitářem historických knižních fondů přístupným veřejnosti v rámci prohlídek areálu.

**Klíčová slova:** kvalita vnitřního ovzduší, depozitáře Národní knihovny ČR, Barokní sál, Klementinum, měření, relativní vlhkost, teplota vzduchu, světelné podmínky, vnější a vnitřní plynné polutanty, prachové částice

## Summary:

Preventive protection of library collections is the basis of care for their preservation. Important part is to ensure quality indoor air of depositories. The paper deals with climate conditions recommended for long-term preservation of library materials and their measurement in depositories of the National Library of the Czech Republic. It is a measurement of physical parameters of air (temperature, relative humidity and light) and chemical (concentration of external and internal air pollutants). Physical parameters are monitored continuously in the depositories of the NL CR, chemical parameters were measured mainly in the framework of research projects in cooperation with domestic and foreign research organizations. The Baroque Hall in Klementinum, which is the only depository of historical book collections accessible to the public during tours of the premises, was examined in particular detail regarding the concentration of pollutants.

**Keywords:** indoor air quality, National Library of the Czech republic depository, Baroque hall, Klementinum, measurement, relative humidity, air temperature, light conditions, external and internal gaseous pollutants, dust particles

## Úvod

Pro ochranu a zachování různorodých materiálů knihovních fondů se z dlouhodobého hlediska jako nejefektivnější jeví tzv. *preventivní konzervace*, což je soubor opatření vedoucích k prodloužení životnosti knihovních fondů, resp. nastavení takových klimatických parametrů, které zpomalí či zastaví degradační procesy vyvolané vnějšími degradačními faktory (teplota, relativní vlhkost vzduchu, prachové částice, koncentrace vzdušných polutantů...). Součástí preventivní konzervace je i výroba ochranného obalu,

resp. krabice z alkalické lepenky archivní kvality a následné uložení do depozitáře, kde jsou nastaveny vhodné klimatické parametry pro dlouhodobé uložení knihovních fondů.

V příspěvku jsou shrnuty zkušenosti Národní knihovny ČR s monitorováním klimatických podmínek v depozitářích za posledních několik desítek let a vývoj monitorovacích metod. Následují stručný výklad požadavků na kvalitu ovzduší pro skladovací prostory knihovních materiálů, parametry jako teplota a relativní vlhkost vzduchu a světelné podmínky, vnitřní a vnější polutanty. Představeny jsou způsoby měření kvality ovzduší, následuje popis různých typů depozitářů Národní knihovny ČR (dále také NK ČR). Nakonec jsou uvedena minulá i aktuální měření parametrů ovzduší v depozitářích, a také příklady konkrétních výsledků a jejich zhodnocení.

## Co je ovzduší

Ovzduší čili atmosféra je plynný obal naší Země. Je tvořeno směsí plynů (78,084 % dusíku, 20,948 % kyslíku, 0,934 % argonu, oxid uhličitý, neon, helium, vodík, metan, krypton, ozon, xenon a oxidy dusíku) a vodní páry, obsahuje tuhé i kapalné částice (Leporelo.info, online).

## Požadovaná kvalita ovzduší (dále KO) pro skladovací prostory knihovních materiálů

Národní knihovna ČR má ve své zřizovací listině jako jeden ze základních předmětů činnosti ustanovenou ochranu knihovních dokumentů a fondů a jejich zachování v dobrém fyzickém stavu pro budoucí generace. Většina tradičních knihovních materiálů je organického původu, zejména papír, pergamen, vazební usně a textil, lepenkové a dřevěné knižní desky, v poslední době i plasty. Kvalita vnitřního ovzduší prostorů, ve kterých se knihovní materiály nacházejí (depozitáře, studovny, výstavní místnosti), výrazně ovlivňuje rychlost jejich degradace a tím i možnost jejich uchování pro budoucí pokolení. Důležité jsou fyzikální parametry vnitřního ovzduší, tj. teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, světlo i chemické parametry jako jsou obsah a složení polutantů.

Doporučené klimatické podmínky pro dlouhodobé uložení archivních a knihovních materiálů jsou uvedeny v ČSN ISO 11799 „*Informace a dokumentace – Požadavky na ukládání archivních a knihovních dokumentů*“.

### Fyzikální parametry

Obecně řečeno, životnost knihovních materiálů prodlouží snížení teploty a/nebo snížení relativní vlhkosti. Pro papír je doporučená teplota skladování 2–18 °C s přípustnou denní změnou  $\pm 1$  °C, relativní vlhkost 30–45 % s přípustnou denní změnou  $\pm 3$  %. Pro pergamen a usně (kolagenní materiály) je to teplotní rozmezí 2–18 °C s přípustnou denní změnou  $\pm 1$  °C, relativní vlhkost 50–60 % a přípustná denní změna  $\pm 3$  %. Teplota a relativní vlhkost jsou nejdéle a nejčastěji sledovanými parametry ovzduší v knihovních depozitářích. V minulosti se pro jejich měření používaly běžné teploměry a vlasové vlhkoměry, které ukazovaly aktuální hodnoty parametrů. Termohygrografy se zapisovačem již zaznamenávaly teplotu a vlhkost průběžně celý týden až měsíc, ale bylo nutno pracně vyhodnocovat výsledky z pořízeného grafického záznamu. V současnosti jsou často využívány termohygrometry s pamětí či kabelové a bezdrátové měřicí systémy, data loggery (registrátory dat) či systémy čidel, které výsledky měření uchovávají ve své paměti až do okamžiku stažení do počítače nebo dokonce naměřené hodnoty posílají přímo do počítače, takže je možné okamžitě reagovat na nežádoucí změny klimatických parametrů v depozitářích.

