

**Památkový postup**  
**„Zlepšení kvality vnitřního ovzduší knihoven a**  
**archivů s cílem významně omezit degradaci**  
**knihovných a archivních materiálů“**

**Autoři:**

**Národní knihovna ČR:** Ing. Magda Součková, Ing. Petra Vávrová, PhD., PhDr. Jan Novotný, BcA. Jana Dřevíková

**Národní archiv:** Ing. Hana Paulusová, Ing. Benjamin Bartl, Ing. Lenka Bartlová, PhMr. Bronislava Bacílková, Roman Straka, Dr. Ing. Michal Ďurovič

**Ústav chemických procesů AV ČR:** RNDr. Ludmila Mašková, PhD., Ing. Jiří Smolík, CSc.

Praha, 2015

## **Oponenti**

Ing. Petra Štefcová, CSc.  
Národní muzeum, centrální oddělení péče o sbírky

Ing. Kateřina Kreislová, Ph.D.  
SVÚOM s.r.o.

## Obsah

A. Úvod.....	4
B. Popis památkového postupu .....	5
1. Stanovení rizika poškození knihovních a archivních materiálů .....	5
1.1 Charakteristika knihovních a archivních materiálů ve sbírce a jejich citlivost na znečištěné prostředí.....	5
1.2 Charakteristika z hlediska stavebních materiálů, materiálů vnitřního vybavení (dřevo, kovy, laky, koberce atd.) a typu uložení (otevřené regály, obaly atd.).....	9
1.3 Charakteristika budovy.....	10
1.4 Charakteristika vnějšího ovzduší s ohledem na geografické a urbanistické umístění budovy .....	10
2. Stanovení kvality vnitřního ovzduší – plynné polutanty i pevné částice.....	11
3. Vyhodnocení výsledků bodů 1. a 2. ....	14
4. Návrh opatření pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší a snížení pravděpodobnosti poškození knihovních a archivních materiálů .....	14
C. Ověření památkového postupu v praxi.....	17
D. Literatura.....	20
E. Poděkování.....	22
F. Přílohy.....	23
Příloha 1: Doporučené maximální expoziční limity znečišťujících látek ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	23
Příloha 2: Podmínky pro dlouhodobé uložení audiovizuálních materiálů .....	26
Příloha 3: Typy monitorování vzdušných polutantů.....	29
Příloha 4: Filtry plynného znečištění a mobilní čističky vzduchu Purafil® a IQAir® .....	36
Příloha 5: Potvrzení o ověření v praxi.....	40

## A. Úvod

Kvalita vnitřního ovzduší prostor, ve kterém se nachází knihovní i archivní materiály (studovny, depozitáře, výstavní místnosti), velice výrazně ovlivňuje rychlost jejich degradace a tím i možnost jejich uchování pro budoucí pokolení. Vedle fyzikálních faktorů (teplota, relativní vlhkost, světlo) je důležitý i obsah a chemické složení polutantů ve vnitřním ovzduší.

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.

Vnější polutanty jsou funkcí klimatu, zeměpisné polohy, typu průmyslu a dopravních prostředků, užívaných pohonných látek 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 také z vnitřních zdrojů: oxid dusičitý z plynových kamen, sulfan jako bioodpad z lidí a některých užitkových materiálů, ozón může být produkován činností fotokopírek nebo starších modelů laserových tiskáren. Prach a aerosoly mohou pocházet z kouření, vaření, úklidu, některých topidel a kopírek a jejich zdrojem mohou být i zaměstnanci a návštěvníci.

Z vnitřních polutantů na knihovní materiály nejvíce působí kyselina octová, mravenčí, acetaldehyd a formaldehyd. Jsou uvolňovány ze dřeva, některých lepidel, barev a i z vlastních knihovních i archivních materiálů (vlivem degradace papíru, acetátových materiálů atd.)

K tomu, aby se dosáhlo vyšší kvality vnitřního ovzduší knihoven a archivů, a tak se zpomalila degradace knihovních a archivních materiálů, je nezbytné stanovit a pojmenovat rizika poškození konkrétních sbírkových předmětů. Dalším krokem je charakterizovat úroveň znečištění prostředí, ve kterém se knihovní materiály nacházejí, a to jak jejich mikroprostředí (umístění ve vitrínách, skříních, krabicích nebo jiných ochranných obalech), tak i celých místností (materiály vnitřního vybavení, stavebních prvků). Současně je důležitá charakterizace vnějšího ovzduší s ohledem na geografické a urbanistické umístění budovy (velkoměsto, silný dopravní provoz, průmyslová oblast atd.). Řadu údajů o kvalitě vnějšího ovzduší lze získat na webových mapových aplikacích např. Českého hydrometeorologického ústavu.

Po zjištění konkrétních rizik pro uložené materiály je nutné stanovit kvalitu vnitřního ovzduší. Tento památkový postup řeší kvalitu vnitřního ovzduší s důrazem na plynné polutanty a pevné částice.

Pro zjištěné polutanty, které představují pro sledované knihovní a archivní materiály největší riziko, se vyberou nejvhodnější metody měření. Naměřené koncentrace polutantů se porovnají s doporučenými standardy. Potom budou navržena taková opatření, která povedou ke zvýšení kvality vnitřního ovzduší tak, aby byla zjištěná rizika úplně odstraněna nebo alespoň co nejvíce minimalizována.

### *Struktura památkového postupu:*

1. Stanovení rizika poškození knihovních a archivních materiálů
  - 1.1 Charakteristika knihovních a archivních materiálů ve sbírce a jejich citlivost na znečištěné prostředí
  - 1.2 Charakteristika z hlediska materiálů vnitřního vybavení a typu uložení
  - 1.3 Charakteristika budovy
  - 1.4 Charakteristika vnějšího ovzduší s ohledem na geografické a urbanistické umístění budovy

2. Stanovení kvality vnitřního ovzduší – plynné polutanty i pevné částice
3. Vyhodnocení výsledků bodů 1. a 2.
4. Návrh opatření pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší a snížení pravděpodobnosti poškození knihovních a archivních materiálů

## **B. Popis památkového postupu**

### **1. Stanovení rizika poškození knihovních a archivních materiálů**

#### **1.1 Charakteristika knihovních a archivních materiálů ve sbírce a jejich citlivost na znečištěné prostředí**

Převážnou část knihovních a archivních materiálů tvoří papír, případně lepenka (knižní desky, obaly). Další velkou skupinou jsou kolagenní materiály, a to vazební usně a pergameny a pergamenové listiny. Nelze opomenout také přítomnost různých druhů inkoustů, pigmentů a organických barviv na psacích podložkách. Novějšími materiály jsou materiály fotografické a jako nejmladší – z druhé poloviny 20. století – materiály audiovizuální. Pro všechny tyto materiály jsou celkem jasně doporučeny optimální hodnoty teploty, vlhkosti a světla pro skladování a vystavování. Doporučené maximální expoziční limity znečišťujících látek již tak jednoznačně stanoveny nejsou (ČSN ISO 5466:1994; ČSN ISO 6051:1994; ČSN ISO 11799:2006; ČSN ISO 11844:2008; Hatchfield, 2002).

Normy, které se zabývají stanovením limitů plynného znečištění, se proto omezují na poměrně úzkou skupinu sledovaných látek, které jsou považovány za nejrozšířenější a jejichž vliv na typické materiály sbírkových předmětů je dostatečně prokázán. Jedná se především o oxid siřičitý, oxidy dusíku a uhlíku, kyselinu dusitou a dusičnou, ozón, karbonylové sloučeniny, sulfan, respektive redukovanou síru, chlor, amoniak, kyselinu chlorovodíkovou, těkavé organické kyseliny (octová, mravenčí), aldehydy (formaldehyd, acetaldehyd), těkavé organické látky (obecně) a pevné částice různého původu a velikosti, včetně spor plísní (Blades a kol., 2000; Brimblecombe, 1990; Grzywacz, 2006; ČSN ISO 11799:2006; Hatchfield, 2002; Kejser a kol., 2012; PAS 198, 2011; Ryhl-Svendsen, 2001; Tétreault, 2003).

Pokud se týká limitů výskytu mikroorganismů v ovzduší veřejných místností, jsou v ČR určeny vyhláškou MZČR 6/2003 Sb. (maximálně 500 bakterií a 500 plísní v 1 m<sup>3</sup> vzduchu). Toto jsou ale hodnoty určené spíše k ochraně lidí než k ochraně materiálu.

Normy a vodítka pro stanovení maximálních expozičních limitů vybraných znečišťujících látek a jejich konkrétní hodnoty doporučované v minulosti i současné době jsou shrnuty v příloze 1.

Pro vytvoření ideálních podmínek pro dlouhodobé uložení knihovních a archivních materiálů je nutné vždy zohlednit požadavky nejcitlivějšího uloženého materiálu.

Pro uložení archivních a knihovních dokumentů jsou doporučovány tyto koncentrace vzdušných polutantů (tabulka 1).

Tab. 1: Doporučené koncentrace vzdušných polutantů podle normy ČSN ISO 11799:2006 „Informace a dokumentace - Požadavky na ukládání archivních a knihovních dokumentů“

Druh vzdušného polutantu	Přípustná koncentrace [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
SO <sub>2</sub>	≤ 1
NO <sub>x</sub>	≤ 5
O <sub>3</sub>	≤ 25
CO <sub>2</sub>	≤ 4,5
jemné prachové částice	≤ 50

### Papír a lepenka

Základní složkou papíru je celulóza, která je velmi citlivá k degradačním reakcím – oxidačním i hydrolytickým. Hydrolyza katalyzovaná kyselým prostředím vede ke štěpení glykosidické vazby v makromolekule celulózy, což se projeví ztrátou pevnosti vlákna (Zou a kol. 1994). Rychlost hydrolytické reakce je závislá na přítomnosti kyselin v papíru a kyselých plynů v okolním ovzduší. Oxidace celulózy vlivem kyslíku je významně urychlována přítomností přechodných kovů (Calvini a kol. 2008; Potthast a kol. 2008).

Experimentálně bylo potvrzeno, že celulóza je degradována i přítomnými prachovými částicemi (zejména frakce PM1) (Bartl a kol., 2015). Vedlejšími produkty degradace celulózy a další složky papíru ligninu jsou těkavé látky (VOC), které se uvolňují do ovzduší a zpětně se podílí na další degradaci těchto sloučenin. Z VOC látek jde především o kyselinu octovou a mravenčí, aldehydy – formaldehyd, acetaldehyd, furfural a další (Dupont a kol. 2007; Ramalho a kol., 2009). Jejich vliv na papír se projevuje zejména v uzavřeném prostoru (mikroprostředí, nanoprostředí).

Pro minimalizaci interakcí vzdušných polutantů je nutné udržovat vlhkost v depozitářích na nízkých hodnotách. Doporučené podmínky pro uložení papírových sbírek jsou uvedeny v přílohách A a B technické normy ČSN ISO 11799:2003.

### Kolagenní materiály

Zvýšená teplota vyvolává oxidaci a urychluje chemické reakce jako je hydrolyza. Rostlině činěné usně oxidují snadněji než nečiněný materiál. Nízká teplota zpomalí postup chemických reakcí (Larsen, 1996).

Snížení vlhkosti při vypařování vyvolá chemické reakce na přechodu pevné a kapalné (plynné) fáze. Rychlá absorpce vlhkosti vede ke zvýšení teploty usně a může způsobit smrštění nebo želatizaci velmi poškozené usně. Useň navíc trpí fyzikálním napětím při změnách relativní vlhkosti (RH) a teploty. Tento tlakový faktor roste úměrně tomu, jak se zvyšuje rychlost absorpce a desorpce. Trvalé poškození struktury produktů z kůže (jako je pergamen) bylo zjištěno při RH menším než 25% (Hatchfield, 2002). Riziko mikrobiální kontaminace je nízké při relativní vlhkosti nižší než 60%.

Useň je přirozeně kyselá látka, do které byly kyselé materiály zavedeny při výrobě. Má i předpoklady k poškození polutanty, kyselými i alkalickými. Třísložiněné usně mají schopnost absorbovat kyselé plyny z městské atmosféry a poškodit se přebytkem kyselosti. Oxid siřičitý způsobí red rot (zeslabení a práškovatění) kůže. Sulfan má na usně stejný účinek jako oxid siřičitý (Grzywacz, 2006).

Oxidy dusíku poškozují usně a pergameny. Oxid dusičitý zesiluje poškození způsobené oxidem siřičitým na usních (Grzywacz, 2006).

Kyseliny octová a mravenčí způsobují denaturaci proteinových materiálů, tedy i poškození pergamenu a kůže. Známkou poškození je želatinizace a snížení teploty smrštění (Odlyha, 2013).

Prachové částice urychlují degradaci některých třísloučeniných usní, která se také projeví snížením teploty smrštění (Součková a kol., 2014).

### Historické iluminované rukopisy, kresby, kolorované grafiky a ostatní barevné vrstvy v knižní produkci

Iluminované rukopisy a barevné vrstvy v knižní produkci by měly být uloženy ve stabilních podmínkách, ideálně bez výkyvů hodnot, které se monitorují a průběžně kontrolují. Doporučené parametry klimatu pro iluminované rukopisy jsou teplota 18°C a relativní vlhkost 50±5%. U iluminací by hodnoty pro dlouhodobější uložení neměly být vyšší než 65% a teplota nad 22°C. V případě iluminovaných rukopisů s korozně agresivními pigmenty je nutné udržovat stálou relativní vlhkost vzduchu.

Některé náhražky zlacení a měďnaté pigmenty korodují v prostředí se zvýšenou relativní vlhkostí vzduchu či v prostředí s obsahem těkavých organických kyselin (např. kyseliny octové). Za přítomnosti par kyseliny octové je korozní napadení intenzivnější a produktem jsou barevné korozní produkty.

Za přítomnosti sulfanu dochází ke korozi některých kovů v iluminacích, především stříbra a mědi. Způsobuje také zčernání některých pigmentů, jako olovnaté běloby a minia.

