

Ochrana písemných památek před polutanty v uzavřených obalech

Ing. Magda Součková

Lidstvo vytvořilo během své existence obrovské množství předmětů značné umělecké a vypovídací hodnoty, které si zasluhuje uchování pro budoucí generace. Důležitou součástí kulturního dědictví jsou knihy a dokumenty shromažďované a uchovávané v knihovnách, archivech a muzeích. Převládajícím materiálem knihovních fondů je papír provázený kůží, pergamenem, textilem a dalšími. Tyto materiály se vyznačují přirozeným postupným stárnutím, které může být značně urychleno polutanty – nečistotami vyskytujícími se v ovzduší a pocházejícími z přírodních nebo člověkem vytvořených zdrojů. Jsou to reaktivní chemické sloučeniny v plynném či kapalném stavu i pevné částice.

Polutanty

Polutanty jsou vytvářeny jak vnějšími, tak vnitřními zdroji. Obecně bývají spojeny se zdroji mimo budovy: SO₂, COS (karbonylsulfát), NO₂ a ozon. Jejich zdroje mohou být přírodní nebo vytvořené člověkem. Další polutanty jako kyseliny, formaldehyd a výpary rozpouštědel jsou typicky tvořeny v interiérech a mohou dosahovat vysoké koncentrace v uzavřených prostorách. Některé, jako H₂S mají zdroje jak uvnitř, tak vně budov.

Je velmi těžké zjistit nejnižší koncentraci polutantů, při které ještě může nastat poškození materiálů, hlavně kvůli častému synergickému efektu polutantů, RH a variabilitě materiálů v kolekcích. RH ovlivňuje rychlost a koncentraci, při které se těkavé látky uvolňují z materiálů stavby. Materiály budovy jako sádkartón nebo textil mohou absorbovat nebo adsorbovat polutanty. Tento proces může být nevratný a stálý nebo jen dočasný, podléhající změnám RH, teploty nebo přítomnosti přídavných polutantů. Proto jsou občas uvnitř budov nízké koncentrace polutantů. Stavební materiály, které váží polutanty, mohou být opět jejich možnými zdroji, stejně mohou působit i umělecké předměty.

Skladba polutantů – vnější a vnitřní zdroje – závisí na materiálech budovy a na větracím systému. Většina materiálů, které se nacházejí uvnitř – dřevo, plasty, konstrukce, lepidla, laky, vosky, čisticí prostředky, koberce a podlahové krytiny, tapety a vybavení – vyzařuje těkavé látky. Některé polutanty jsou vytvářeny činností v budově: fotokopírování, tisk a elektrické přístroje produkují ozon. Topné a klimatizační jednotky produkují polutanty, čisticí procesy přinášejí do ovzduší těkavé látky.

Polutanty ve vnějším prostředí jsou tvořeny přírodními zdroji, dále průmyslem a dopravou: zahrnují peroxyacetylnitrat, oxid siřičitý, dusičitý, sirouhlik, hydrogensířany a ozon. Polutanty tvořené ve vnitřním prostředí zahrnují ozon, formaldehyd a další aldehydy, kyselinu mravenčí, dusičnou, octovou, sloučeniny čpavku a chlorované uhlovodíky. Tyto vznikají z materiálů, které obsahují sloučeniny síry spolu s kyselinou dusičnou a kyselinou octovou.

Podle studie US Environmental Protection Agency může být hladina těkavých polutantů ve vnitřním prostředí i 10krát vyšší než ve vnějším. Zdroji jednotlivých polutantů v muzeích a typy poškození jednotlivých sbírkových materiálů se podrobně zabývá publikace „Polutants in the Museum Environment“.

Poškození celulosových materiálů

Celulosové materiály (papír, textil) bývají poškozovány jak kyselou hydrolyzou, tak oxidací. Kyselá hydrolyza je podporována polutanty v ovzduší, zvláště oxidy síry a dusíku.

Reakce SO₂ jsou katalyzovány přítomností určitých kovových iontů v papíru. Přítomnost ligninu v málo kvalitních papírech určuje jejich větší afinitu pro kyselé polutanty. Tento a další vlastní nedostatky včetně nečistot pocházejících z výrobního procesu zvyšuje pravděpodobnost, že dojde k degradaci materiálu.