I světlo výrazně poškozuje organické materiály, a to jak jeho ultrafialová (UV záření, 400–10 nm), tak infračervená složka (IR-záření, 760 nm–1 mm). Prostory by měly být osvětleny světelným zdrojem bez UV-záření nebo s eliminovaným UV-zářením (UV-filtry, UV-fólie). Doporučená intenzita osvětlení materiálů knižní vazby by neměla přesáhnout 50 luxů. Pro osvětlení v depozitářích, kde se neočekává trvalý provoz, je doporučeno přibližně 200 lx nad úrovní podlahy. Maximální hranice pro přípustné ultrafialové záření je 10  $\mu\text{W}/\text{lm}$ . Pro měření intenzity světla jsou používány luxmetry nebo data loggery s funkcí měření intenzity světla a UV/IR záření.

### *Chemické parametry*

Polutanty jsou obecně míněny nečistoty v prostředí, které pocházejí z přírodních nebo člověkem vytvořených zdrojů. Lze je definovat jako reaktivní chemické sloučeniny v plynném, kapalném nebo pevném stavu (částice), které se nacházejí v životním prostředí. Polutanty jsou vytvářeny jak vnějšími, tak vnitřními zdroji.

Koncentrace vnějších polutantů závisí na místním klimatu, zeměpisné poloze, typu průmyslu a dopravních prostředků, užívaných pohonných látkách a podobně. Mezi vnější polutanty s nejvyšším degradačním účinkem na knihovní materiály patří oxid siřičitý a další sloučeniny síry, oxidy dusíku a ozón (Hatchfield 2002).

Vnější polutanty také obsahují malé částičky: prach a aerosoly. Některé z těchto polutantů pocházejí i z vnitřních zdrojů: oxid dusičitý z plynových kamen, sulfan z některých užitkových materiálů a jako lidský bioodpad, ozón může být produkován činností fotokopírek nebo starších modelů laserových tiskáren. Prach je poměrně složitý polutant, který obsahuje částice o velikostech 1nm–100 $\mu\text{m}$  různého původu, tvarů a složení (Morawska, Salthammer 2003). Jemné submikronové částice (< 1  $\mu\text{m}$ ) obsahují zejména saze a organické látky emitované z dopravy a lokálního topení, sekundární organické částice síranu a dusičnanu amonného a také kovy ze spalování odpadů a průmyslových emisí. Ve vnitřním prostředí k nim přispívají např. i částice z kouření nebo emitované z kancelářské techniky. Hrubé částice (> 1  $\mu\text{m}$ ) obsahují zejména minerální částice ze zvířeného prachu a emise z dopravy a stavebních aktivit. Ve vnitřním prostředí bývá jejich zdrojem uklízení, stavební úpravy a zejména návštěvníci. Ti přispívají zejména minerálním prachem přineseným na botách a oděvech, textilními vlákny z oděvů a částičkami odumřelé pokožky. K hrubým částicím patří i mikroorganismy a spory plísní. Různému původu a složení odpovídají i různé škodlivé účinky. Jemné částice se deponují na všechny přístupné povrchy. Saze a organické látky způsobují znečištění, sekundární organické a anorganické částice (vznikly reakcí primárních přímo emitovaných částic do ovzduší) mohou být kyselé povahy a přispívají k degradaci materiálů, často s katalytickým účinkem přítomných účinků kovů (ASHRAE 2011). Sekundární částice jsou také hygroskopické a napomáhají tak k vlhnutí povrchů (Seinfeld, Pandis 2006). Hrubé částice se deponují pouze na horizontální povrchy směřované nahoru. Minerální částice jsou abrasivní a způsobují zejména mechanické poškození, částice ze stavebních aktivit jsou alkalické povahy. Deponované částice také absorbují plynné polutanty a jsou vhodnou živnou půdou pro růst mikroorganismů.

Doporučené koncentrace vzdušných polutantů podle normy ISO/DIS 11799 jsou uvedeny v tab. 1. Uvádíme jednotky SI – hodnoty jsou přepočítány na koncentrace v jednotkách SI.

Tab. 1 Doporučené koncentrace vzdušných polutantů

Druh vzdušného polutantu	Přípustná koncentrace [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
SO <sub>2</sub>	≤ 1
NO <sub>x</sub>	≤ 5
O <sub>3</sub>	≤ 25
CO <sub>2</sub>	≤ 4,5
jemné prachové částice	≤ 75

Z vnitřních polutantů na knihovní materiály nejvíce působí kyselina octová, mravenčí a formaldehyd. Jsou uvolňovány ze dřeva, některých lepidel, barev i z vlastních knihovních materiálů (vlivem degradace papíru, acetátových materiálů atd.). V tab. 2 jsou uvedeny koncentrace těchto látek v přirozeném prostředí a koncentrace doporučované pro skladovací prostory sbírkových předmětů.

Tab. 2 Organické těkavé látky z vnitřních zdrojů nacházející se uvnitř budov (Grzywacz 2006)

Polutant	Navrhovaný limit		Srovnávací hodnoty	
	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$		$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	
	Citlivé materiály	Ostatní	Přirozená hladina v ovzduší	Město
Kyselina octová	< 12,5	100–697	0,25–100	0,25–40
Kyselina mravenčí	< 9,5	9,5–38	0,1–7,6	0,1–32,5
Formaldehyd	< 0,1–6,2	12,5–25	0,5–2	2–30 62–75 nové domy

Přítomnost a koncentraci znečišťujících látek je možné měřit přímo pokročilými instrumentálními metodami (chemiluminiscence, infračervená spektrometrie, fotometrie apod.)<sup>1</sup> nebo se odebírají vzorky ovzduší, a to buď aktivně nasáváním (Dräger trubice\*, nízkotlaké kaskádní impaktory\*\*<sup>2</sup>), nebo pasivně. Vzorky se následně vyhodnocují laboratorně. Pro dlouhodobé měření v depozitářích se využívají pasivní vzorkovače\*\*\*, které jsou umístěny na delší dobu do depozitáře (často na jeden měsíc), a poté jsou opět vyhodnoceny v laboratoři instrumentálně nebo vizuálně (A-D strips\*\*\*\*, kupony Purafil\*\*\*\*\*, vzorkovač Radiello\*\*\*\*\*, dosimetry EWO a MEMORY apod.)<sup>3</sup> (Součková 2009).