### Fotografické materiály

Podmínkou dlouhodobé stability fotografických materiálů je zajištění vhodných klimatických podmínek v depozitářích, resp. výstavních prostorech. Konkrétně se jedná o teplotu, relativní vlhkost vzduchu a čistotu prostředí (Lavédrine, 2003). Vhodné klimatické parametry pro uložení fotografických materiálů stanovují normy ČSN ISO 5466:1994 a ČSN ISO 6051:1994.

Obdobné podmínky jsou doporučovány i např. v Národním archivu USA, navíc je uváděna specifikace pro formaldehyd (požadovaná koncentrace formaldehydu menší nebo rovna 5 µg/m<sup>3</sup>) a doporučována kontrola koncentrací agresivních látek jako je kyselina chlorovodíková (HCl) a kyselina octová (CH<sub>3</sub>COOH), které jsou vůči fotografickým technikám velmi agresivní.

### *Vliv na emulzní nosič (pojivo)*

Působením plyných polutantů (oxidů síry a dusíku) může docházet k praskání emulze nebo jejímu úplnému rozpadu (u albuminové i želatinové emulze). Tyto kyselinotvorné plyny (oxidy síry a dusíku) štěpí želatinu. Želatinová vrstva sice fixuje a chrání látky tvořící obraz (světlocitlivé látky), ovšem ochranná funkce klesá s rostoucí RH vzduchu. Jestliže je vyšší RH vzduchu, pak je i větší efekt oxidů dusíku na fotografie. Také peroxid vodíku (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a sulfan (H<sub>2</sub>S) intenzivněji poškozují obrazové stříbro při RH vzduchu vyšší než 35%.

Kombinované působení redukovatelných sloučenin síry (např. H<sub>2</sub>S, OCS, CS<sub>2</sub>, (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S, atd.) a oxidantů (např. peroxidů) vede u černobílých stříbrných želatinových fotografií k tvorbě tzv. stříbrného zrcátka a skvrn na povrchu fotografie. Působením kyslíku a vzdušné vlhkosti na kovové stříbro v přítomnosti sloučenin síry dochází k přeměně černého kovového stříbra na hnědý sulfid stříbrný (Ag<sub>2</sub>S).

Prachové (pevné) částice v ovzduší jsou nejčastější příčinou vzniku mechanického poškození (poškrábání, rýha atd.). Ale prachové částice mohou díky své rozmanité chemické struktuře vyvolat kromě mechanického také poškození chemické, biologické a také estetické.

Zvláště nebezpečné jsou především u negativů a diapozitivů. Příčinou tohoto typu poškození jsou pak nevhodná manipulace s fotografickým materiálem, např. svinutí filmů do roliček, protahování pásů negativů mezi skly zvětšovacího přístroje, odkládání bez ochranných obálek, balení do polymerních obalů (vznik statické elektřiny, která přitahuje prachové částice), kouření (cigaretový popílek), nedostatečné využívání ochranných prostředků (obálky, krabice, skříňe atd.), netěsná okna a dveře a průnik prachových částic z okolního prostředí. Vliv prachových částic závisí na velikosti částic, částice menší než 1  $\mu\text{m}$  mají větší efekt při poškozování fotografického materiálu než větší částice. Tyto menší částice pronikají snadněji do prasklin nebo mezi vlákna papíru na povrchu fotografie a vyvolávají poškození.

#### *Vliv na světlocitlivé látky*

Působením vzdušného kyslíku, ozónu nebo peroxidů uvolňovaných z okolních materiálů může docházet k oxidaci kovového stříbra, které může dospět až do posledního stádia formování kovově lesklých ploch, tzv. stříbrných zrcátek na povrchu emulze. Působením kyslíku a vzdušné vlhkosti na kovové stříbro v přítomnosti sloučenin síry dochází k přeměně černého kovového stříbra na hnědý sulfid stříbrný ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ).

Formaldehyd, jako vzdušný polutant přítomný v depozitářích s fotografiemi, může redukovat stříbrné ionty na koloidní stříbro a důsledkem toho je změna barvy černobílých fotografií.

U barevných fotografií je řada barviv, která mění svou barvu (odbarvují se) vlivem oxidu siřičitého a dusíku a oxidantů (např. ozónu). Ale velmi se liší v závislosti na fotografické technice, např. Ilfochrome barevné materiály jsou mnohem odolnější než chromogenické barevné filmy. Ozón může výrazně poškodit některé druhy barviv inkoustových tisků.

#### *Vliv na podložku*

Kyselinotvorné plyny (oxidy síry a dusíku) štěpí a poškozují i papírovou podložku fotografie mechanismem hydrolytických reakcí v kyselém prostředí, zároveň urychlují rozklad podložek na bázi esterů celulózy (nitrátové nebo acetátové podložky u filmů a negativů).

Formaldehyd reaguje velmi rychle s některými kovy; např. se toho využívá u olověných kupónů/detektorů k detekci formaldehydu v depozitářích. Využívá se reakce, kdy formaldehyd se oxiduje na kyselinu mravenčí, která pak reaguje s olovem. Roztok formaldehydu se používal k vytvrzování želatiny nebo ke stabilizaci barevných fotografií.

#### *Kinematografická, magnetická a optická média (příloha 2)*

Audiovizuální materiály by měly být dlouhodobě uchovávány v temném a čistém prostředí. Teplota a vlhkost jsou dva klíčové faktory, které ovlivňují rychlost degradace kinematografického filmu. Při nízkých teplotách a relativní vlhkosti se zpomalí chemický rozklad a tím se zvyšuje stabilita filmu. Pokud se ve sbírce vyskytují nitrátové nebo acetátové filmy, musejí být odděleny a skladovány v chladu v kovových odvětrávaných obalech.

Magnetické kotoučové pásy a kazety trvale musí být uchovávány v chladném, suchém prostředí, mimo vliv magnetických polí. Magnetické pásy jsou citlivé podobně jako fotografický materiál na působení korozivně agresivních plynů.

Optické disky fungují dobře v širokém rozsahu teplot a relativní vlhkosti. Optické disky poškozují teplo generované z laserového paprsku a přímého slunečního záření a mikrovlnné záření, magnetismus ani rentgenové paprsky nemají na optické disky vliv. Magnetooptické disky nesmějí být skladovány v blízkosti magnetického pole s vysokou intenzitou.



Audiovizuální média jsou zejména citlivá na oxidující látky, korozivní plyny, nečistoty a prach. Kinematografické filmy a magnetické pásky je nutné ukládat odděleně od ostatních sbírek, protože obvykle vyžadují nižší teplotu a vlhkost a samy uvolňují degradační produkty.

## **1.2 Charakteristika z hlediska stavebních materiálů, materiálů vnitřního vybavení (dřevo, kovy, laky, koberce atd.) a typu uložení (otevřené regály, obaly atd.)**

Stavební materiály depozitářů

- Podlahy mají být hladké a celistvé, bez uvolňování polutantů (např. kámen, litý beton apod.).
- Nátěry stěn by neměly obsahovat polyvinylacetátové a polyakrylátové disperze, vhodný je minerální charakter nátěru (vápno, silikáty).

Uložení knihovních a archivních materiálů do uzavřených regálů, skříní, vitrín nebo obalů

- Sníží poškození polutanty z okolního prostředí – vstup polutantů z místnosti bude omezen nízkou rychlostí výměny vzduchu a část polutantů se může adsorbovat na materiály regálů, skříní, obalů.
- Zvýší riziko poškození knihovních a archivních materiálů vnitřními polutanty uvolňovanými z materiálů vnitřního vybavení.

Dřevo a jeho úpravy

- Kyselina octová a mravenčí jsou uvolňovány ze všech dřevěných materiálů, ale jejich obsah kolísá podle individuální charakteristiky každého kusu dřeva (druh stromu, vystavení teplu, vysoká vlhkost, jádrové nebo bělové dřevo, roční doba pokácení).
- Deskové dřevařské materiály (dřevotříska, překližka) často vlivem zpracování uvolňují formaldehyd.
- Některé nátěrové hmoty mohou emitovat kyselinu mravenčí.

Textil

- Vždy před použitím by se měl otestovat na uvolňování nežádoucích látek, vlastnosti produktů různých šarží se mohou lišit.
- Přírodní vlákna jako bavlna a plátno jsou přijatelná, jestliže nebyla barvena a bělena, jinak mohou uvolňovat formaldehyd, sloučeniny síry, chloru a další látky.
- Přírodní vlna může uvolňovat sloučeniny síry.

Kov a sklo

- Samy o sobě jsou považovány za stabilní materiály.

Plasty-polymery

- Některé skupiny polymerů jsou obecně stabilnější, např. nasycené polyolefiny.
- Nejstabilnější plasty – teflon, polypropylen, polyetylen, polystyren, nylon, akrylové plasty.
- Degradací nitrátu celulózy vznikají oxidy dusíku a další radikály obsahující dusík, a dále kyselina dusičná.
- Polyvinylchlorid může uvolňovat chlorovodík, případně změkčovadla.

## Lepenka

- Kyselá lepenka uvolňuje kyseliny.
- Archivní lepenka absorbuje vnější i vnitřní polutanty.

## Adsorpce polutantů na povrch materiálů vnitřního vybavení

- Vliv rychlosti ventilace vzduchu – čím je rychlost ventilace nižší, tím méně vnějších polutantů se dostane dovnitř a je větší šance, že se adsorbují na povrch materiálů uvnitř.
- Povrchová reaktivita polutantů se obecně snižuje ve směru ozón ( $O_3$ ) – oxid siřičitý ( $SO_2$ ), oxid dusičitý ( $NO_2$ ), – sulfan ( $H_2S$ ) – sloučeniny s karbonylovou skupinou (aldehydy, kyseliny).
- Vliv typu vnitřních materiálů:
  - Kov a sklo – relativně nereaktivní.
  - Plasty, porézní cihly, dlaždice a dřevo - reaktivnější a efektivnější při odstraňování polutantů jako jsou oxid dusičitý, siřičitý a ozón.
  - Nátěrové systémy - porézní a alkalické jsou reaktivnější, nepermeabilní a lesklé méně reaktivní.
- Vliv velikosti plochy povrchu - čím je větší v poměru k objemu místnosti, tím větší je šance, že bude adsorbovat polutanty.

Příklad: menší místnost s reaktivním povrchem jako cihly a sádrová lepenka je pro odstranění polutantů účinnější než velká místnost s nereaktivními kovovými a skleněnými povrchy.

## 1.3 Charakteristika budovy

- Vzduchotěsnost jednotlivých místností – polutanty z veřejných a služebních prostor a kanceláří mohou migrovat do výstavních a skladovacích prostor. Tyto polutanty mohou vznikat při přípravě pokrmů, při úklidu (pozor na chlorované sloučeniny), restaurátorských pracích, ozón může být emitován fotokopírkami a laserovými tiskárnami.
- Rychlost výměny vzduchu ovlivňuje koncentraci polutantů v budově. Závisí na:
  - Rozsahu infiltrace vzduchu – nekontrolovatelné unikání vzduchu prasklinami v materiálu budovy.
  - Kontrolované přirozené ventilaci – četnost otvírání oken a dveří.
  - Mechanické ventilaci – užití větráků.
- Umístění přívodů vzduchu ventilace a klimatizace:
  - Přívod venkovních polutantů do vnitřního prostředí při špatném umístění, např. při umístění přívodů vzduchu nízko na rušné ulici.
  - Recirkulace vzduchu mezi mechanickými extrakčními otvory a přívody čerstvého vzduchu.
- Kvalita údržby, čištění a výměny filtrů.

## 1.4 Charakteristika vnějšího ovzduší s ohledem na geografické a urbanistické umístění budovy

Zdroje vnějších polutantů jsou velmi různorodé, závisí na geografickém i urbanistickém umístění budovy i na ročním období.

Oxidy dusíku (NO + NO<sub>2</sub>, označované NO<sub>x</sub>)

- Hlavními zdroji oxidů dusíku je silniční doprava (významný podíl má ovšem i doprava letecká a vodní) a spalovací procesy ve stacionárních zdrojích.
- Méně než 10% celkových emisí NO<sub>x</sub> vzniká ze spalování přímo ve formě NO<sub>2</sub>.
- Přírodní emise NO<sub>x</sub> vznikají převážně z půdy, vulkanickou činností a při vzniku blesků (v Evropě představují méně než 10% celkových emisí).

Oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>)

- Vzniká spalováním uhlí i méně kvalitního benzínu.
- Je obsažen v sopečných plynech.
- Produkují ho mikroorganismy.

Sulfan (H<sub>2</sub>S)

- Vzniká v přírodě tlením organických materiálů.
- V průmyslových oblastech jeho výskyt souvisí s výrobou papíru a zpracováním ropy.
- Dalšími jeho zdroji jsou odpadní vody a stejné zdroje jako u oxidu siřičitého.

Karbonyl sulfid (COS)

- Pochází z biochemických zdrojů a geochemických procesů v oceánech.

Přízemní ozón (O<sub>3</sub>)

- Je označován za sekundární znečišťující látku, protože není významně primárně emitován z antropogenních zdrojů znečišťování ovzduší.
- Důležitý pro vznik ozónu je fotochemický smog, který se tvoří působením UV záření na výfukové plyny automobilů.

Amoniak (NH<sub>3</sub>)

- Velký podíl amoniaku vzniká rozkladem dusíkatých organických materiálů z chovu domácích zvířat.
- Část amoniaku je emitována při spalovacích procesech nebo průmyslové výrobě umělých zemědělských hnojiv.
- Vzniká v katalyzátorech (automobilová doprava).
- Může být výsledkem mikrobiálních aktivit, např. hydrolýzy močoviny.

Pevné částice

- Vznikají spalováním, při motorové dopravě, rozstřikováním solí, mechanickými procesy a konverzí z plynných prekurzorů.
- Některé z nich jsou biologického původu jako pyly a části těl mikroorganismů.