Celulosové materiály mohou být vystaveny účinkům kyseliny octové po delší dobu, když jsou uloženy v krabici vyrobené za užití určitého typu lepidla, jako je emulze polyvinylacetátu. Kyselina octová způsobuje hydrolyzu a depolymerizaci celulosy, výsledné poškození se

urychluje dlouhodobým působením. Degradace materiálů pokračuje, i když jsou odstraněny z kyselého prostředí.

Byl studován vliv SO_2 a NO_2 na okyselení novinového a bílého velínového papíru. Podle jedné studie papír absorboval SO_2 ve formě síranů a o něco méně NO_2 ve formě dusitanů a dusičnanů. Dlouho se uvádělo, že odkyselení papíru je prospěšné pro jeho dlouhodobou ochranu. V jedné studii ale odkyselené papíry absorbovaly více SO_2 než neošetřené a noviny absorbovaly větší množství SO_2 než velínový papír.

V jiné studii bylo zjištěno, že přítomnost CaCO_3 jako pufrujícího materiálu v papíru zvyšuje obsah SO_2 ukládaného do papíru. Odkyselení a vkládání papírů s alkalickou rezervou je však považováno za prospěšné

Na konci 20.století instituce zodpovědné za uchovávání památek na papíru zjistily hlavně u papírů vyrobených po roce 1850 extrémní nevratná poškození, z nichž nejzávažnější je vysoká kyselost a s tím spojená křehkost papíru, která znemožňuje manipulaci s papírem bez jeho poškození. Byly vyvinuty různé postupy hromadného odkyselování (Ďurovič M. a kol.: Hromadné odkyselování papírových archiválií, závěrečná zpráva,1998)

Zároveň se začal klást velký důraz na preventivní péči o památky. I z ekonomických důvodů je výhodnější poškození materiálu předcházet, než jej napravit. Proto je celosvětově velká pozornost věnována podmínkám skladování památek, jejich vystavování a způsobu používání čtenáři a personálem institucí.

Ochrana památek v uzavřeném prostředí

Skladování písemných památek v krabicích patří mezi tradiční způsoby jejich uchovávání. V druhé polovině 20.století se na výrobu krabic začaly používat materiály obsahující alkalickou rezervu, která měla omezit průchod polutantů stěnou do krabice a jejich přístup k dokumentům. Ch. Guttman však zjistil, že alkalická rezerva v papíru a lepence nezabraňuje průchodu SO_2 . Jsou tedy hledány způsoby, jak zachytit všechny typy látek přicházejících z okolí krabice dovnitř k písemnostem, které by mohly zrychlit degradaci chráněného materiálu. Zároveň je žádoucí zachytit a neutralizovat i škodlivé látky, které se tvoří při stárnutí papíru a organických látek uvnitř krabice.

Adsorbenty a čističi („scavengers“)

Pro odstranění nečistot z plynů nebo kapalin se běžně užívají adsorbenty. Jsou široce rozšířeny ve filtrech vzduchu a stále více se s nimi počítá pro užití v uzavřených prostorech, kde jsou uložena umělecká díla. Pro rychle pracující vysokokapacitní adsorbenty se používá výraz „scavengers“. Adsorbent odstraní jednu látku od druhé adicí látky na povrch adsorbentu, spíše fyzikálně než chemicky (na rozdíl od absorce v celé hloubce materiálu, která vyžaduje chemickou nebo fyzikální reakci). Adsorbenty zahrnují aktivní uhlí, křemičitan hořečnatý, oxid hlinitý, sloučeniny zinku a silikagel. Adsorbenty jako zeolity jsou nazývány molekulární síta. Jsou užívány v průmyslu k dělení chemikálií o různé molekulové hmotnosti.

Stavební látky jsou jednak zdroji polutantů, jednak samy mohou adsorbovat látky z ovzduší., např. kobercovina má dobrou adsorpční kapacitu a přírodní vlákna jako vlna nebo bavlna mají větší adsorpční kapacitu než vlákna syntetická.