Obecně je k tomu, aby se dosáhlo vyšší kvality vnitřního ovzduší knihoven a zpomalila se tak degradace knihovních materiálů, nezbytné zjistit a pojmenovat rizika poškození konkrétních sbírkových materiálů. K tomu je nutné stanovit kvalitu vnitřního ovzduší.

- 1 Chemiluminiscence – měření světelné energie vyzážené v důsledku chemické reakce. Infračervená spektrometrie – měření emisních nebo absorpčních spekter, jejichž vlnové délky spadají do oboru infračerveného záření. Fotometrie – spektroskopická analytická metoda měření absorpce zářivé energie pomocí fotometrů s vizuální detekcí.
- 2 Podrobnosti o zmíněných metodách v Památkovém postupu „Zlepšení kvality vnitřního ovzduší knihoven a archivů s cílem významně omezit degradaci knihovních a archivních materiálů“, Praha 2015. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-260952>.
- 3 Viz poznámka 2.

Další průběžné měření kvality klimatu je důležité pro uchování optimálních podmínek skladování jako prevence před urychlením degradace.

## Měření teploty a vlhkosti v depozitářích NK ČR

Národní knihovna ČR má umístěny knihovní fondy v depozitářích ve třech lokalitách. Stálé depozitáře NK se v současné době nacházejí v těchto budovách: Klementinum – Praha 1, Hostivař – Praha 15 a Neratovice – Středočeský kraj. Tyto depozitáře jsou ze své podstaty velmi rozdílné, ať už svou lokací, tak typem stavby a jejím stářím.

### *Klementinum*

Jedná se o komplex historických budov umístěný v centru Prahy. Pochází z 16. století, pro potřeby knihovny byl přestavěn v 30. letech 20. století. V současné době prochází celá budova Klementina včetně depozitářů rozsáhlou rekonstrukcí. V Klementinu je umístěno kolem dvou milionů knihovních fondů (novodobé i historické). Vzhledem k tomu, že se jedná o kulturní památku, jsou zde omezeny stavební a jiné úpravy. V daném objektu se nacházejí depozitáře klimatizované (upravuje se teplota a relativní vlhkost), částečně klimatizované (upravuje se pouze relativní vlhkost pomocí zvlhčovačů vzduchu) a neklimatizované (neupravuje se teplota ani relativní vlhkost). Knihovní fondy jsou umístěny na stacionárních i posuvných (kompaktních) kovových nebo dřevěných (historických) regálech. Klimatické podmínky (teplota, relativní vlhkost) jsou v daném objektu trvale sledovány buď pomocí bezdrátového měřicího systému Hanwell nebo pomocí přenosných záznamových termohygrometrů Commeter S 3120.

### *Centrální depozitář Hostivař (CDH)*

Depozitář se nachází na okraji Prahy v blízkosti spalovny komunálního odpadu a rušné automobilové dopravy na ulici Průmyslová. Jedná se o objekt tvořený kombinací nové budovy z roku 2012 a starší budovy otevřené roku 1996 po přestavbě výroby někdejší státní příspěvkové organizace Výstavnictví z poloviny 20. století. V Hostivaři je umístěno přes 7 milionů knihovních fondů (nová budova – 2 miliony knihovních jednotek, přestavěná budova – 5 milionů knihovních jednotek). Depozitáře jsou umístěny ve čtyřech podlažích v nové budově a ve třech podlažích v přestavěné budově. Depozitní prostory v obou objektech jsou bez oken. V objektech se nacházejí pouze klimatizované depozitáře (upravovaná teplota a relativní vlhkost). Knihovní fondy jsou umístěny buď na mobilních kovových regálech (nová budova) nebo na stacionárních kovových regálech (přestavěná budova). Teplota a relativní vlhkost ovzduší jsou v obou objektech trvale sledovány pomocí bezdrátového měřicího systému Hanwell.

### *Depozitář rezervních fondů v Neratovicích*

Budova postavená v druhé polovině 20. století se nachází ve středních Čechách na okraji města Neratovice v zátopové oblasti Labe a v bezprostřední blízkosti chemického závodu Spolana. Bylo zde umístěno kolem 300 tisíc knihovních jednotek. V současné době dochází k třídění fondu a částečnému odvozu do ostatních depozitářů. Skladovací prostory, ve kterých jsou uloženy rezervní fondy, jsou umístěny ve třech nadzemních podlažích bez oken. Depozitář je částečně klimatizovaný, upravuje se pouze teplota pomocí topení a ventilátorů. Knihovní fondy jsou umístěny na stacionárních kovových regálech. Teplota a relativní vlhkost v depozitáři jsou trvale sledovány pomocí kabelového měřicího systému TQS.

## Různé druhy monitorovacích systémů a zařízení

Prostory, ve kterých jsou umístěny knihovní fondy, byly a jsou neustále sledovány a případně upravovány a regulovány klimatické parametry v nich. K měření klimatu (teplota, relativní vlhkost vzduchu) v depozitářích používáme bezdrátový měřicí systém Hanwell, kabelový měřicí systém TQS a přenosné záznamníkové termohygrometry Commeter S 3120. Pro měření světelných podmínek (intenzita osvětlení, intenzita UV-záření) používáme přenosný luxmetr Hanwell ULM a kombinované přístroje Elsec 765 C. Pro měření prašnosti používáme přenosné zařízení Casella Microdust Pro.