## **2. Stanovení kvality vnitřního ovzduší – plynné polutanty i pevné částice**

### Úrovně monitorování

Kvalitativním měřením se zjistí přítomnost nebezpečných polutantů, případně hlavní třídy polutantů přítomných v prostředí (aldehydy, organické kyseliny, sulfidy, anorganické sloučeniny).

Kvantitativní monitorování umožní změření koncentrací specifických polutantů. Tato informace je potřebná k objasnění nebo potvrzení jejich zdrojů.

### Typy monitorování

Analýza vzduchu může probíhat buď přímo, nebo se mohou analyzovat odebrané vzorky. Sběr vzorků se provádí buď pasivně, nebo aktivně, viz schéma 1 (podrobnosti v příloze 3).

- Pro přímou analýzu vzduchu se používá náročnější přístrojová technika, kterou lze užít i v terénu. Výsledky jsou dostupné on-line a v reálném čase. Je výhodná pro monitorování krátkodobých kolísání koncentrací polutantů a omezí se při ní chyby při odběru vzorků. Přístroje vyžadují minimální infrastrukturu (elektřinu).
- 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.
- Kvalitativní přímo odečitatelné pasivní vzorkovače (kupony) jsou snazší pro užití, méně komplikované a levnější než kvantitativní laboratorně analyzovatelná zařízení (open-path difuzní trubice). Nižší přesnost v porovnání s laboratorními analýzami může být k potvrzení znečištěného prostředí dostačující
- Pro odběr biologických vzorků jsou určeny zvláštní typy vzorkovačů. Jsou zaměřeny na stanovení množství životaschopných mikroorganismů (CFU – colony forming units) v jednotce objemu vzduchu. K záchytu a kultivaci mikroorganismů se obvykle používají agarové živné půdy, které mohou být selektivní pro některé vybrané druhy, např. pro plísně.

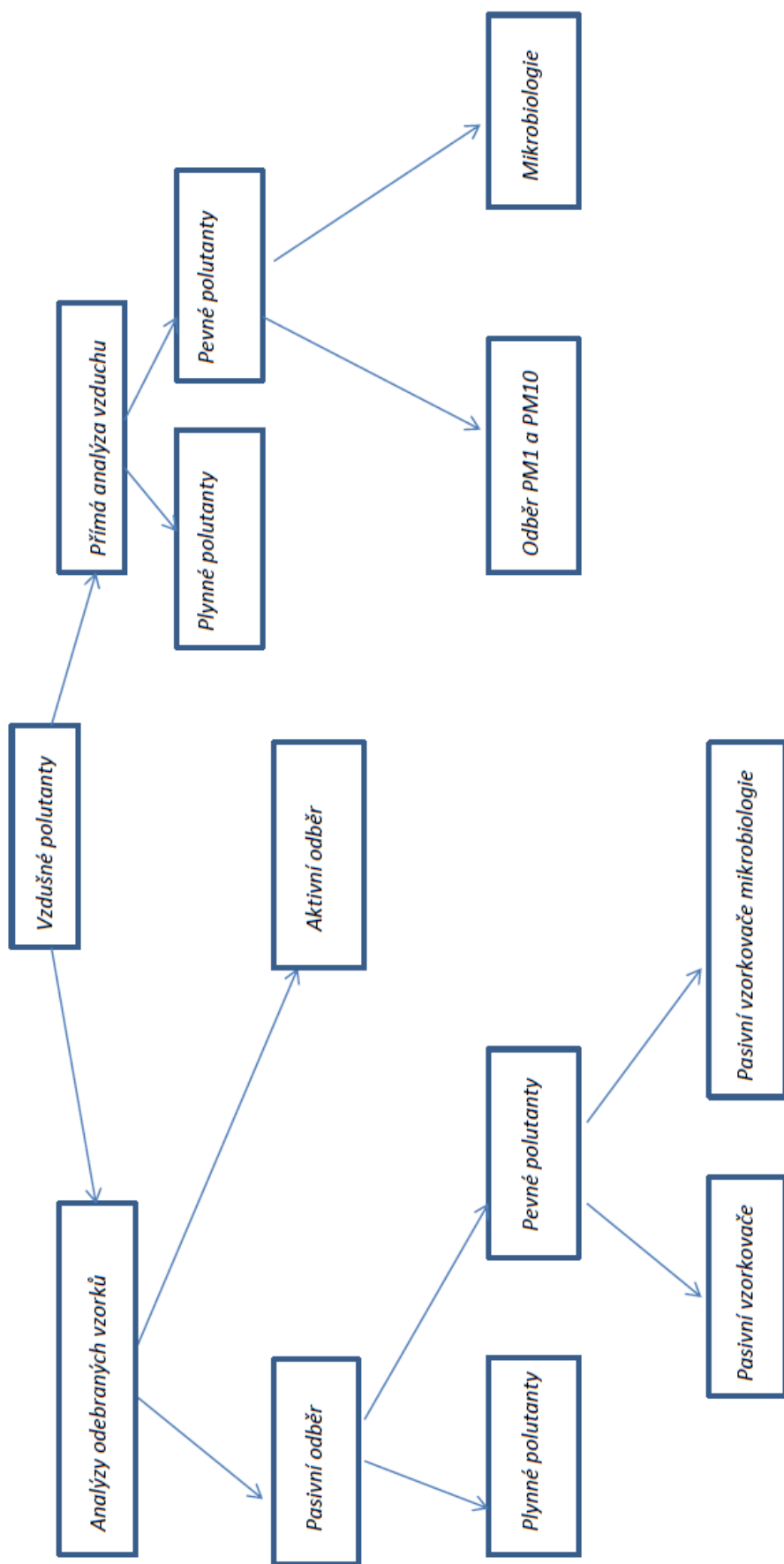


Schéma 1: Možnosti monitorování vzdušných polutantů

### 3. Vyhodnocení výsledků bodů 1. a 2.

Po vyhodnocení, které polutanty představují pro knihovní a archivní materiály v konkrétním prostředí největší nebezpečí z hlediska urychlení jejich degradace, zvolení nejvhodnější metody měření a změřeni koncentrace polutantů se tyto hodnoty porovnají s doporučenými standardy. Potom se navrhnou taková opatření, která povedou ke zvýšení kvality vnitřního ovzduší.

### 4. Návrh opatření pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší a snížení pravděpodobnosti poškození knihovních a archivních materiálů

- Zvýšení kvality vnějšího vzduchu

Kvalitu vzduchu přicházejícího zvenku lze ovlivnit změnou rychlosti výměny vzduchu, zavedením klimatizace, užitím účinnějších filtrů nebo použitím čističek vzduchu. Mezi účinné filtry patří například filtry Purafil® (například Purafil Select Chemisorbant odstraňující ze vzduchu sulfan, oxid siřičitý, oxid dusičitý a formaldehyd) nebo IQAir® Gas Phase Media (filtrující například ozon, VOC, formaldehyd, chlor, čpavek, oxid dusičitý, oxidy siřičitý) (podrobnosti v příloze 4). Čističky vzduchu IQAir® GCX Series nebo GC Series, které mohou být osazeny různými filtry typu IQAir® Gas Phase Media, jsou schopny za jednu hodinu filtrovat 545 m<sup>3</sup>, respektive 350 m<sup>3</sup> vzduchu.

- Změna materiálů vnitřního vybavení, viz bod 1.2

Lze nahradit dřevěný nábytek např. kovovým, změnit druh textilu a typ čisticích prostředků.

- Užití speciálních adsorpčních materiálů na pohlcování polutantů

Adsorpční materiály mohou být použity také pro snížení koncentrace plyných polutantů v menších uzavřených prostorách, jako jsou například výstavní vitríny, obaly nebo obrazové rámy.

- Jako nejúčinnější jsou v současné době hodnoceny adsorbenty na bázi aktivního uhlí zachycené na různých nosičích (textil, papír a lepenka, pojiva nátěrových hmot) (Dahlin a kol., 2013; Parmar a Grosjean, 1991).
- Další možností jsou zásadité nebo neutrální aluminy (oxid hlinitý) a zeolity (hlinitokřemičitany).
- Je možná impregnace adsorbentů dalšími látkami, aby byla zvýšena jejich adsorpční kapacita vzhledem ke konkrétním kontaminantům, nejčastěji kyselinotvorným oxidům. V případě aktivního uhlí se jedná například o oxid měďný nebo hydrogenuhličitan draselný, alumina bývá impregnována manganistanem draselným – zde je třeba počítat s její podstatně nižší schopností adsorbovat ozón (Ecob, 2008; Ecob, a kol., 2014; Parmar a Grosjean, 1991; Rempel, 1996)
- Polymerní adsorbenty jako Tenax TA, Amberlite XAD-2, Chromosorb 102 nebo silikagelové adsorbenty mají nižší účinnost a nejsou doporučovány (Parmar a Grosjean, 1991; Rempel, 1996).
- Nedostatečnou účinností, co se týká neutralizace kyselinotvorných oxidů, má v prostředí o běžné relativní vlhkosti vzduchu také uhličitan vápenatý, který obvykle tvoří alkalickou rezervu v papírech a lepenkách určených pro

dlouhodobé uložení knih a archivních dokumentů (Parmar a Grosjean, 1991; Rempel, 1996).

- V případě převažujícího výskytu jednoho typu polutantu připadá v úvahu možnost použití chemikálií, které s ním specificky reagují (např. 2,4-dinitrofenylhydrazinu pro odstranění formaldehydu).
  - Výhodné je zejména použití nosičů textilních, protože mají velký povrch (Activated Charcoal Cloth®).
  - Účinnost a životnost adsorbentů je ovlivněna řadou parametrů: teplotou a relativní vlhkostí prostředí, koncentrací polutantu, těsností, respektive ventilací čištěného prostoru a materiálem chráněného předmětu (Ecob a kol., 2014; Schaeffer a kol., 2004). Z těchto důvodů není možné obecně stanovit potřebné množství adsorbentu na objemovou jednotku vzduchu. V prostředí, ve kterém nedochází k účinnému konvektivnímu promíchávání vzduchu, je neúčinnější použití adsorpčních materiálů jako bariéry mezi chráněným objektem a zdrojem znečištění (Schaeffer a kol., 2004).
  - Při změně podmínek, například přivedení čistšího nebo vlhčího vzduchu, může v omezené míře docházet k desorpci zachycených polutantů nebo jejich degradačních produktů (Dahlin a kol., 2013; Druzik, 2003; Library of Congress, 2012).
- **Užití ochranných obalů**

Ochranné obaly (různé obálky, desky, pouzdra, kontejnery a krabice, které jsou používány pro dlouhodobé uložení archivního a knihovního materiálu) chrání knihovní a archivní materiály před mechanickým poškozením. Brání také pronikání vzduchu přímo k uloženým materiálům.

    - Velké množství dokumentů a knih již bylo ochrannými obaly v minulosti opatřeno, v některých případech se dokonce jedná o jejich původní adjustaci: papírové a kartonové obálky, lepenková pouzdra a krabice, dřevěné bedny nebo plechové schránky, pro novodobé dokumenty pořadače v plastových zakládacích obalech s eurozávěsem (Bartl a kol., 2010).
    - V současné době jsou nejrozšířenějšími obaly skládané z lepenkových výseků. Na trhu je k dispozici celá řada typů těchto obalů, od jednoduchých obálek s chlopněmi přes nejrůznější pouzdra až po pevné krabice s odklápěcím víkem. Spoje jsou v některých případech zajištěny lepením, pruhy plátna nebo kovovými spojovacími prvky (sponky, cvočky, L-profil). V rámci individuálního restaurování dokumentů bývají vyráběny také takzvané nařezávané nebo sestavované lepenkové krabice. Vnitřní plochy těchto krabic bývají vylepeny nekyselým papírem, vnější plochy potaženy knihařským plátnem. Požadavky na konstrukci obalů a kvalitu materiálů používaných pro dlouhodobé uložení papírových a pergamenových dokumentů jsou shrnuty v normách ČSN ISO 9706:1996 a ISO 16245:2012. Vlastnosti materiálů vhodných pro ukládání fotografických dokumentů specifikuje norma ČSN ISO 10214:1997. Tyto materiály mají samy o sobě značnou schopnost absorbovat některé polutanty.
    - Některé dokumenty jsou ukládány do obalů vyrobených ze syntetických polymerů. Jedná se nejčastěji o zakládací obaly typu „L“ nebo „U“, které jsou vyrobeny z polyesterových, polyethylenových nebo polypropylenových fólií. Některé listinné archivní fondy jsou adjustovány v obálkách, vytvořených

jednoduchým přehnutím plastové fólie a zavěšených ve svislé poloze na speciálních regálech (Bartl a kol., 2010). Rozšířené je také kombinování různých typů ochranných obalů s pěnovými polymerními materiály, které mají lépe chránit uložený předmět před mechanickým poškozením.

Při manipulaci se syntetickými polymerními obaly vzniká statická elektřina, která přitahuje prachové částice, proto se vyrábí plastové obaly bez statického náboje (např. antistaticky upravený polyethyltereftalát nebo extrudovaný polystyren *Polystyrol*).