Velká plocha povrchu sorbentu (nebo adsorbentu) jako je aktivní uhlí přitahuje molekuly adsorbované látky (polutantu). Adsorpce závisí na povrchové přitažlivosti, v které se tvoří fyzikální vazby, které se opírají primárně o van der Waalovy síly. Tato slabá přitažlivost mezi atomy nebo molekulami tvoří interakce dipol-dipol, dipol-indukovaný dipol a disperzní síly. Tento typ vazby, zvaný fyzikální adsorpce, může být rozbit změnou teploty, tlaku nebo změnou koncentrací nečistot přítomných v okolí. Polutanty zachycené touto metodou mohou být znovu vyzářeny.

Chemisorpce popisuje proces, v kterém molekulární sloučenina (polutant) podstupuje chemickou reakci a permanentně se mění. Chemická adsorpce sloučenin způsobuje, že se

nevratně mění chemickou reakcí. Aktivní uhlí samo nepodléhá chemisorpci po vystavení polutantům, ale katalyzátory nebo reaktivní chemikálie mohou být rozptýleny v substrátu aktivního uhlí a tím se zvýší schopnost zachycování. Adsorbenty tohoto typu jsou často navrhovány pro zachycování specifických polutantů. Fyzikální adsorpční kapacita aktivního uhlí takto užívaná je poněkud snižena kvůli menšímu povrchu (asi o 25%), ale kombinovaný efekt fyzikální adsorpce a chemisorpce je pro určité polutanty účinný.

Adsorbenty se mohou polutanty nasytit a potom, jako v případě uhlí, je mohou znovu emitovat. Rozpouštědla a teplo jsou schopny odstranit polutanty ze sorbentů. V praxi nejsou rozpouštědla běžně užívána, ale je důležité vědět, že rozpouštědlo, které má větší afinitu k rozpouštědлу již adsorbovanému na uhlíku, může toto rozpouštědlo nahradit a uvolnit ho do atmosféry. Termální desorpce je často užívaná k regeneraci uhlíkových sorbentů. Polutanty adsorbované na povrchu uhlíku se uvolní, když teplota stoupne. Některé materiály jsou na uhlík pevněji adsorbovány než jiné a proto méně snadněji desorbují. Také polutanty s větší afinitou pro uhlík vytlačí látku s menší afinitou, která již obsadila adsorpční místa. Aktivované dřevěné uhlí má nejvyšší polaritu ze všech sorbentů uhlíku a je nejméně ovlivněn teplotní desorpčí. Sloučeniny považované za nereaktivní s uhlím obsahují alifatické a aromatické uhlovodíky, chloroalifaty a chloroaromaty – všechny relativně slabě držené aktivovaným dřevěným uhlím. Některé organické monomery a ketony jsou považovány za mírně reaktivní s uhlíkem. Vysoce reaktivní sloučeniny jako nízkomolekulární aldehydy, aminy a diisokyanaty jsou tak dobře vázány k aktivnímu dřevěnému uhlí, že mohou být desorbovány s velkými obtížemi.

Schopnost adsorpce závisí na přístupnosti povrchu adsorbentu, a adsorbenty jsou často porézní. Porézní struktury se mohou vyvíjet buď hromaděním částic nebo eliminací částí původního materiálu.

Parmar a Grosjean studovali účinnost sorbentů pro odstraňování polutantů běžných v muzeích: zjistili, že aktivní uhlí mělo největší afinitu pro polutanty v aktivním i pasivním režimu. Jako polutanty byly testovány oxid siřičitý, dusíku, ozon, formaldehyd a hydrosíran.

Efektivnost sorbce se snižovala s časem. Např. silikagel odstranil 100% NO₂, ale za 24 hodin se jeho kapacita snížila na 0%. Podobně jeho kapacita při odstranění SO₂ klesla ze 100% v prvních 40 minutách testu na 36% po uplynutí 1 hodiny. Takže ačkoliv silikagel zpočátku odstraňuje polutanty, nemá dlouhodobý účinek. Purafil nebyl příliš účinný při odstraňování ozonu.