### *Bezdrátový měřicí systém Hanwell (Klementinum, Hostivař)*

Bezdrátový měřicí systém je v Klementinu nainstalován od roku 1998 a v Hostivaři od roku 2017 a je neustále rozšiřován do dalších skladovacích a pracovních prostor. Bezdrátový měřicí systém Hanwell je tvořen snímači (teplotně-vlhkostní, světelné), které vysílají signál (přes zesilovač) ve formě radiových vln na přijímač řídicí jednotky. Zde je signál transformován na konkrétní hodnoty, které jsou pak ukládány do paměti řídicí jednotky a odtud jsou naměřené hodnoty posílány do počítače s nainstalovaným programem pro další vyhodnocení (grafické, tabulkové, statistické).

### *Kabelový měřicí systém TQS (Neratovice)*

Kabelový měřicí systém je v Neratovicích nainstalován od roku 2004. Kabelový měřicí systém TQS je tvořen snímači (teplotní, vlhkostní), které přenášejí nasnímané signály do modulu, kde jsou transformovány na konkrétní číselné hodnoty a přenášeny na internetovou síť, odkud je možno pomocí PC dané hodnoty prohlížet a vyhodnocovat (graficky, tabulkově).

### *Přenosná zařízení pro trvalé měření klimatu / záznamníkové termohygrometry / Commeter S 3120 (Klementinum, Hostivař)*

Přenosná zařízení pro trvalé měření klimatu (teplota, relativní vlhkost) jsou rozmístěna ve skladovacích a pracovních prostorech v Klementinu i v depozitáři Hostivař.

Přenosná zařízení ukládají naměřené hodnoty do interní paměti a pomocí PC s nainstalovaným softwarem lze uložená data stáhnout a provést vyhodnocení (grafické, tabulkové).

### *Přenosná zařízení na měření světla luxmetr Hanwell ULM a kombinované přístroje Elsec 765 C*

Přenosná zařízení pro měření světla slouží k aktuálnímu měření světelných podmínek (intenzita osvětlení, intenzita UV-záření).

### *Přenosné zařízení pro měření prašnosti Casella Microdust Pro*

Přenosné zařízení pro měření prašnosti slouží k aktuálnímu měření prašnosti.

## Měření vzdušných polutantů v depozitářích NK ČR – příklady a výsledky

Kromě již rutinního měření teploty a vlhkosti ovzduší a světelných podmínek v depozitářích NK ČR proběhlo a i v současné době probíhá ve vybraných lokalitách těchto depozitářů měření vzdušných polutantů.<sup>4</sup>

---

4 Polutant – látka znečišťující určité prostředí, v našem případě depozitáře, případně jejich vnější okolí.

První měření vzdušných polutantů provedl Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) v letech 1991–1992, další pak v letech 2006–2007 jako součást výzkumného záměru ministerstva kultury „Výzkum a vývoj nových postupů v ochraně a konzervaci vzácných písemných památek“, který se v Národní knihovně řešil v letech 2005–2011. Bylo tak možné porovnat změnu koncentrace polutantů po 15 letech. Měření bylo provedeno mobilním měřicím vozem na Hospodářském dvoře v areálu Klementina (venkovní prostředí) a současně samostatnými měřicími přístroji na stanovení  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a  $\text{O}_3$  v depozitáři Oddělení rukopisů a starých tisků – ORST (vnitřní prostředí). Jednalo se o přímou analýzu vzduchu. Bylo zjištěno, že množství  $\text{SO}_2$  ve venkovním ovzduší se oproti roku 1992 významně snížilo (zhruba šestkrát), koncentrace  $\text{NO}_x$  se zvýšila jak ve vnějším, tak vnitřním prostředí Klementina a koncentrace ozonu ve skladišti se oproti roku 1991 snížila.

Měření koncentrace vzdušných polutantů přímou analýzou vzduchu je nákladná, a proto pro další měření bylo použito několik typů pasivních vzorkovačů.

Indikační kupony Purafil jsou plastové pásky potažené z poloviny vrstvou stříbra a z poloviny vrstvou mědi, které se umístí do zkoumaného prostředí a ponechají se zde po dobu 30–60 dnů (Purafil 2020). Výsledkem je vrstva koroze, která se v laboratořích firmy Purafil vyhodnotí a zjistí se její přírůstek za určitý časový interval. Podle přírůstku korozních produktů se sledované prostředí zařadí do jedné z pěti tříd čistoty vzduchu. V depozitářích NK ČR byly kupony rozmístěny v Klementinu (Slovanská knihovna, tzv. Fantovka, Barokní sál, Trezor ORST, bývalá Galerie Klementinum a sklep), v depozitáři v Neratovicích a v CDH v přízemí centrálního skladu a ve skladišti mikrofilmů. Exponované kupony byly vyhodnoceny v třídách C1 a C2, tj. jako zcela čistý a čistý vzduch, pouze trezorová místnost ORST byla zařazena do třídy C3 – střední čistota vzduchu.

Další měření kvality ovzduší v NK ČR bylo provedeno dozimetrem EWO-G. Tento typ dozimetru byl vyvinut v rámci evropského výzkumného úkolu MASTER – Preventive Conservation Strategies for Protection of Organic Objects in Museums, Historic Building and Archives (CORDIS 2005). Měřicí část dozimetru tvoří skleněná destička pokrytá filmem organického polymeru o konstantní tloušťce. Polymer reaguje s okolním prostředím a stává se méně transparentním. Změna je vyjádřena jako změna v UV absorpci při 340 nm měřená spektrofotometrem. Doba expozice jsou tři měsíce a po vyhodnocení je testované prostředí opět zařazeno do třídy 1–5. V prostorách Národní knihovny ČR byly rozmístěny celkem čtyři dozimetry. V Klementinu se měřilo v trezorové místnosti ORST, v Barokním sálu a uvnitř výstavní vitríny v bývalé Galerii Klementinum. Poslední dozimetr byl umístěn v Centrálním depozitáři Hostivaře ve skladišti ORST. Zde byla také zjištěna nejlepší kvalita prostředí – stupeň 1, který označuje prostředí vhodné pro archivy. Zbýlá tři měřená prostředí se řadí do stupně 2: vyhovují spíše potřebám muzea než depozitářům pro dlouhodobé uložení. Výstavní vitrina a trezorová místnost ORST se přitom blížily stupni 1 – vhodné pro archivní skladování, kdežto Barokní sál je již u horní hranice se stupněm 3 – nevhodné pro skladování.