- Některé materiály, které byly v minulosti použity pro výrobu ochranných obalů, mohou být samy zdrojem polutantů, především těkavých organických látek. Rizikovými materiály jsou zejména dřevo, lepenky a papíry obsahující dřevovinu. Problematické jsou také některé syntetické polymery, které jsou používány jako konstrukční materiál, adheziva, tmely nebo pojiva nátěrových hmot. (Library of Congress, 2012; Strlič a kol. 2011; Tétreault, 1993). Pokud je kvalita obalu nevyhovující, je vhodné zvážit jeho výměnu, případně vyloučit jeho přímý kontakt s uloženým předmětem.
- Vrstvené lepenky s větší plošnou hmotností představují účinnější bariéru proti pronikání polutantů, než srovnatelné lepenky tenčí nebo vlnité (Součková, 2011). Větší tloušťka však na druhou stranu často komplikuje přesné složení výseku, což vede ke vzniku širších otvorů v obalu. Pro knihy a spisy formátu A4–A3 se v praxi osvědčují lepenky s plošnou hmotností cca 800–1500 g/m<sup>2</sup> (Bartl a Bartlová, 2014).
- Z hlediska konstrukce je možné doporučit takové obaly, které omezí kontaminaci uložených dokumentů pevnými částicemi (prachem) při současném zachování možnosti výměny vzduchu uvnitř obalu (ISO 16245:2012; Strlič, a kol. 2011; Vávrová a Ohlídálová, 2012), například skládané krabice, které nejsou hermeticky uzavřené. Funkci ventilačních otvorů zajišťují štěrby mezi vnitřními a vnějšími částmi krabice. Tyto štěrby by však měly být úzké a cesta aerosolu vnikajícího dovnitř co nejdělnější. Jejich orientace by neměla podporovat pronikání částic do krabice sedimentací. Při splnění uvedených podmínek je větší část prachových částic deponována nebo adsorbována na vnějších plochách krabice. Důležité je také věnovat pozornost pečlivému složení lepenkového výseku a nepřehřívání krabic, aby nedocházelo k jejich deformaci a rozšíření otvorů, kterými mohou polutanty pronikat dovnitř. (Bartl a Bartlová, 2014; Smolík a kol., 2013)
- Uzavření dokumentu do neprodyšného plastového obalu není doporučeno. Tímto způsobem je sice možné omezit působení vnějších polutantů, na druhé straně však vede k postupnému zvyšování koncentrace degradačních produktů samotného dokumentu v obalu a tak k urychlení dalších nežádoucích reakcí (Hanus a kol., 1997; Strlič a kol., 2011; Vávrová a Ohlídálová, 2012). Podstatně je také komplikována možnost studia dokumentů, respektive jeho opětovného uložení. Použití hermeticky uzavřených obálek z plastů s nízkou propustností pro plyny je proto využíváno spíše v rámci konzervačních zásahů, než pro dlouhodobé uložení (Vávrová a Ohlídálová, 2012).
- U zakládacích obalů a otevřených kapes je problém vzniku „mikroklimatu“ vyřešen tím lépe, čím účinnější možnost ventilace je umožněna. Zlepšení je do



jisté míry možné dosáhnout ponecháním více stran kapsy otevřených, případně používáním obálek s přerušovanými svary.

- Použití pěnových polymerních materiálů je možné doporučit za předpokladu, že neuvolňují nebezpečné látky. Za vhodné jsou považované pěny na bázi zesíťovaného polyetyleny, polystyrenu, polypropylenu nebo silikonu (Tétreault, 1993).
- Drobné stavební úpravy a organizace pracovních činností  
Cílem je, zabránit průniku polutantů vznikajících v přilehlých prostorách do prostor s uloženými sbírkami.

## C. Ověření památkového postupu v praxi

Tento památkový postup byl aplikován v letech 2013-2015 v depozitáři Nový trezor Národního archivu (Milady Horákové 5/133, Praha 6).

### 1. Stanovení rizika poškození knihovních a archivních materiálů

#### 1.1. Charakteristika knihovních a archivních materiálů ve sbírce a jejich citlivost na znečištěné prostředí

V depozitáři jsou uloženy především středověké pergamenové listiny. Z hlediska materiálového složení se tedy jedná především o kolagenní materiály s inkousty, pigmenty a barevnými vrstvami. Dále jsou zde zastoupeny i další materiály, ze kterých jsou tvořeny pečeti, a to především vosk, zlato, olovo a textil.

#### 1.2. Charakteristika z hlediska materiálů vnitřního vybavení a typu uložení

Depozitář byl postaven v letech 1987-1989 v suterénu budovy. Stěny, podlaha i strop jsou tvořeny betonem a obloženy keramickými kachlíky. Dveře jsou z lakovaného kovu. Archiválie jsou uloženy tzv. Buijtenenovým systémem, ve svislé poloze zavěšené na kovových lakovaných rámech, oboustranně kryté melinexovou fólií.

#### 1.3. Charakteristika budovy

Depozitář představuje hermeticky uzavřený prostor bez oken, který je oddělen od ostatních chodeb budovy 3 těžkými trezorovými dveřmi (2 předsálí). Depozitář je vybaven vlastní vzduchotechnickou jednotkou (VZT) s recirkulací vzduchu. Teplota je celoročně udržována na hodnotě  $15\pm 2^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti  $55\pm 5\%$  (letní režim),  $50\pm 5\%$  (zimní režim). V roce 2005 byly do VZT instalovány filtry společnosti PURAFIL pro odstraňování oxidů síry, sirovodíku, formaldehydu a oxidů dusíku *Purafil Select Chemisorbant* a dále HEPA filtry pro odstraňování prachových částic (obrázky 1 a 2).



Obr. 1: Strojovna VZT pro depozitář Nový trezor s filtrační jednotkou (vzadu)



Obr. 2: Filtrační jednotka s vloženými filtry *Purafil Select Chemisorbant*

#### **1.4. Charakteristika vnějšího ovzduší s ohledem na geografické a urbanistické umístění budovy**

Budova Národního archivu, ve které se nalézá zmíněný depozitář, je sevřena mezi velmi frekventovanou ulicí Milady Horákové a ulicí Na valech v Praze 6 - Dejvicích. Jedná se tedy o výrazně dopravně zatíženou lokalitu (hodnoty znečištění ovzduší lze nalézt např. na [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)).

## **2. Stanovení kvality vnitřního ovzduší – plynné polutanty i pevné částice**

V depozitáři proběhlo roční kontinuální měření koncentrací plynných polutantů, a to oxidu dusičitého, ozónu, kyseliny dusičné, oxidu siřičitého, amoniaku, kyseliny octové a mravenčí. Vzorkování oxidu dusičitého, ozónu, kyseliny dusičné, oxidu siřičitého, amoniaku bylo prováděno pomocí pasivních dozimetrů Analyst (Marbaglass, Itálie) a kyseliny octové a mravenčí pomocí pasivních dozimetrů IVL (Švédsko), které byly exponovány vždy po dobu jednoho měsíce. Vzorkovače Analyst byly analyzovány na Ústavu chemických procesů AV ČR

pomocí iontové chromatografie (Watrex Ltd., Czech Rep.) a vzorkovače IVL byly analyzovány přímo výrobcem. Dále byla v depozitáři jednorázově změřena celková koncentrace prachových částic pomocí čítače částic P-Trak (TSI, USA).

### **3. Vyhodnocení výsledků bodů 1. a 2.**

Ve sledovaném období byly koncentrace většiny měřených polutantů velmi nízké nebo dokonce pod limitem detekce. Koncentrace oxidu dusičitého byly po celou dobu pod detekčním limitem ( $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Taktéž koncentrace ozónu a kyseliny dusičné byly pod detekčním limitem metody ( $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). A zároveň koncentrace obou organických kyselin se pohybovaly pod mezí detekce ( $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro mravenčí a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pro octovou kyselinu). Z počátku měření v období únor až duben 2013 byla stanovena koncentrace oxidu siřičitého v rozmezí  $1,0 - 1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , v následujícím období květen 2013 až duben 2015 se však snížila a byla opět pod detekčním limitem metody stanovení ( $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Při jednorázovém měření zatížení prachem, byla rovněž koncentrace částic pozorována pod detekčním limitem přístroje ( $1 \text{ částice}/\text{cm}^3$ ), což svědčí o velmi dobré funkci HEPA filtrů.

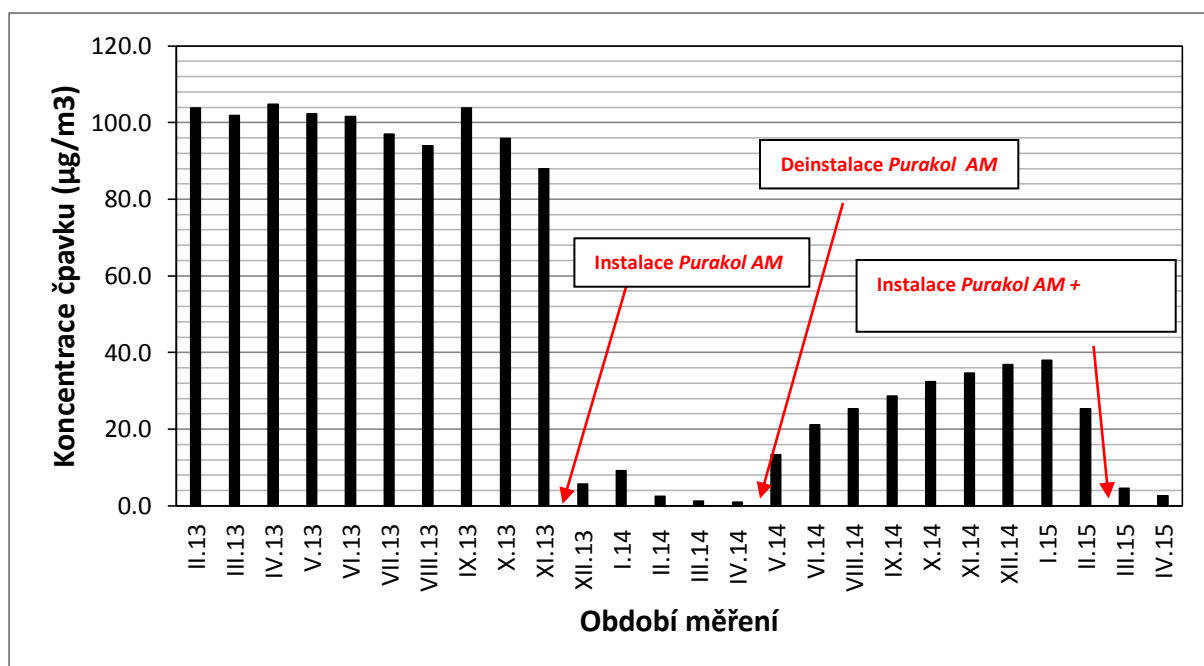
Naměřená koncentrace amoniaku však přesahovala hodnoty  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , přičemž tato koncentrace mnohonásobně převyšovala venkovní koncentrace amoniaku, které se po celou dobu měření pohybovaly v rozmezí  $0,4 - 3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pro srovnání dále byla sledována koncentrace amoniaku ve studovně archivu, přičemž koncentrace se pohybovaly v rozmezí  $5,7 - 12,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Výsledky měření tedy ukázaly, že způsob skladování archiválií odpovídá nejnovějším poznatkům a klimatické podmínky jsou ve sledovaném depozitáři ideální. Koncentrace všech polutantů kromě amoniaku byly pozorovány velmi nízké. Problémem se tedy vzhledem k možnému vlivu na uložené materiály ukázaly pouze velmi vysoké koncentrace amoniaku.

### **4. Návrh opatření pro zlepšení kvality vnitřního ovzduší a snížení pravděpodobnosti poškození knihovních a archivních materiálů**

Po zjištění vysoké koncentrace amoniaku v depozitáři, byly filtry *Purafil Select Chemisorbant* na konci měsíce listopad 2013 zaměněny za filtry *Purakol AM* speciálně určené pro odstraňování amoniaku z prostředí. Po instalaci těchto filtrů se koncentrace amoniaku postupně snížila až na hodnotu  $0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (duben 2014). Aby byl zjištěn zdroj amoniaku, byly filtry koncem dubna 2014 z filtrační jednotky odstraněny a opět nahrazeny filtry *Purafil Select Chemisorbant*. Koncentrace amoniaku se opět začala zvyšovat, což dokazuje, že zdroj amoniaku se nachází v depozitáři (pravděpodobně uniká z betonu použitého při stavbě tohoto depozitáře).

Proto návrh řešení situace byl následující - do filtrační jednotky byly vloženy dva kusy filtrů *Purakol AM* (odstranění amoniaku) a dva kusy filtrů *Purafil Select Chemisorbant* (odstranění oxidů síry a dusíku). Tato výměna byla uskutečněna v lednu 2015, přičemž koncentrace amoniaku se postupně snižovala a v dubnu 2015, kdy bylo měření ukončeno, dosáhla hodnoty  $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Průběh měření koncentrace amoniaku v depozitáři Nový trezor v období únor 2013 – duben 2015 je uveden na obrázku 3.



Obr. 3: Koncentrace amoniaku (čpavku) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) v depozitáři Nový trezor (měřeno v období únor 2013 – duben 2015)

Součástí navrženého postupu je také pravidelná kontrola účinnosti filtrů *Purakol AM* a *Purafil Select Chemisorbant* (1 – 2 x za rok).

## D. Literatura

- Bartl, B., Bartlová, L. Odolnost ochranných krabic proti vnikání prachu. Oddělení péče o fyzický stav archiválií, Národní archiv, 2014.
- Bartl, B., Holakovská, L., Straka, R. Ukládání pergamenových listin v Národním archivu v minulosti a v současné době. *Knižnica* 2010, 11(2-3), 91-98.
- Bartl, B., Mašková, L., Paulusová, H., Smolík, J., Bartlová, L., Vodička, P. The effect of dust particles on cellulose degradation. *Studies in Conservation* 2015, DOI: 10.1179/2047058414Y.0000000158.
- Blades, N., Oreszczyń, T., Bordass, W., Cassar, M. Guidelines on pollution control in heritage buildings. London: The Council for Museums, Archives and Libraries, 2000.
- Brimblecombe, P. The composition of museum atmospheres. *Atmospheric Environment* 1990, 24B(1), 1-8.
- Calvini, P., Silveira, M. FTIR analysis of naturally aged  $\text{FeCl}_3$  and  $\text{CuCl}_2$  - doped cellulose papers. *e-Preservation Science* 2008, 5, 1-8.
- ČSN ISO 5466:1994 Fotografie. Zpracované bezpečné fotografické filmy. Požadavky na uložení. International Organization for Standardization.
- ČSN ISO 6051:1994 Fotografie. Zpracované fotografické papíry. Požadavky na uložení. International Organization for Standardization.
- ČSN ISO 9706:1996 Informace a dokumentace. Papír pro dokumenty. Požadavky na trvanlivost. International Organization for Standardization.
- ČSN ISO 10214:1997 Fotografie. Zpracované fotografické materiály. Pouzdra pro ukládání. International Organization for Standardization.