Aktivní uhlí účinně adsorbuje všechny testované polutanty a použité v pasivním režimu by mohlo dát přiměřenou ochranu, za předpokladu, že je užito pouze uhlí a je měněno jednou do roka.

V pasivním systému je adsorbent umístěn na dně uzavřeného systému, zatímco aktivní systém vyžaduje, aby proud vzduchu tekla přes adsorbent (např. účinkem malého větráku). Výsledky studie ukázaly, že aktivní uhlí bylo nejúčinnějším adsorbentem, když se užívalo v obou systémech.

Účinnost adsorbce závisí na specifických podmínkách a na náhodné tendenci polutantů reagovat s přítomným povrchem (tj. sám vnitřek vitríny) a na přístupnějších površích (bohužel často umělecké předměty).

Uhlí je účinné v pasivním modu díky extrémně velkému povrchu, nejméně 1000m³/g. Studie užití uhlí v pasivním modu ukázaly, že odstranil polutanty jednu řádovou hodnotu rychleji než by byly adsorbovány materiály vitrín a že byly odstraněny rychleji ve směsích než jako individuální polutanty. To je připisováno interakcím polutantů mezi sebou v plynné fázi a na povrchu sorbentu.

Aktivní uhlí může po nějaké době působit jako sekundární vyzařovač, zvláště při zvýšené teplotě, změnách RH nebo při přítomnosti těkavých látek, pro které má uhlík velkou afinitu.

Alkalická rezerva

CaCO₃ se užívá jako pufr pro papír k dosažení redukce kyselé hydrolyzy celulosy, ale jeho účinnost jako čističe není pevně stanovena.

Aktivní uhlí

Aktivní uhlí se vyrábí ze surových uhlíkatých materiálů tepelnou nebo chemickou cestou. Odstraní se těkavé a neuhlíkové složky a také část původního uhlíku tak, že vznikne extrémně velké plocha povrchu. Aktivní uhlí je inertní, porézní hmota, která více než z 75% sestává z dutin. Tyto dutiny mají šířku 1-5 molekulárních průměrů a jejich povrch poskytuje místo pro adsorpci. Tzv. transportní póry přenášejí molekuly kapaliny či plynu difuzí na jejich adsorpční místa. Molekuly jsou v aktivním uhlí poutány fyzikální adsorpcí. Stupeň adsorpce aktivním uhlím závisí na jeho molekulárním rozměru a váze, které jsou určeny kritickou teplotou a bodem varu. Plyny s nízkým bodem varu jako etylen, formaldehyd, čpavek, hydrogenchlorid a hydrogensíran jsou průměrně dobře adsorbovány aktivním uhlím. Páry s vyšším bodem varu jako aldehydy, ketony, alkoholy, těkavé kyseliny, etery, estery sloučenin síry a dusíku a alkylbenzeny jsou extrémně dobře absorbovatelné. Každý typ aktivního uhlí adsorbuje plyny a páry v různém stupni, v závislosti na ploše povrchu, objemu pórů, vlastnostech par plynu a okolních podmínkách. Některé výzkumy uvádějí, že hladiny relativní vlhkosti nad 50% významně snižují adsorpční kapacitu, zatímco jiné tvrdí, že vliv vlhkosti není významný.

Aktivní uhlí se vyskytuje ve formě prášku, granulí, kuliček nebo tkanin a užívá se průmyslově k čištění vody a vzduchu. Může adsorbovat mnoho organických a některé anorganické látky klasifikované jako polutanty. Povrch aktivního uhlí je nepolární s vysokou afinitou pro organické materiály a relativně nízkou afinitou pro vodu a další polární látky. Jedna čajová lžička aktivního uhlí má plochu povrchu ekvivalentní ploše fotbalového hřiště.

V aktivních systémech uhlí prokázalo účinnost odstranění 90% pro NO₂ a 95% pro SO₂. Uhlí je částečně účinné pro kontaminanty s molekulovou vahou větší než 80. Kvůli nízké molekulové hmotnosti je méně účinné pro adsorpci etylenu, formaldehydu, čpavku, hydrogenchloridu a hydrogensíranu.