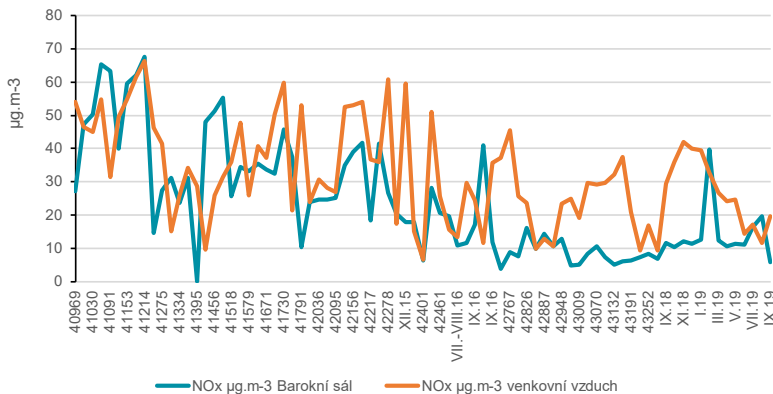
Dalším typem vzorkovačů, které byly použity pro měření plynných polutantů v depozitářích NK ČR a do současnosti sledují koncentraci oxidů síry a dusíku v Barokním sálu, jsou pasivní vzorkovače firmy SVÚOM. V letech 2007–2008 byly umístěny v prostorách Klementina na devět měřicích míst (depozitáře i pracovny) a v CDH na tři měřicí místa, a to jak uvnitř, tak i venku. Vzorkovače byly exponovány jeden měsíc a potom vyhodnoceny v laboratoři SVÚOM.

Zjištěné koncentrace  $\text{SO}_2$  ve venkovním prostředí Klementina a Hostivaře byly srovnatelné. Koncentrace zjištěné na jednotlivých vnitřních stanovištích silně kolísaly. V Klementinu byly nejvyšší hodnoty zjištěny v Barokním sálu (vstup návštěvníků) a v pracovně rukopisů (otvírání oken). V Hostivaři byla venkovní koncentrace  $\text{SO}_2$  vyšší než koncentrace ve skladišti.

Pokud se týká oxidů dusíku, velké množství je produkováno automobilovou dopravou. Jeden ze vzorkovačů pro měření vnější koncentrace  $\text{NO}_x$  byl umístěn v Křížovnické ulici na úrovni 1. patra, přesto byly hodnoty jím naměřené vyšší než hodnoty ze vzorkovače umístěného mezi přízemím a 1. patrem na nádvoří Klementina. Hodnoty naměřené v CDH jsou nižší, což opět souvisí s polohou budovy. Hodnoty  $\text{NO}_x$  v depozitářích v CHD i v Klementinu jsou srovnatelné a nižší než hodnoty v ostatních sledovaných prostorách, běžně přístupných pracovníkům a návštěvníkům Národní knihovny ČR.

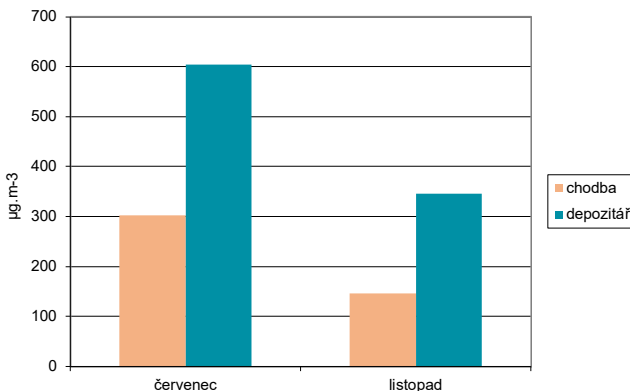
Pasivní vzorkovače firmy SVÚOM se od roku 2012 využívají pro nepřetržité měření koncentrací oxidů síry a dusíku v Barokním sálu, viz graf 1.

Graf 1 Měření koncentrace  $\text{NO}_x$  v Barokním sálu v období 2012–2018 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )



Hodnocením kvality vnitřního prostředí Barokního sálu v Klementinu, který slouží jednak jako depozitář historických fondů, jednak jako součást prohlídkové trasy pro veřejnost, se zabýval výzkumný projekt „*Monitorování a zhodnocení vnitřního prostředí v Barokním sálu NK ČR*“ podporovaný Norskými fondy. V Barokním sálu a přilehlých prostorách (celkem pět odběrových míst včetně venkovního ovzduší) bylo v červenci a listopadu roku 2009 provedeno Zdravotním ústavem se sídlem v Ústí nad Labem měření obsahu vnitřních polutantů, konkrétně VOCs (*volatile organic compounds*). Byly odebrány vzorky vzduchu, které byly následně analyzovány v laboratoři.

Graf 2 Koncentrace kyseliny octové na chodbě vedle Barokního sálu a v přilehlém depozitáři ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), aktivní odběr vzorků, Zdravotní ústav





Zjištěné koncentrace kyseliny octové, zvláště pak v uzavřeném prostoru depozitáře, vysoce překročily doporučené hodnoty, viz graf 2.