- ČSN ISO 11799:2006 Informace a dokumentace. Požadavky na ukládání archivních a knihovních dokumentů. International Organization for Standardization.
- ČSN ISO 11844-1:2008 Koroze kovů a slitin – Klasifikace vnitřních atmosfér s nízkou korozní agresivitou – Část 1: Stanovení a odhad korozní agresivity vnitřních atmosfér. International Organization for Standardization.
- Dahlin, E., Grøntoft, T., Wittstadt, K., Drda-Kühn, K., Colombini, M.P., Bonaduce, I., Vandenabeele, P., Larsen, R., Potthast, A., Marincas, O., Schieweck, A., Thicket, D., Odlyha, M., Andrade, G., Hackney, S., McDonagh, C., Ackerman, J.J. Measurement, effect assessment and mitigation of pollutant impact on moveable cultural assets. –Innovative research for market transfer. MEMORI, Call title: FP7-ENV-2010, Project final report 2013.
- Druzik, J.M. Performance of pollutant adsorbents (2001-2003): Measurement of capacity and breakthrough curves for selected pairs of pollutants and adsorbents. Getty Conservation Institute, 2003. online: [http://www.getty.edu/conservation/our\\_projects/science/adsorbents/adsorbents\\_component2.html](http://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/adsorbents/adsorbents_component2.html)
- Dupont, A.-L., Egasse, C., Morin, A., Vasseur, F. Comprehensive characterisation of cellulose- and lignocellulose- degradation products in aged papers: Capillary zone electrophoresis of low-molecular mass organic acids, carbohydrates, and aromatic lignin derivatives. Carbohydr. Polym. 2007, 68, 1-16.
- Ecob, C. Overview: Application of molecular filtration for artefact preservation. Papyrus 2008, 9(1), 10-13.
- Ecob, C., Skold, A.-C., Lindahl, C., Forslund, M. Real-world laboratory testing of molecular filters. 11th International Conference Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments, Prague, 13–16 April 2014, Programme and Abstract Book, 62.
- Grzywacz, C.M. Monitoring for gaseous pollutants. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2006.
- Hatchfield, P.B. Pollutants in the museum environment. Archetype Publications Ltd., 2002.
- Hanus, J., Mináriková, J., Hanusová, E., Komorníková, M. Sledovanie zmien niektorých vlastností papiera počas starnutia v archívnych krabiciach – Časť 1, X. Seminár restaurátorů a historiků, Litomyšl 24.–27. 9. 1997 (referáty), Česká informační společnost – pobočka při Státním ústředním archivu v Praze, 1999, 200-211.
- ISO 11799:2003 Information and documentation–Document storage requirements for archive and library materials. International Standard Organization.
- ISO 16245:2012 Information and documentation - Boxes, file covers and other enclosures, made from cellulosic materials, for storage of paper and parchment documents. International Organization for Standardization.
- Kejser, U., Vest, M., Hansen, B., Bruun, C. Practical usage of standards and guidelines for indoor air quality. In Book of Abstracts: Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments, London, 17–20 June 2012. London: UCL Centre for Sustainable Heritage, 2012, 13.
- Larsen, R. Conclusions. ENVIRONMENT Leather Project, Denmark, 1996.
- Lavédrine, B. A. Guide to the preventive conservation of photograph collection. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2003.
- Library of Congress. Performance evaluation of 4-ply rag boards containing calcium carbonate and zeolites. Preservation and testing division, Library of Congress, 2012. online: [www.loc.gov/preservation/](http://www.loc.gov/preservation/)
- Odlyha, M. Damage assessment from organic acids, Poster, Conference projektu MEMORY, Madrid 2013.

- Parmar, S.S., Grosjean, D. Sorbent removal of air pollutants from museum display cases. *Environment International* 1991, 17, 39-50.
- PAS 198:2011. Specification for environmental conditions for cultural collections, draft 2.0. British Standards Institution.
- Potthast, A., Henniges, U., Banik, G. Iron gall ink-induced corrosion of cellulose: aging, degradation and stabilization. Part 1: model paper studies. *Cellulose* 2008, 15, 849-859.
- Ramalho, O., Dupont, A.-L Egasse, C., Derieux, A.L. Emission rates of volatile organic compounds from paper, e-PS 2009, 6, 53-59.
- Rempel, S., Zeolite molecular traps and their use in preventive conservation. WAAC newsletter 1996, 18, 1. online: <http://cool.conservation-us.org/waac/wn/wn18/wn18-1/wn18-106.html>
- Ryhl-Svendsen, M. Indoor air pollution in museums. An introduction to its effects, monitoring and control. 2001, 8, 613-619.
- Schaeffer, T.T., Druzik, J.R., Norton, C. The efficiency of Microchamber boards in passepartout for paper-based art. *The Book and paper Group Annual* 2004, 23, 87-88.
- Smolík, J., Mašková, L., Zíková, N., Ondráčková, L., Ondráček, J. Deposition of suspended fine particulate matter in a library. *Heritage Science* 2013, 1, 1-7.
- Součková, M. Krabice jako ochrana před negativním působením okolního prostředí. In: Novotný, J. Výzkum a vývoj nových postupů v ochraně a konzervaci písemných památek; Sborník příspěvků závěrečného semináře k výzkumnému záměru MK00002322103 (2005-2011, MK0), Praha: Národní knihovna ČR, 2011.
- Součková, M., Smolík, J., Mašková, L. Effects of Aerosol Particles on Collagen Materials. In: Book of abstracts, Sibiu, 2014.
- Strlič, M., Cigić, I.K., Možir, A., de Bruin, G., Kolar, J., Cassar, M. The effect of volatile organic compounds and hypoxia on paper degradation. *Polymer Degradation and Stability* 2011, 96, 608-615.
- Tétreault, J. Guidelines for Selecting Materials for Exhibit, Storage and Transportation. Ottawa: Canadian Conservation Institute, 1993. online: <https://formacaompr.files.wordpress.com/2010/02/guidelines-for-selecting-materials.pdf>.
- Tétreault, J. Airborne pollutants in museums, galleries, and archives: Risk assessment, control strategies, and preservation management. Ottawa: Canadian Conservation Institute, 2003.
- Vávrová, P., Ohlídalová, M. Ukládání knih a dokumentů do obalů ze speciálních folií bez přístupu vzduchu. In: Novotný, J. Výzkum a vývoj nových postupů v ochraně a konzervaci písemných památek; Závěrečná zpráva o řešení výzkumného záměru MK00002322103 (2005-2011, MK0), Praha: Národní knihovna ČR, 2012.
- Zou, X., Gurnagul, N., Uesaka, T. Bouchard, J. Accelerated aging of papers of pure cellulose: mechanism of cellulose degradation and paper embrittlement. *Polym. Degrad. Stab.* 1994, 43, 393-402.

## E. Poděkování

Tento památkový postup vznikl díky finanční podpoře Ministerstva kultury v rámci řešení projektu DF11P01OVV020 - Metodika hodnocení vlivu kvality ovzduší na knihovní a archivní fondy.

## F. Přílohy

### Příloha 1: Doporučené maximální expoziční limity znečišťujících látek ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

BAT = nejlepší dostupná technologie (best available technology)

Tab. 2 (pokračování)

Autorita	Santa Maria delle Grazie, Miláno [6]	Nizozemská vláda [6]	California State archives, Sacramento, California [6]	National Archives at College Park (Archives II) [6]	British Standards Institution [2]	National Materials Advisory Board [2]	Thomson 1986 [1, 6]	British Museum Libraries 1983 [1, 12]	US National Bureau of Standards 1983 [1, 2, 6]
Poznámky	kostel, (fresky)					papír	muzea	papír	
Pevné částice	odstranění podílu 0,1–10 $\mu\text{m}$	75			odstranění 95% částic > 2 $\mu\text{m}$				75
Oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ )	13–27	0,9	0,9	2,7		1,1	10	0,0	1,0
Sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ )									
Oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ )	BAT	5,1	5,0	5,0		BAT	10	0,0	5,1
Kyselina dusitá / dusičná ( $\text{HNO}_2, \text{HNO}_3$ )						BAT			
Ozón ( $\text{O}_3$ )	BAT	1,9	25	25		2,0	0 - 2,0	0,0	26
Kyselina chlorovodíková (HCl)	BAT	BAT							BAT
Oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ )	BAT	6500							$4,5 \cdot 10^6$
Formaldehyd (HCHO)		BAT		5,0					BAT
Acetaldehyd ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ )									
Kyselina mravenčí (HCOOH)									
Kyselina octová ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )		BAT							BAT
Karbonylové sloučeniny									
Kovové (svarořací) dýmy		BAT							BAT
VOC celkem (jako hexan)									

Tab. 2 (pokračování)

Autorita	Det Kongelige Bibliotek, Copenhagen 2012 [8, 16]	PAS 198: 2011 (draft 2.0) [11]	Grzywacz 2006 [5]	Grzywacz 2006 [5]	Lavendrine 2006 [5]	National Air Filtration Association 2004 [10]	Purafil 2004 [6, 12]	ČSN ISO 11799: 2003 [7]	Tétrault 1998 [6]	Larsen 1996 [1]	National Information Standards Organization, 1995 [17]
Poznámky		papír	muzea, běžné materiály	muzea, citlivé materiály	archivní dokumenty	knihovny, archivní a muzea	muzea, archivní a knihovny	archivní a knihovní materiál	kožené vazby		papír
Pevné částice	≤ 0,1 částice PM <sub>2,5</sub>					odstranění částic > 0,3–1,0 µm (MERV 15)	75	50, odstranění 60–80% částic > 0,5 µm			odstranění 95% částic, zejm. < 1 µm
Oxid siřičitý (SO <sub>2</sub> )	0,2	2,7	1,1–5,3	0,1–1,1	1,1	2,7	0,9	13–27		0,3	13–27
Sulfan (H <sub>2</sub> S)			0,1	0,01							
Oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> )	0,1	19 (N <sub>2</sub> O)	3,8–19	0,1–5,0	5,0	5,0	5,1	10–19 (NO <sub>x</sub> )			10–19
Kyselina dusitá / dusičná (HNO <sub>2</sub> , HNO <sub>3</sub> )			2,6	0,3							
Ozón (O <sub>3</sub> )	1,0	20	1,0–10	0,1	2,0–26	4,0	1,9	10–20			10–20
Kyselina chlorovodíková (HCl)							BAT				
Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )							6500				
Formaldehyd (HCHO)	6,0		13–25	0,1–6,2			BAT	5,0			
Acetaldehyd (CH <sub>3</sub> CHO)				1,8–37							
Kyselina mravenčí (HCOOH)	6,0		9,6–38	9,6		5,0					
Kyselina octová (CH <sub>3</sub> COOH)	12	stovky	100–700	13			BAT	10			
Karboonylové sloučeniny									100		
Kovové (svarořovací) dýmy							BAT				
VOC celkem (jako hexan)			360								

## Literatura

1. Blades, N., Oreszczyn, T., Bordass, B., Cassar, M. Guidelines on pollution control in heritage buildings. London: The Council for Museums, Archives and Libraries, 2000.
2. Brimblecombe, P. The composition of museum atmospheres. Atmospheric Environment 1990, 24B(1), 1-8.
3. ČSN ISO 11844-1:2007 Koroze kovů a slitin - Klasifikace vnitřních atmosfér s nízkou korozní agresivitou - Část 1: Stanovení a odhad korozní agresivity vnitřních atmosfér.



4. Grattan, D. Indoor air quality in heritage and historic environments: Standards and guidelines. In *Book of Abstracts: Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments*, London, 17–20 June 2012. London: UCL Centre for Sustainable Heritage, 2012, 56–58.
5. Grywacz, C.M. *Monitoring for gaseous pollutants*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2006.
6. Hatchfield, P.B. *Pollutants in the museum environment*. Archetype Publications Ltd., 2002.
7. ISO 11799:2003. *Information and documentation–Document storage requirements for archive and library materials*. Switzerland: International Standard Organization.
8. Bogvard Kejser, U., Vest, M., Vinther Hansen, B., Bruun, C. Practical usage of standards and guidelines for indoor air quality. In *Book of Abstracts: Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments*, London, 17–20 June 2012. London: UCL Centre for Sustainable Heritage, 2012, 13.
9. Kreislová, K., Knotková, D., Kreibichová, B., Kudláček, I., Kopecký, L. Stanovení korozní agresivity vnitřních prostředí historických budov. *Koroze a ochrana materiálů* 2007, 51(2), 37-42.
10. *The NAFA guidelines–Libraries, archives and museums*. National Air Filtration Association, 2004.
11. PAS 198:2011. *Specification for environmental conditions for cultural collections, draft 2.0*. British Standards Institution.
12. PURAFIL, Inc. *Environmental control for museums, libraries, and archival storage areas*. Technical Bulletin, 2004, 600A.
13. Ryhl-Svendsen, M. Indoor air pollution in museums. An introduction to its effects, monitoring and control 2001, 8, 613-619.
14. *Standards for community museums in Ontario*. Ontario ministry of tourism, culture and sport. [http://www.mtc.gov.on.ca/en/museums/museums\\_standards.shtml](http://www.mtc.gov.on.ca/en/museums/museums_standards.shtml) (accessed Oct 23, 2013).
15. Tétreault, J. *Airborne pollutants in museums, galleries, and archives: Risk assessment, control strategies, and preservation management*. Ottawa: Canadian Conservation Institute, 2003.
16. Vest, M., Bogvard Kejser, U., Bruun, C. New long-term storage facilities at the Royal library, Denmark: storage requirements for mixed collections. In BRIDGLAND, J., et al. (eds.). *15th Triennial Conference, New Delhi, 22-26 September 2008, Preprints, 2*. ICOM Committee for Conservation, 2008, 808–814.
17. Wilson, W.K. *NISO TR01-1995. Environmental Guidelines for the storage of*. Bethesda: National Information Standards organization, 1995.