Některé výrobky založené na uhlíku jsou impregnovány hydroxidem sodným nebo draselným za účelem zlepšení jejich schopnosti odstranit polutanty. V těchto případech reakce nejsou vratné, protože reakcí polutantů s žíravými materiály vznikají nové produkty. Tyto materiály odstraňují oxid siřičitý, dusičitý, hydrogensíran, kyselinu chlorovodíkovou a octovou. Vnesení 2% KJ do uhlí údajně urychluje odstranění hydrogensíranu ze vzduchu. V některých aplikacích se užívá oxid železa, ačkoliv tato reakce vede k tvorbě kyseliny sírové.

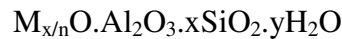
Nové typy vláken z aktivního uhlí mají potenciál k odstranění širšího záběru polutantů (čpavek). Jsou to nanoporézní složité vláknité útvary, tkaniny ze skleněných vláken pokryté fenolickými pryskyřicemi, které jsou aktivované a karbonizované při 800-1000 °C v páře a CO₂. Některé jsou tkané, ale vyšší zátěž je možná u netkaných textilií, papíru či plsti, které pojmu aktivní materiál v množství 70-80%. Vlákna jsou modifikována přísadami kontrolovaného množství dusíku, kyslíku nebo chloru. Tato vlákna údajně adsorbují 10x více chlorovodíku než granulované aktivní uhlí, 30x více čpavku a 5x více oxidu siřičitého. Také adsorbují polutanty 5x rychleji než granulované uhlí, což je velmi zajímavé z hlediska ochrany vysoce reaktivních povrchů jako je stříbro v uzavřených obalech.

Molekulární síta a zeolity

Molekulární síta jsou mikroporézní krystalické látky, které mají velký povrch schopný adsorbovat molekuly. Patří sem jednak krystalické aluminofosfáty, užívané primárně jako

katalyzátory, jednak tzv. zeolity. Zeolity jsou aluminosilikáty se skeletární strukturou, obsahující otvory obsazené velkými ionty a molekulami vody, které mají značnou volnost pohybu. To vede k možnostem iontové výměny a reverzibilní dehydratace.

Obecný vzorec zeolitů je



kde M jsou monovalentní (Na, K, Li) a/nebo bivalentní (Ca, Mg, Ba atd.) kationy

n je náboj kationů

$1 < y/x < 6$

$1 < p/x < 4$.

Zeolity mají velký povrch, až několik stovek čtverečných metrů na gram. Některé jsou schopné adsorbovat více než 30% své sušiny v iontech a molekulách. Tyto molekuly mohou být desorbovány při snížení tlaku, zvýšení teploty a/nebo vytlačení jinými adsorbenty, ale ne za normálních okolních podmínek. Přírodní zeolity jsou široce užívány při odstraňování SO₂ a dalších plynů z potrubí v elektrárnách na olej a uhlí.

MicroChamber

Technologie MicroChamber spojuje alkalické pufrы, zeolitové molekulární pasti a/nebo aktivní uhlí do různých papírových výrobků. Vnější vrstva se skládá z alkalicky pufrovaného papíru bez sulfátů a ligninu. Vnitřní vrstva obsahuje aktivní uhlík s alkalickými pufrы (uhličitan vápenatý) a zeolity speciálně vyvinuté k vázání kyselých plynů (SPZ). MicroChamber papers obsahují 20% zeolitů na váhu a jsou typicky užívány k uchování děl na papíře. Mohou být užity i jako adsorbenty polutantů ve skladovacích a výstavních prostorách. Alphamat Artcare spojuje alkalické pufrы a zeolitová MS v alfacelulosa bezligninové papírové produkty. Byly provedeny testy porovnávající účinnost zeolitů v MicroChamber – materiál má vysokou účinnost při lapání kyseliny octové a dalších kyselých plynů jako SO₂ a oxidy dusíku. Jeho adsorpční kapacita pro SO₂ je nejméně 0,145g SO₂/g zeolitu. Kapacita pro NO₂ činí 0,4g NO₂/g zeolitu. Tento zeolit odstraňuje i prekurzory kyselin, jako acetaldehydy, které se snaží migrovat přímo skrz pufrovaný papír.