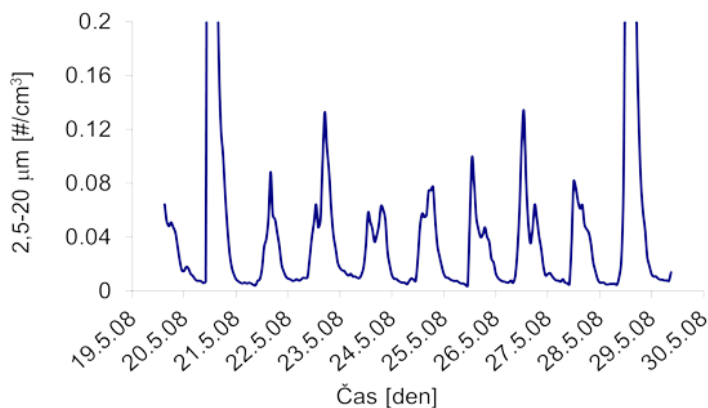
Tab. 3 Koncentrace kyseliny mravenčí a octové v Barokním sálu, měřeno pasivními vzorkovači NILU

Období	Kyselina mravenčí	Kyselina octová
	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	$\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
07.IX	102,5	418,7
09.IX	45,3	308,9
10.IX	37,4	270,2
11.IX	33,6	224,5
12.IX	24,6	216,2
01.X	11,8	149,8

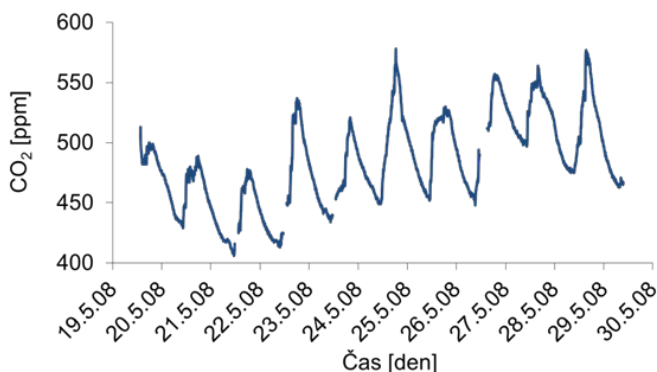
Vysoké koncentrace kyseliny octové naměřené Zdravotním ústavem jsou potvrzeny výsledky měření Norského ústavu pro výzkum ovzduší (Norwegian Institute for Air Research – NILU), spoluřešitele projektu Norských fondů (tab. 3).

Dalším spoluřešitelem tohoto projektu Norských fondů byl Ústav chemických procesů Akademie věd ČR (ÚCHP), který se specializuje na měření kvality ovzduší z hlediska koncentrace prachových částic a oxidu uhličitého. Provádí i chemické analýzy částic a měření plynných polutantů pasivními vzorkovači. V návaznosti na studii kvality ovzduší v Barokním sálu provedenou s využitím grantu Norských fondů před rekonstrukcí sálu (2011) zpracoval ÚCHP koncem roku 2017 srovnávací studii, která měla zjistit, jak se kvalita ovzduší po rekonstrukci změnila. Při měření v roce 2008 byl Barokní sál součástí prohlídkové trasy a vcházeli do něj turisté. Měření koncentrace prachových částic ukázalo, že přítomnost návštěvníků zvýší koncentrace částic až šestinásobně. Nárůst koncentrací začal vždy s příchodem prvních návštěvníků a dosáhl maxima na konci návštěvních hodin. Koncentrace částic pak postupně klesaly k původním hodnotám vlivem depozice na dostupných površích (graf 3). Stejný časový průběh vykazovaly koncentrace oxidu uhličitého, vydechovaného návštěvníky (graf 4).

Graf 3 Časový průběh početních koncentrací hrubých částic velikostní frakce 2,5–20  $\mu\text{m}$  ve vnitřním prostředí Barokního sálu v průběhu měření v roce 2008 (Smolík 2018)

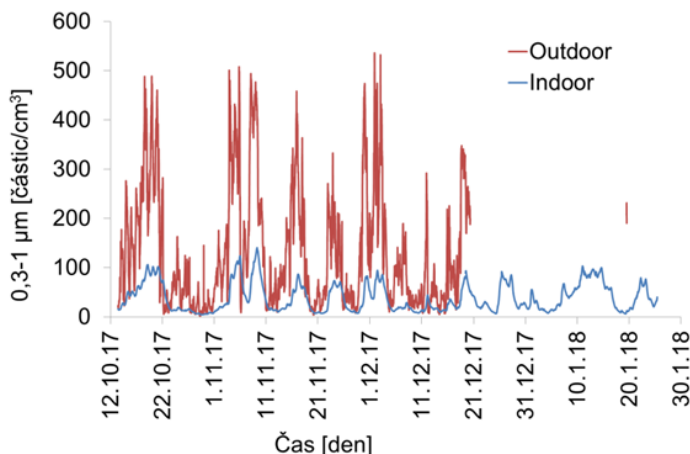


Graf 4 Časový průběh koncentrací oxidu uhličitého ve vnitřním prostředí Barokního sálu v průběhu měření v roce 2008 (Smolík, 2018)