**Příloha 2: Podmínky pro dlouhodobé uložení audiovizuálních materiálů**

Typ média	RH	Teplota	Světlo, záření (IR, UV, VIS, magnetické, mikrovlny)
<b>Kinematografický film černobílý</b>			
Nitrátová podložka	20-30 % <sup>2</sup>	2 °C <sup>2</sup>	ne UV, ne VIS
Acetátová podložka	50 % (± 5) <sup>1,3</sup>	2 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	ne UV, ne VIS
	40 % (± 5) <sup>1,3</sup>	5 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	
	30 % (± 5) <sup>1,3</sup>	7 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	
Polyesterová podložka	50 % (± 5) <sup>1,3</sup>	21 °C <sup>1,3</sup> (± 2)	ne UV, ne VIS
<b>Kinematografický film barevný</b>			
Acetátová podložka	20-50 % (± 5) <sup>1,3</sup>	-10 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	ne UV, ne VIS
	20-40 % (± 5) <sup>1,3</sup>	-3 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	
	20-30 % (± 5) <sup>1,3</sup>	2 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	
Polyesterová podložka	20-50 % (± 5) <sup>1,3</sup>	-10 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	ne UV, ne VIS
	20-40 % (± 5) <sup>1,3</sup>	-3 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	
	20-30 % (± 5) <sup>1,3</sup>	2 °C (± 2) <sup>1,3</sup>	
<b>Gramofonové desky</b>			
vinylové desky	30-40 % (± 5) <sup>1</sup>	16-20 (± 2) <sup>1</sup>	ne UV, ne VIS
	45-50 % (± 5)	7-10 °C (± 5)	
<b>Magnetické pásky</b>			
acetátová, polyesterová podložka	8-50 % (± 5) <sup>1,4</sup>	15-11 °C (± 2) <sup>1,4</sup>	ne UV, ne VIS, ne magnetické
	8-30 % (± 5) <sup>1,4</sup>	15-17 °C (± 2) <sup>1,4</sup>	
	8-20 % (± 5) <sup>1,4</sup>	15-23 °C (± 2) <sup>1,4</sup>	
<b>Magnetooptické disky</b>	30-40 (± 3) <sup>1</sup>	12-18 °C (± 2) <sup>1</sup>	ne magnetické
<b>Optické disky</b>			
CD, DVD-ROM, R, RW, RAM	20-50 % (± 10) <sup>1,4</sup>	-10-23 °C <sup>1,4</sup>	ne IR, ne mikrovlny

Doporučené hodnoty pro AV materiály	prach	O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> ,	VOCs
fotografické materiály <sup>5</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup> (O <sub>3</sub> ) 45 g/m <sup>3</sup> (CO <sub>2</sub> )	1 µg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> ) 1 µg/m <sup>3</sup> (SO <sub>2</sub> )	
NA Canada <sup>6</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup> (O <sub>3</sub> )	5 µg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> ) 1 µg/m <sup>3</sup> (SO <sub>2</sub> )	
NA USA <sup>6</sup>	75 µg/m <sup>3</sup>	25 µg/m <sup>3</sup> (O <sub>3</sub> )	5 µg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> ) 1 µg/m <sup>3</sup> (SO <sub>2</sub> )	5 µg/m <sup>3</sup> (CH <sub>2</sub> O)
NAFA <sup>7</sup>		4 µg/m <sup>3</sup> (O <sub>3</sub> )	5 µg/m <sup>3</sup> (NO <sub>x</sub> ) 3 µg/m <sup>3</sup> (SO <sub>2</sub> )	

citlivé materiály <sup>7</sup>		0,1 μg/m <sup>3</sup> (O <sub>3</sub> )	0,1-5 μg/m <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> ) 0,1-1 μg/m <sup>3</sup> (SO <sub>2</sub> ) 0,01 μg/m <sup>3</sup> (H <sub>2</sub> S)	0,1-6 μg/m <sup>3</sup> (CH <sub>2</sub> O) 13 μg/m <sup>3</sup> (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> ) 10 μg/m <sup>3</sup> (CH <sub>2</sub> O) 2-37 μg/m <sup>3</sup> (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O)
<b>Typ poškození média</b>				
<b>Kinematografický film černobílý</b>				
Nitrátová podložka	abraze	stříbro	stříbro, želatina	podložka (HNO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> ), stříbro, želatina (CH <sub>2</sub> O)
Acetátová podložka	abraze	stříbro	stříbro, želatina	podložka (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> ), stříbro, želatina (CH <sub>2</sub> O)
Polyesterová podložka	abraze	stříbro	stříbro, želatina	stříbro, želatina (CH <sub>2</sub> O)
<b>Kinematografický film barevný</b>				
Acetátová podložka	abraze	barviva	barviva, želatina	podložka (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> ), želatina, barviva (CH <sub>2</sub> O)
Polyesterová podložka	abraze	barviva	barviva, želatina	želatina, barviva (CH <sub>2</sub> O)
<b>Gramofonové desky</b>				
vinylové desky	abraze			
<b>Magnetické pásy</b>				
acetátová, polyesterová podložka	abraze	kovové části	kovové části	kovové části (Cl)
<b>Magnetooptické disky</b>				
<b>Optické disky</b>				
CD, DVD-ROM, R, RW, RAM	abraze	stříbro, hliník	stříbro, hliník	polykarbonát (C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )

## Literatura

1. ČSN ISO 11799:2006 Informace a dokumentace - Požadavky na ukládání archivních a knihovních dokumentů.
2. ISO 10356:1996 Cinematography – Storage and handling of nitrate-base motion-picture films.
3. ISO 18911:2000 Imaging materials -- Processed safety photographic films -- Storage practices.
4. ISO 18923:2000 Imaging materials -- Polyester-base magnetic tape -- Storage practices.

5. Safeguarding the documentary heritage: a guide to standards, recommended practices and reference literature related to the preservation of documents of all kinds [online]. Paris: UNESCO.
6. Lavédrine, B. A guide to the preventive conservation of photograph collection. Los Angeles: Getty Conservation Institute, 2003.
7. Grzywacz, C.M. Monitoring for gaseous pollutants. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2006.

### **Příloha 3: Typy monitorování vzdušných polutantů**

Příloha 3 podává podrobnější přehled metod monitorování vzdušných polutantů. V textu jsou uvedeny i metody, které byly použity při řešení výzkumného projektu programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity (NAKI) „Metodika hodnocení vlivu kvality ovzduší na knihovní a archivní fondy“ (DF11P010VV020) Ministerstva kultury České republiky – *tisk kurzívou*.

Analýza vzduchu může probíhat buď přímo (např. online spektrometry) nebo se mohou analyzovat sebrané vzorky. Sběr vzorků se provádí buď pasivně, nebo aktivně.

#### Nepřetržité kontinuální monitorování plynů

Je zajišťováno optickými monitory (chemiluminiscence pro NO<sub>2</sub>), IČ spektrometry, elektrochemickými monitory (pro oxidovatelné látky, např. kyselinu mravenčí), fotoionizačními detektory (pro aromatické sloučeniny, běžná rozpouštědla, sloučeniny síry).

Citlivost těchto přístrojů je často limitovaná. Lze je užít v terénu, i když nejsou vždy přenosné. Výsledky jsou dostupné on-line a v reálném čase. Je možné monitorování krátkodobých kolísání koncentrací polutantů a omezí se chybování při odběru vzorků. Přístroje vyžadují minimální infrastrukturu (elektřinu).

#### Přímá analýza aerosolových částic

***Basamatikum 1,0TM** je aerosolový kombinovaný spektrometr, který byl vyvinut v rámci řešení výzkumného projektu) „Metodika hodnocení vlivu kvality ovzduší na knihovní a archivní fondy“. Přístroj umožňuje měření velikostního rozdělení aerosolových částic v rozmezí 20 nm – 20 μm zároveň ve vnitřním i vnějším prostředí (Ondráček a kol., 2013).*

Pro monitoring hmotnostních koncentrací částic (PM<sub>x</sub>) bývají používány i přístroje založené na principu rozptylu světla na částicích. Příkladem těchto fotometrů je třeba **Microdust Pro** (Casella) nebo **DustTrak** (TSI). Výhodou těchto přístrojů je především možnost okamžitého odečítání naměřených koncentrací, jejich malá hmotnost (přenosné zařízení) a relativně nízká cena. Na druhé straně je vypovídací schopnost získaných hodnot značně omezená, protože měřící princip těchto přístrojů velmi silně závisí na složení monitorovaných částic (Görner a kol., 1995) a tudíž na jejich zdroji. Výpočet výsledné koncentrace prachových částic je odvozen z kalibrace na tzv. Arizonský prach (ISO 12103-1:1997), jehož složení se však může značně lišit od monitorovaných částic. Předchozí studie potvrdily, že takto získané údaje se mohou zásadně odlišovat od reálných hodnot a to jak ve vnějším (Andělová a Braniš, 2012), tak i ve vnitřním prostředí (Braniš a Kolomazníková, 2010).

*Pro jednoduché měření zatížení prostředí částicemi je vhodnější jednoduchý přenosný čítač částic (např. **P-Trak**, TSI). Výhodou těchto přístrojů je rovněž možnost okamžitého odečítání naměřených koncentrací, jejich malá hmotnost (přenosné zařízení) a relativně nízká cena. Nevýhodou pak nutnost použití provozní kapaliny (propanol, butanol) a ruční doplňování sytiče po několika hodinách (nemožnost bezobsužného kontinuálního měření). Na druhou stranu tento typ přístroje podává poměrně přesnou informaci o aktuální početní koncentraci částic v daném prostředí.*

#### Přímé monitorování mikrobiálního znečištění

Tzv. real-time metody nevyžadují několikadenní kultivaci mikroorganismů na živných půdách. Principem je obvykle fluorescence živých organismů při průchodu ozařovanou nasávací trubicí vzorkovače. Tyto fluoreskující částice jsou ihned počítány, někdy i tříděny do několika

velikostních skupin. Komerční zařízení: **BioLaz Real-Time Microbial Monitor** (Particle Measuring Systems).

#### Charakterizace aktivního a pasivního odběru vzorků

V obou případech jsou polutanty zachycovány na absorbent nebo na reaktivní povrch a potom je jejich koncentrace určena buď přímo, nebo prostřednictvím laboratorních analýz.

#### Aktivní odběr celkového vzorku vzduchu

Aktivní monitorovací systém používá čerpadlo k čerpání vzduchu do vhodné nádoby, z které je potom analyzován. Jako odběrové nádoby se používají adsorpční trubice (definovaný objem vzduchu je veden přes adsorbční lůžko, analýza adsorbované látky vyžadují desorpci teplem nebo rozpouštědlem a plynovou chromatografií), zásobníky, osobní monitory (badges). Výsledky se získávají buď přímým čtením, nebo dodatečnou laboratorní analýzou. Citlivost odběru vzorků je ovlivněná technikou odběru a postupem analýzy. Jsou testovány velké a dobře definované objemy vzduchu. Aktivní odběr je vhodný pro krátkodobá měření. Příkladem jsou **Draeger trubice** – skleněné trubice naplněné chemickým indikátorem, který změní barvu, když vzorek vzduchu o definovaném objemu (daném ruční pumpou) obsahuje určité látky.

*Pro zjištění velikostní distribuce hmotnostní koncentrace a chemického složení částic lze použít nízkotlaké kaskádní impaktory např. typu Berner, které 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) (Mašková a kol., 2015).*

#### Aktivní vzorkování mikrobiálního znečištění

*U impaktních metod je odběr vzorku prováděn pomocí nasávacího zařízení, v němž je umístěna otevřená Petriho miska s agarovou živnou půdou. Zvolený objem nasávaného vzduchu proudí přes uzávěr s velkým množstvím malých okrouhlých otvorů (v tom případě je miska s živnou půdou obvykle v nehybné poloze pod otvory) nebo s jednou protáhlou štěrbinou (miska pod štěrbinou se během nasávání pomalu otáčí) – tím je dosaženo toho, že pevné částice obsažené ve vzduchu ulpívají rovnoměrně na celém povrchu živné půdy na misce. Po odběru probíhá kultivace a vyhodnocení nárůstu. Výsledek se udává v počtu CFU v 1 m<sup>3</sup> vzduchu.*

*Nevýhodou metody je nutnost odebírat vzorek pouze po krátkou dobu (řádově minuty), protože proudění vzduchu poměrně rychle poškozuje a vysušuje používaná agarová média. Příkladem komerčního zařízení je **MAS 100 (Merck Millipore)**.*

Jiné vzorkovače impaktního typu mají v hlavici připevněnu rotující vrtulku, která částice z nasávaného vzduchu odstředivou silou rozptýluje po obvodu hlavice. Zde je umístěn komerčně vyráběný strip s živnou půdou určenou k záchytu mikroorganismů, např. zařízení **RCS Plus Air Sampler (Merck Millipore)**.

Impingerové metody jsou založeny na proudění vzduchu, který prochází kapalinou (obvykle fyziologický roztok), ve které jsou částice zachytávány. Nejčastěji jsou užívány různé trysky (skleněné, plastové), které jsou v kapalině přímo ponořené, nebo na hladině vytvářejí silný vír, zlepšující účinnost metody. Kapalina se použije dále na očkování na agarové živné půdy nebo se jiným způsobem analyzuje. Výhodou je možnost dlouhodobějšího odběru vzorku (až několik hodin), vzorkovač lze využít i ke stanovení virů, toxinů, pylu apod. Příkladem komerčního zařízení je **Coriolis μ (Bertin Technologies)** – cyklonová technologie, u které je doba odběru jednoho vzorku až 6 hodin.