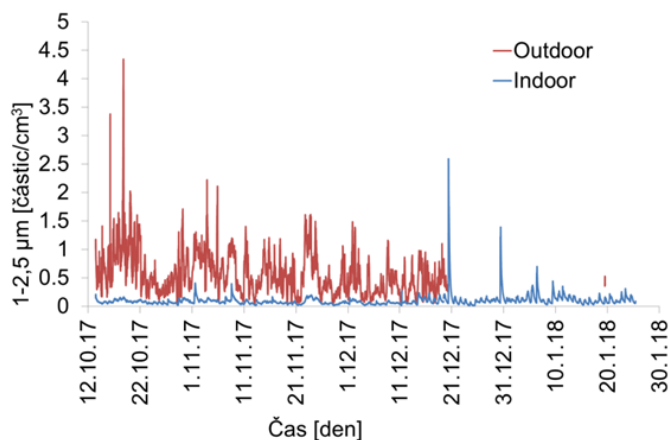
Během měření v roce 2017, které proběhlo již po rekonstrukci sálu, došlo ke změně návštěvních hodin, v první fázi byl sál ještě uzavřen pro veřejnost (13. 10. – 13. 12. 2017) a v druhé fázi (14. 12. 2017 – 24. 1. 2018) už probíhaly prohlídky. To umožnilo zjistit, do jaké míry ovlivňují prohlídky kvalitu ovzduší v sále. Graf 5 porovnává venkovní a vnitřní koncentrace jemných prachových částic frakce 0,3–1  $\mu\text{m}$ . Z grafu je vidět, že vnitřní koncentrace kopírují koncentrace venkovní, ale jsou výrazně nižší, a také, že přítomnost návštěvníků (zahájení prohlídek 14. 12.) nemá na koncentrace jemných částic prakticky žádný vliv.

Graf 5 Časový záznam venkovní (outdoor) a vnitřní (indoor) koncentrace jemných prachových částic frakce 0,3–1  $\mu\text{m}$  (Smolík 2018)



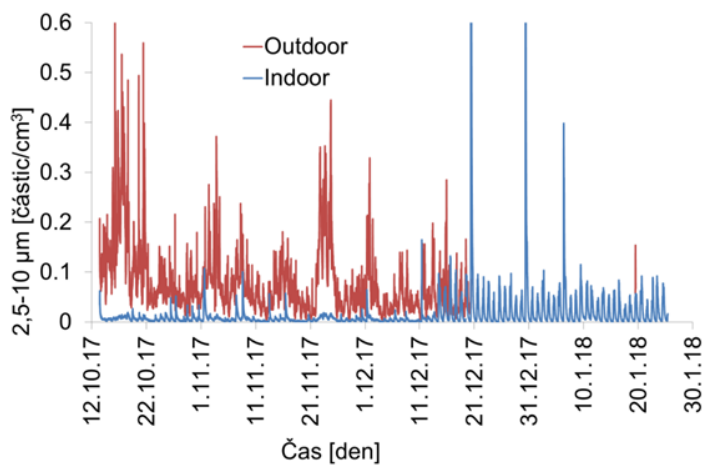
Graf 6 porovnává časové průběhy venkovních a vnitřních koncentrací částic frakce 1–2,5  $\mu\text{m}$ . Z grafu je vidět, že venkovní ovzduší mělo na vnitřní koncentrace velmi malý vliv, protože většina částic této velikosti byla téměř kvantitativně zachycena hmotou budovy.

Graf 6 Časový záznam venkovní (outdoor) a vnitřní (indoor) koncentrace prachových částic frakce 1–2,5  $\mu\text{m}$  (Smolík 2018)



Graf 7 ukazuje srovnání venkovních a vnitřních koncentrací hrubých částic frakce 2,5–10  $\mu\text{m}$ . Z grafu je patrný výrazný vliv návštěvníků, pozorovaný i v předchozí studii v roce 2008.

Graf 7 Časový záznam venkovní (outdoor) a vnitřní (indoor) koncentrace hrubých prachových částic frakce 2,5–10  $\mu\text{m}$  (Smolík 2018)



## Závěr

V depozitářích NK ČR probíhalo a probíhá měření kvality ovzduší na různých úrovních. Základem je měření relativní vlhkosti a teploty vzduchu ve všech typech depozitářů. Depozitáře v Hostivaři a Neratovicích nejsou vybaveny okny, světelné podmínky je tedy nutno sledovat přednostně v depozitářích v historické budově Klementina. V nové budově depozitáře v Hostivaři je regulace klimatických parametrů na velice dobré úrovni a je žádoucí jen kontrola případných výkyvů či havárií.

O kvalitě ovzduší Barokního sálu v areálu Klementina bylo zjištěno nejvíce informací. Je to dáno faktem, že se jedná jak o depozitář historických knižních fondů, tak o prostor zařazený do prohlídkové trasy a tedy přístupný veřejnosti, i když jen v omezené míře. Určitě je Barokní sál i atraktivním prostorem z hlediska jeho historické hodnoty. Jsou tu sledovány i koncentrace vnějších polutantů ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ), vnitřních polutantů (kyselina octová) a prachových částic. Právě měření provedená v Barokním sálu ukazují, že vstup většího množství osob má negativní vliv na ovzduší v depozitáři a tedy i na stav v něm uložených historických fondů.

Příspěvek shrnuje informace získané za několik desítek let monitorování klimatických parametrů v různých typech depozitářů v různých typech staveb v Národní knihovně České republiky (NK ČR). Toto shrnutí by mělo sloužit pro inspiraci knihovnám, jak sledovat kvalitu ovzduší v depozitářích a jak tzv. preventivní konzervací minimalizovat poškození knihovnických fondů. Náklady na preventivní konzervaci jsou ve výsledku mnohem nižší než potom nákladné restaurování poškozených exemplářů.

## Poděkování

*Tato práce byla vytvořena v rámci Institucionální podpory Národní knihovny České republiky Ministerstvem kultury ČR jako výzkumné instituce (IP DKRVO), Oblast 7: Ochrana knihovnických fondů.*

## Literatura

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2011. Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications SI Edition, Part 23. Museums, Galleries, Archives, and Libraries, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329, 2011, ISBN 978-1-936504-07-7.

CORDIS, 2005. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/id/EVK4-CT-2002-00093>.

ČSN ISO 11799 „Informace a dokumentace – Požadavky na ukládání archivních a knihovnických dokumentů“, 2006, s. 8–9.

ĐUROVIČ, Michal a kol. 2002. Restaurování a konzervování archiválií a knih. Vyd. 1. Praha: Paseka, 517 s. ISBN 80-7185-383-6.

GRZYWACZ, C. M., 2006. Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments, s. 110. ISBN13: 978-0-89236-851-8.