U filtračních metod je vzduch nasáván přes sterilní filtr, na kterém zůstanou zachyceny pevné částice i s mikroorganismy. Dále se mikroorganismy z filtru vytřepávají do vhodné tekutiny, vyočkují se na agarovou živnou půdu a po kultivaci se vyhodnotí. Některé membránové filtry lze po filtraci položit přímo na agarovou půdu a kultivovat. Vyrostlé kolonie se počítají na povrchu filtru.

#### Užití pasivních vzorkovačů

V pasivním vzorkovacím zařízení vzduch přirozeně difunduje do lapače – jedná se o difuzní odběr vzorků. Objemy testovaného vzduchu jsou malé a hůře definované. Citlivost je limitovaná, závislá na délce expozice. Pasivní odběr je vhodnější pro dlouhodobá měření.

Pasivní vzorkovače, které vyžadují laboratorní analýzy, jsou schopné detekovat specifické polutanty v rozsahu ppb (vyšší cena). Přímo odečitatelné pasivní vzorkovače jsou obvykle levnější, ale jejich detekční limit je vyšší, obvykle v ppm. Jsou využitelné pro předběžné určení, zda má oblast vysokou hladinu polutantů a vyžaduje další monitorování. Tato zařízení obvykle detekují třídy polutantů, např. kyselé plyny, spíše než specifické polutanty.

#### Výběr vhodného pasivního sběrače

##### Detekční limit

Někdy bývá příliš vysoký, nezachytí nízkou koncentraci v ppb, prostředí je v důsledku toho vyhodnoceno chybně jako s negativním obsahem polutantů.

##### Přesnost (reprodukovatelnost)

Vyhodnocení sady vzorkovačů ze stejné lokality by ideálně mělo být totožné. Několikanásobné užití vzorkovače zvýší přesnost při průměrování detekované koncentrace. Výrobce může na základě reprodukovatelnosti pro jednotlivý plyn určit, kolik zařízení by mělo být použito ve sledované oblasti. Reprodukovatelnost je funkcí designu zařízení, analytické metody a u laboratorních analýz i laboratorní shody s analytickou metodou nebo protokolem. Komerčně dostupná zařízení mají dobrou reprodukovatelnost a jedno zařízení na jedno místo stačí. Problémy s reprodukovatelností bývají u nekomerčních pasivních vzorkovačů připravených a analyzovaných v laboratoři.

##### Správnost (těsnost shody mezi výsledkem a přijatou referenční hodnotou)

Výrobce stanovuje správnost porovnáním naměřených výsledků s výsledky primárních metod analýzy.

##### Specifičnost a interference (ovlivnění)

Složení vzduchu, zvláště vnitřního, je komplexní. Obsahuje stovky chemických sloučenin, většina z nich nepoškozuje knihovny a archivní materiály. Když aktivní povrch vzorkovače váže více než jeden plyn, potom není specifický. Mnoho přímo odečitatelných pasivních vzorkovačů je nespecifických a přístupných interferenci s ostatními plyny. Látka na jejich aktivním povrchu je citlivá k jednotlivým třídám sloučenin, produkujícím barevné změny. Tyto změny jsou úměrné celkové koncentraci plynů, ne pouze jednomu sledovanému polutantu. Např. přímo odečitatelná trubice pro acetaldehyd reaguje se všemi aldehydy přítomnými v prostředí. Třebaže pasivní vzorkovač není specifický, pozitivní výsledek přesto poskytuje důležité informace o možném problému, který zdůvodní dodatečné testování s více specifickým zařízením.

## Doba expozice

Protože pasivní vzorkovač zaznamená koncentraci jako průměr závislý na čase, prodloužená doba expozice zvyšuje detekční limit zařízení. Při delším čase má polutant více času reagovat s aktivním povrchem a být zachycen. Při nízkých koncentracích polutantů je nutné expoziční dobu prodloužit. Při prodloužení doby expozice ale může dojít k degradaci chemických sloučenin v aktivní vrstvě i k reakci produktů. Některá zařízení mohou být bezpečně exponována 30 dní, jiná produkují chybné výsledky už po 8 hodinách.

## Světlo, teplota a doba skladování – citlivost

Látky a reakční produkty na aktivním povrchu mohou být citlivé k degradaci světlem, zvláště UV, a k teplotě. Některé látky jsou nestabilní již během stanovené skladovací doby. Tyto citlivosti snižují kapacitu vzorkovačů a výsledkem je chybné čtení koncentrací polutantů (příliš nízké hodnoty). Výrobci často doporučují z těchto skladovat vzorkovače před a po expozici v mrazícím boxu nebo ledničce. Aby se minimalizoval vliv světla během venkovního měření, umístí ují se vzorkovače pod stříšku.

## Pasivní vzorkovače

### Klasifikace

Základní dělení pasivních vzorkovačů je na přímo odečitatelné a laboratorně analyzovatelné. Výsledky z přímo odečitatelných jsou k dispozici většinou po minutách či hodinách. Některé typy pasivních vzorkovačů vyžaduje expozici trvající dny nebo týdny, než je možný odečet. Principem přímo odečitatelných zařízení je barevná reakce polutantu s příslušnou látkou, kde barevný produkt je vodítkem ke stanovení výsledné koncentrace pomocí barevné stupnice. Přednostmi laboratorně analyzovaných pasivních vzorkovačů jsou větší přesnost, reprodukovatelnost a specifita.

Přímo odečitatelné i laboratorně analyzovatelné pasivní vzorkovače mohou být jak kvalitativní (stanoví přítomnost jednotlivých polutantů), tak kvantitativní (určí jejich koncentraci). Podrobné informace o jednotlivých typech uvádí literatura (Grzywacz, 2006)

### Přímo odečitatelné pasivní vzorkovače

#### Kvalitativní přímo odečitatelné pasivní vzorkovače

Tyto vzorkovače mají aktivní povrch, který je obvykle nespecifický, takže reaguje s polutanty v prostředí. Je to praktický způsob, jak monitorovat změny v podmínkách prostředí, zvláště dlouhodobě. Jsou také užitečné jako předběžné zařízení k identifikaci oblasti s vysokými koncentracemi polutantů, které potřebují další monitorování. Příkladem těchto vzorkovačů jsou testovací proužky pokryté barvou, která se mění podle prostředí – např. komerčně dostupné kvalitativní testovací **A-D strips** pro kyselinu octovou a další kyselé látky.

Tzv. **kupony** tvoří většinou běžné kovy, ale i ostatní materiály, které reprezentují kolekci (papír, pergamen). Představují jednoduchý způsob, jak určit korozně agresivní prostředí. Jsou to malé čtverce (např. papíru nebo pergamenu), které mohou být připevněny na pevném, inertním podkladu a umístěny nenápadně do prostředí (výstavní vitrína). Pozorují se změny, které indikují případné škodlivé prostředí (Larsen a Fazlic, 2007). Výsledkem je zakalení povrchu, nebo materiál degraduje ve srovnání s referenčním kuponem (neexponovaný chráněný kupon).

#### Kvantitativní přímo odečitatelné pasivní vzorkovače

Určí množství nebo koncentraci plynu jako vyhodnocení barevné změny na aktivním povrchu, která je úměrná koncentraci polutantů. Barva se porovná s referenční stupnicí.



Kolorimetrické difuzní trubice jsou skleněné trubice naplněné látkou, která reaguje s polutantem a vytváří barevnou změnu podél trubice. Délka barevné změny je úměrná koncentraci polutantu, který je testován v atmosféře. Kalibrační škála je natištěna přímo na každou trubici (ppm/h). Příkladem jsou **Drager Color Diffusion Tubes**, které se využívají pro kyselinu octovou a oxidy síry a dusíku.

**Osobní monitory (badges)** se připínají na oděv, ale mohou být užity i pro muzejní ovzduší. Většinou se jedná o kolorimetrické pasivní vzorkovače.

Testovací proužky jsou podobné jako kvalitativní měřiče, kvantitativní proužky vykáží barevnou změnu, která odpovídá koncentraci sledovaného plynu. Komerčně dostupné jsou **Ozone Test Sticks** na stanovení ozónu.

#### Laboratorně analyzované pasivní vzorkovače

Kvalitativní laboratorně analyzované pasivní vzorkovače

Analýzy korozních produktů na kovových kuponech dávají kvalitativní informace o hlavních třídách přítomných plynů a jejich přibližných koncentracích. Měření tloušťky koroze je vztaženo na dobu expozice a může určit rozsah znečištění.

Jedním z komerčních zařízení jsou **Purafil Corrosion Classification Coupons** na stanovení oxidů síry, dusíku, organických kyselin, sulfanu. Indikační kupóny pro sledování korozní agresivity prostředí obsahují dva kovy – měď a stříbro. Indikační kupóny se používají pro měření kumulativní korozivnosti ovzduší. Indikují přítomnost oxidu síry, ozónu, oxidu dusičitého, chloru a řady dalších korozivních látek. Jsou tvořeny nosnou plastovou destičkou s indikačními pásky z mědi a stříbra. Každá destička je vybavena popisným štítkem pro přesnou identifikaci (datum, umístění kupónu). Na pásku z mědi se nejčastěji tvoří sulfid měďný ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) a oxid měďný ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) a na pásku stříbra vznikají korozní produkty typu sulfidu ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), chloridu stříbrného ( $\text{AgCl}$ ) a oxidu stříbrného ( $\text{Ag}_2\text{O}$ ). Pomocí kupónů se stanoví úroveň reaktivity znečišťujících látek na základě měření tloušťky zkorodované stříbrné a měděné vrstvy kupónů za určitý čas (30 dnů). Tloušťka zkorodované vrstvy je měřena v angströmech. Rozbor koroze se provádí pomocí elektrolytické redukce. Kupóny jsou schopny zaznamenat změny plyných polutantů v úrovni koncentrace 1 ppb.

Kvantitativní laboratorně analyzované pasivní vzorkovače

Těchto zařízení je mnoho druhů, komerčních i vyvinutých na univerzitách a dalších výzkumných pracovištích. Mnoho komerčních zařízení se prodává současně s vyhodnocením. Uživatelé mohou připravit a analyzovat svá vlastní zařízení.

Princip **Open-path (Palmes) difuzních trubic** pochází ze 70. let 20. stol. Základní kryt je 7,1 cm dlouhá trubice z teflonu nebo akrylového plastu. Na každém konci má dva vzduchotěsné uzávěry a aktivní povrch. Protože v trubici není fyzikální difuzní bariéra (difuzní bariérou je statický vzduch v trubici), poměr délky k vnějšímu průměru (obvykle 1 cm) určuje rychlost difuze. Aktivním povrchem je celulózová podložka nebo jemný drátěný kalibrovaný filtr z korozivzdorné oceli nebo pletivo (frita), které je chemicky upraveno pro zachycování specifických polutantů. Uzávěr na jednom konci trubice drží aktivní povrch na místě. Uzávěr na opačné straně trubice je odstraněn, když se začne měřit kvalita vzduchu. Geometrie a průhlednost trubic ovlivňují rychlost vzorkování, rychlost vzduchu a degradaci reakčních produktů. Tento princip používá i SVÚOM pro měření oxidů dusíku.

**Pasivní dozimetry IVL** pro měření oxidu dusičitého, siřičitého, ozónu, amoniaku, kyseliny dusičné, mravenčí a octové, stejně jako **pasivní dozimetry ANALYST (Marbaglass)** pro měření oxidu siřičitého, dusičitého, ozónu, amoniaku a kyseliny dusičné pracují také na principu difuze.

**Osobní monitory (badges)** se geometrií liší 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.

Komerčním zařízením je vzorkovač **Radiello** (adsorpční náplň a difúzní tělo z porézního polyetylénu různé tloušťky, porozity a velikosti pórů) (Radiello, Sigma-Aldrich, 2006).

*Pasivní vzorkovače pro aerosolové částice mohou mít podobu **teflonových filtrů** exponovaných v depozitáři po určité časové období, které nebude kratší než u jeden rok. Vzorky se následně analyzují iontovou chromatografií a elektronovou mikroskopií.*

Pasivní vzorkování mikrobiologického znečištění

Pasivní vzorkování je založeno na sedimentaci vzdušných mikroorganismů na volně otevřenou Petriho misku s agarovou živnou půdou, obvykle po dobu 1 – 4 hodin (dobu však lze upravit podle očekávaného množství mikroorganismů). Po uzavření misky následuje kultivace a vyhodnocení. Výsledky se udávají jako množství vyrostlých kolonií (CFU) vztažené k délce sedimentace. Existují i vzorce k přepočtu na množství CFU v m<sup>3</sup> vzduchu, ale nejsou příliš přesné. I celkově je tato metoda mnohem méně přesná než metody založené na aktivním nasávání vzduchu, ale podává lepší obraz o mikroflóře na sledovaném povrchu. Volba konkrétní metody je tedy závislá i na účelu, pro který se vzorek odebírá.

Dosimetry EWO a MEMORI

Dosimetry tvoří zvláštní skupinu pasivních vzorkovačů. **Dosimetr EWO** (*Early warning system for organic objects*) byl vyvinut v rámci evropského výzkumného úkolu **MASTER – Preventive Conservation Strategies for Protection of Organic Objects in Museums, Historic Building and Archives** (Dahlin, 2006; Lopez-Aparicio, 2010). Jeho pokročilejší variantou je **MEMORI dosimetr**, jeden z výsledků evropského projektu MEMORI (MEMORI, 2015). Vedle senzoru EWO, který sleduje vliv teploty, relativní vlhkosti, znečištění NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, UV záření a světla jako celkové dávky prostředí, obsahuje i senzor GSD, který reaguje na přítomnost kyseliny octové a mravenčí.

Na základě ověřování v reálném prostředí byla vytvořena stupnice 1 až 5, která vyjadřuje kvalitu vnitřního prostředí vzhledem k organickým materiálům. Doba expozice jsou 3 měsíce.