HATCHFIELD, Pamela. B., 2002. Pollutants in the museum environment. Archetype Publications Ltd., ISBN 1-873132-96-4.

Leporelo.info Atmosféra. Dostupné z: <https://leporelo.info/atmosfera>.

MORAWSKA, L. a T. SALTHAMMER, 2003. Indoor Environment: Airborne Particles and Settled Dust. New York: John Wiley and Sons. ISBN 978-3-527-30525-4.

PURAFIL, 2020. Dostupné z: <https://www.purafil.com/products/monitoring/passive-monitoring/>.

SEINFELD, J. H. a S. N. PANDIS, 2006. Atmospheric Chemistry and Physics, second edition. Hoboken: John Wiley and Sons. ISBN 978-0-471-72018-8.

SMOLÍK, J. 2018. Kvalita ovzduší v Barokním knihovním sále Národní knihovny v Praze, Klementinum, zpráva Praha: Ústav chemických procesů AV ČR, v. v. i.

SOUČKOVÁ, M. Měření polutantů v Národní knihovně České republiky, XIV. Seminář restaurátorů a historiků, Brno 2009, ISBN 978-80-7469-007-5.

SOUČKOVÁ, Magda, Petra VÁVROVÁ, Jan NOVOTNÝ, Jana DŘEVÍKOVSKÁ, Hana PAULUSOVÁ, Benjamin BARTL, Lenka BARTLOVÁ, Bronislava BACÍLKOVÁ, Roman STRAKA, Michal ĎUROVIČ, Ludmila MAŠKOVÁ a Jiří SMOLÍK. 2015. Památkový postup „Zlepšení kvality vnitřního ovzduší knihoven a archivů s cílem významně omezit degradaci knihovních a archivních materiálů“. NK ČR. Dostupné z: <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-260952>.

Zřizovací listina Národní knihovny České republiky, s. 2, dostupné z <https://www.nkp.cz/soubory/ostatni/zrizovaci-listina-nk.pdf>.

## Vysvětlivky

- \* Dräger trubice: označení detekčních trubíc – obchodní název, trubice se používají k detekci vybraných chemických látek a jsou určeny k orientačnímu stanovení škodlivých plynů v ovzduší (právě např. oxidy síry, dusíku, ozón atd.).
- \*\* Pasivní vzorkovače: Analýza vzduchu může probíhat buď přímo, nebo se mohou analyzovat odebrané vzorky. Sběr vzorků se provádí pasivně nebo aktivně. Pasivní vzorkovače vyžadující laboratorní analýzy jsou pro praxi jednodušší. Uživatel jen exponuje zařízení, zapečetí ho a pošle na analýzu. Analytická laboratoř určí objem testovaného vzduchu, množství detekovaných polutantů a spočítá koncentraci. U většiny přímo odečitatelných pasivních vzorkovačů musí uživatel počítat s expoziční dobou, kompenzovat na odchylku od standardní expoziční doby a určit koncentraci polutantů podle barevné změny. Protože čtení barev je subjektivní, může být zdrojem nepřesností ve výsledcích, zkušená obsluha tento problém minimalizuje. Cena pasivního vzorkovače je relativně nízká. Kvalitativní přímo odečitatelné pasivní vzorkovače (kupony) jsou snazší pro užití, méně komplikované a levnější než kvantitativní laboratorně analyzovatelná zařízení (open-path difúzní trubice). Nižší přesnost v porovnání s laboratorními analýzami může být k potvrzení znečištěného prostředí dostačující.
- \*\*\* Nízko tlaké kaskádní impaktory: slouží ke zjištění velikostní distribuce hmotnostní koncentrace a chemického složení částic např. typu Berner; separují částice do deseti velikostních frakcí. Odebrané vzorky se analyzují gravimetricky, iontovou chromatografií (vodorozpustné ionty) a metodou PIXE (Particle Induced X-ray Emission – částicemi indukované záření X, stanovení prvků).
- \*\*\*\* A-D strips jsou barvené papírové proužky – indikátory, které detekují a měří závažnost tzv. syndromu kyselosti ve filmových podložkách či fotografických materiálech vyrobených z acetátu celulózy. Tyto proužky vložené do boxu s filmy či negativy mění barvu dle rozsahu kyselosti – s vyšší kyselostí proužky mění barvu z původní modré na zelenomodrou, zelenou, žlutozelenou až do jasně žluté. Výsledkem je zjištění intenzity poškození či stupně degradace acetátových filmů či negativů a vhodnosti či nevhodnosti jejich dosavadního uložení.
- \*\*\*\*\* Kupony Purafil: filtrační materiál Purafil Select Chemisorbant odstraňuje ze vzduchu sulfan, oxid siřičitý, oxid dusičitý a formaldehyd. Je tvořen kulovitými, pórovitými granulami. Granule jsou vyrobeny z oxidu hlinitého a pojiva impregnovaného manganistanem draselným, který oxiduje plynné polutanty a trvale je tak odstraňuje z prostředí.
- \*\*\*\*\* Vzorkovač Radiello je komerčním zařízením či osobním monitorem (badges) a liší se geometrií od trubic. Aktivní povrch bývá uzavřen v plastovém nebo teflonovém krytu a fyzikální difúzní bariéra je umístěná 1 mm až 1 cm nad aktivním povrchem. Jedná se o adsorpční náplň a difúzní tělo z porézního polyetylénu různé tloušťky, porozity a velikosti pórů), výrobce Radiello, Sigma-Aldrich, 2006.

SOUČKOVÁ, Magda, Petra VÁVROVÁ a Jan FRANCL. Měření kvality ovzduší v depozitářích Národní knihovny České republiky – metody měření a vybrané výsledky. *Knihovna: knihovnická revue*. 2020, **31**(1), 5–17. ISSN 1801-3252.