## Literatura

- Andělová, L., Braniš, M. Monitoring of aerosol (PM10 and Black Smoke) in a small rural settlement – the effect of local heating on air quality. *Acta Universitatis Carolinae - Environmentalica* 2012, 24(1-2), 19-26.
- Braniš, M., Kolomazníková, J. Year-long continuous personal exposure to PM2.5 recorded by a fast responding portable nephelometer. *Atmospheric Environment* 2010, 44(24), 2865-2872.
- Dahlin, E. Development of an Early Warning Dosimeter for Organic Museum Objects. 2006. NILU. Online: [http://iaq.dk/iap/iaq2006/Dahlin\\_IAQ2006.pdf](http://iaq.dk/iap/iaq2006/Dahlin_IAQ2006.pdf)
- Görner, P. Bemer, D., Fabriés J.F. Photometer measurements of polydisperse aerosols. *Journal of Aerosol Science* 1995, 8, 1281-1302.
- Grzywacz, C.M. Monitoring for gaseous pollutants. Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2006.
- ISO 12103-1:1997 Road vehicles -- Test dust for filter evaluation -- Part 1: Arizona test dust. International Organization for Standardization.

Larsen, R., Fazlic, N. A model for an early warning system based on parchment sensors, IDAP Research Report No. 18. 2007.

López-Aparicio, S. Air Quality Assessment in Cultural Heritage Locations by Dosimetry. NILU. Online [http://iaq.dk/iap/iaq2010/iaq2010\\_lopez-aparicio.pdf](http://iaq.dk/iap/iaq2010/iaq2010_lopez-aparicio.pdf)

MEMORI, EU-Research Project web page. 2015. Online: [www.memori-project.eu](http://www.memori-project.eu)

Mašková, L., Smolík, J., Vodička, P. Characterisation of Particulate Matter in Different Types of Archives. Atmos. Environ. 2015, 107, 217-224.

Ondráček, J., Mašková, L., Smolík, J.. Basamatikum - Combined Wide Size Range Aerosol Spectrometer, Proceedings of 14th Annual Conference of the Czech Aerosol Society, 2013.

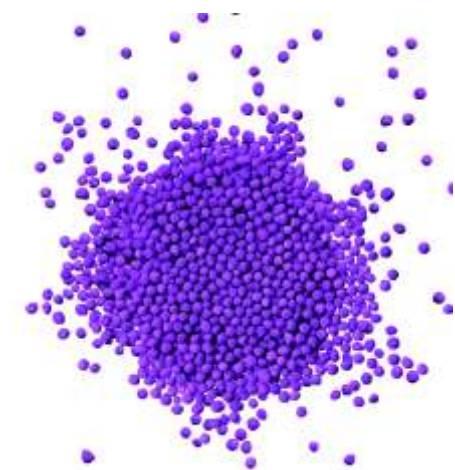
Radiello, Diffusive Sampling System. 2006. Online: [sigma-aldrich.com/supelco](http://sigma-aldrich.com/supelco).

## **Příloha 4: Filtry plynného znečištění a mobilní čističky vzduchu Purafil® a IQAir®**

**Společnost Purafil® Inc.** (2654 Weaver Way Doraville, GA 30340 U.S.A.) kromě systému monitorování plynného znečištění pomocí Ag/Cu Corrosion Classification Coupons a přístroje pro kontinuální sledování znečištění OnGuard3000 dodává také různé druhy filtračních látek pro odstranění plynného znečištění ze vzduchu. V následujícím přehledu jsou uvedeny některé filtry využitelné pro prostředí archivů, knihoven a muzeí.

### **Purafil Select Chemisorbant**

Filtrační materiál Purafil Select Chemisorbant odstraňuje ze vzduchu sulfan, oxid siřičitý, oxid dusičitý a formaldehyd. Je tvořen kulovitými, pórovitými granulemi. Granule jsou vyrobeny z oxidu hlinitého a pojiva impregnovaného manganistanem draselným, který oxiduje plynné polutanty a trvale je tak odstraňuje z prostředí.



Obr. 1: Granule Purafil Select Chemisorbant

Purafil Select Chemisorbant odstraní z prostředí minimálně 14,0% hm. sulfanu (100 kg Select Chemisorbantu odstraní minimálně 8 kg sulfanu), 7,0% hm. oxidu siřičitého, 4,9% hm. oxidu dusičitého, 1,4% hm. formaldehydu, přičemž účinnost je až 99,5%. Z dalších vlastností výrobce uvádí obsah vlhkosti: max. 35%, odolnost proti rozdrčení: 35–70%, abrazivzdornost: max. 4,5%, sypaná hustota: 800 kg/m<sup>3</sup>, jmenovitý průměr granulí: 3,175 mm a obsah manganistanu draselného: min. 4,0%.

### **Purakol a Purakol AM**

Purakol odstraňuje ze vzduchu uhlovodíky, chlor, oxid dusičitý, některé těkavé organické sloučeniny (min. 20,0% hm. toluenu, min. 6,6% hm. oxidu dusičitého, min. 10,0% hm. chloru nebo 20% hm. trichloreтанu). Purakol AM je určen speciálně pro odstraňování amoniaku z prostředí (minimálně 7,0% hm., tzn. 100 kg Purakolu AM odstraní minimálně 7 kg amoniaku). Granulát je impregnován kyselou látkou, která zvyšuje filtrační účinnost na 99,5%.



Obr. 2: Granule Purakol AM

### **Chlorosorb II**

Chlorosorb II odstraňuje ze vzduchu velmi účinně chlor (minimálně 10% hm., 100 kg Chlorosorb II odstraní 10 kg chloru). Chlorosorb obsahuje pórovité granule, kulovitého tvaru. Granule jsou tvořeny kombinací prášku oxidu hlinitého, aktivního uhlí a pojiv. Filtrační účinnost je 99,5%.

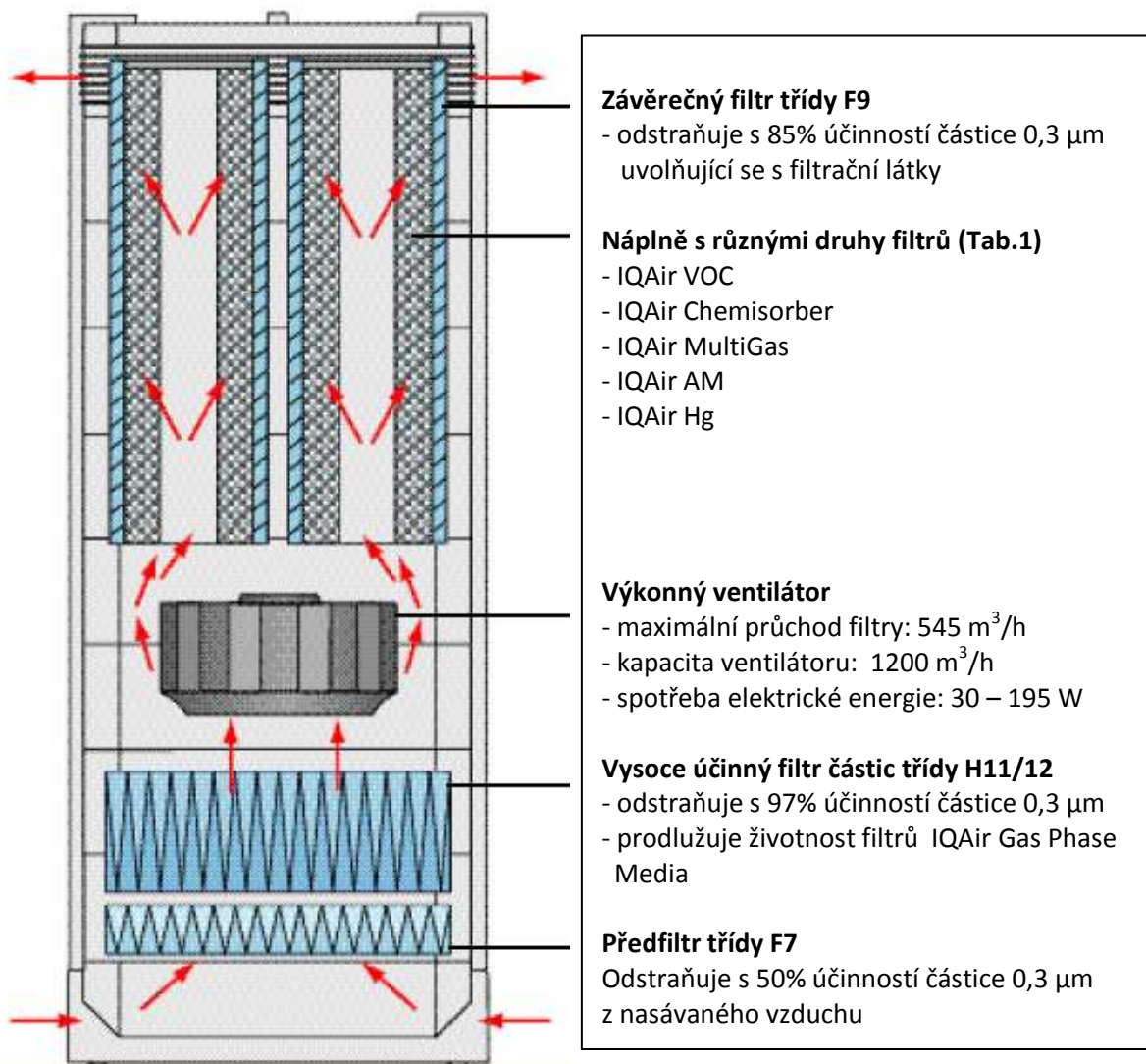


Obr. 3: Granule Chlorosorb II

**Společnost IQAir®** (IQAir North America, 14351 Firestone Blvd, La Mirada, CA 90638, U.S.A.) vyrábí a dodává filtry IQAir® Gas Phase Media pro různé typy plynných polutantů (viz tabulka 1) a také mobilní čističky vzduch IQAir® GCX a IQAir® GCX Series, do kterých lze tyto filtry umístit (obr. 4).

Tab. 1: Filtry IQAir® Gas Phase Media a jejich účinnost pro odstraňování různých druhů plynných polutantů a částic

IQAir® Media Selection Chart for Airborne Contaminant Control						
Gaseous Contaminants & Particulate Pollutants	Formula / Abbreviation	IQAir® HyperHEPA® Filter	IQAir® Gas Phase Media			
			VOC	MultiGas®	Chemisorber	AM
● = recommended as first choice for the respective gaseous contaminant ● = alternative choice for the respective gaseous contaminant ● = recommended choice for the control of the respective particulate pollutant						
<b>A</b>						
Acetaldehyde	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O			●	●	
Acetic acid	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>			●	●	
Acetone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O			●	●	
Acetonitrile	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> N		●	●		
Acid gases					●	
Acrylaldehyde (Acrolein)	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O			●	●	
Acrylic acid	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>			●	●	
Acrylonitrile	C <sub>3</sub> H <sub>3.5</sub> N		●	●		
Alcohols			●	●		
Aldehydes				●	●	
Alkanes			●	●		
Alkenes			●	●		
Amines			●	●		
Ammonia	NH <sub>3</sub>				●	
Aniline	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N		●	●		
Anorganic acids			●	●		
Aromatics			●	●		
Arsenic hydride (Arsine)	AsH <sub>3</sub>			●	●	
Aspergillus spp.		●				
Asbestos		●				
<b>B</b>						
Bacteria		●				
Benzene	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>		●	●		
Black carbon	BC	●				
Bromine	Br <sub>2</sub>		●	●		
BTX (Benzene, Toluene, Xylene)			●	●		
Butane	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>		●	●		
Butanol (Butyl alcohol)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O		●	●		
Butanone	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O		●	●		
Butyl acetate	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>		●	●		
Butyl acrylate	C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>		●	●		
<b>C</b>						
Caproic acid	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>		●	●		
Caprylic acid	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>		●	●		
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>		cannot be effectively controlled			●
Carbon disulphide	CS <sub>2</sub>		●	●		
Carbon monoxide	CO		cannot be effectively controlled			
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>		●	●		
Chlorine	Cl <sub>2</sub>		●	●		
Chloroform (Trichloromethane)	CHCl <sub>3</sub>		●	●		
Chloroprene	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl		●	●		
Cresol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O		●	●		
Cyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>		●	●		
Cyclohexanol	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O		●	●		
Cyclohexanone	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O		●	●		
<b>D</b>						
Dichloromethane	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>		●	●		
Diesel soot		●				
Diesel vapours			●	●		
Dimethylamine	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> N		●	●		
Dimethylformamide (DMF)	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO		●	●		
Dioxane	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O		●	●		
Dust		●				
Dust mite allergens		●				
<b>E</b>						
Epichlorohydrin	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ClO		●	●		
Esters			●	●		
Ethanol (Ethyl alcohol)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O		●	●		
Ethers			●	●		
Ethyl acetate	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>		●	●		
Ethyl formate	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>		●	●		
Ethylbenzene	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>		●	●		
Ethylene	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>		●	●		
Ethylene oxide	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O		●	●		
<b>F</b>						
Formaldehyde	CH <sub>2</sub> O			●	●	
Formic acid	CH <sub>2</sub> O <sub>2</sub>			●	●	
Fungal spores		●				
<b>H</b>						
Halogens			●	●		
Halomethanes			●	●		
Hexachlorocyclohexane	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub>		●	●		
Hexane	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>		●	●		
Hydrazine	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>			●	●	
Hydrocarbons, general			●	●		
Hydrochloride	HCl		●	●		
Hydrogen bromide	HBr		●	●		
Hydrogen chloride	HCl		●	●		
Hydrogen cyanide	HCN			●	●	
Hydrogen fluoride	HF			●	●	
Hydrogen sulphide	H <sub>2</sub> S			●	●	
<b>I</b>						
Isocyanate (Diisocyanates)			●	●		
<b>K</b>						
Ketones			●	●		



Obr. 4: Schema mobilní čističky vzduchu IQAir® GCX Series

## **Příloha 5: Potvrzení o ověření v praxi**