Bylo provedeno umělé stárnutí nového papíru a papíru starého 30 let uskladněného v MicroChamber obálkách. Byl zjištěn spolusoučinný poměr mezi uhlím a alkalickými pufrы, když byly užity společně v obálkách, na rozdíl od toho, když uhlí a alkalické pufrы byly užity samy, což více než zdvojnásobilo odolnost v dvojohýbání stárnutých papírů uskladněných v MicroChamber na rozdíl od tradičních pufrovaných obálek.

Zeolity mají větší afinitu pro čpavek než uhlí a váží ho bezpečněji než uhlí. Zeolity nebo MCh zeolity zachycují podobný rozsah polutantů jako uhlí, ale drží sloučeninu údajně bezpečněji, protože architektura struktury je tvarována k hromadění molekul, které jsou chemicky absorbované při tvorbě kovalentních vazeb okolo 40 kcal/mole, Naopak uhlí váže polutanty jen slabě okolo 1-3kcal/mole.

MCh zeolit má neutrální pH, je nereaktivní, odolný ke kyselinám a nedegraduje tedy při vystavení kyselým podmínkám. Také na rozdíl od mnoha jiných zeolitů je hydrofobní a nenaplní se vodou. MCh tedy zřejmě neodstraňují atmosferickou vlhkost uzavřených prostor jako ostatní zeolity.

Emulzní barva spojuje koloidní suspenzi 35% aktivního uhlí a uhličitanu vápenatého s akrylovým pojivem. Tato barva je určena na stěny, výstavní vitriny, skladovací jednotky apod. k lapání polutantů Ačkoliv firmou byly zveřejněny pozitivní výsledky, otázkou zůstává vliv pojiva a jeho vliv na účinnost uhlí.

Byly provedeny porovnávací testy zeolitů, uhlí a pufrů při užití Drager tubes: uhlí a zeolit v MCh výrobcích efektivně odstranily SO₂, oxidy dusíku a kyselinu octovou z proudu vzduchu. Zeolit SPZ také odstranil čpavek, CS₂ a formaldehyd, ale uhličitan vápenatý se neukázal velmi účinný při odstraňování těchto kyselých plynů z uzavřených prostorů.

Nejnovější poznatky o materiálech s aktivní ochranou proti polutantům byly získány na 14th ICOM Triennial Meeting The Hague 2005 z posteru „New Conservation Paper for Active Protection Against Pollution“ a z informace jednoho z autorů posteru J.Barthese z CRCDG v Paříži. Byly testovány papíry obohacené aktivním uhlím, zeolity, uhličitánem vápenatým a oxidem hořečnatým. Byl testován vliv plniva na ochranu papíru během umělého stárnutí (76 °C, 55%RH, 72 hodin). Byla sledována změna bělosti při 457 nm a počet dvojohybů. Jako nejvhodnější se pro uchování bělosti papíru ukázaly zeolity, pro uchování počtu dvojohybů aktivní uhlí a oxid hořečnatý. Dále byla sledována sorpční kapacita papírů obsahujících aktivní uhlí, zeolity, uhličitán vápenatý a oxid hořečnatý pro výpary kyseliny octové. Nejvyšší sorpční kapacitu v tomto případě prokázaly papíry se zeolity a oxidem hořečnatým. Byla testována i schopnost materiálů obsahujících aktivní uhlí chránit proti plynným polutantům

(oxid siřičitý a dusičitý): Paper MicroChamber a papíry obsahující ACF. Všechny materiály ACF poskytly větší ochranu před polutanty než permanentní papír Canson. Nevýhodou těchto materiálů je, že jsou drahé a snadno se lámou. Ve výzkumu se dále pokračuje.

Literatura

EPAn.d. Indole Air Pollution. An Introduction for Health Professional. Office of Air and Radiation. Washington,DC EPA

Hatchfield P.B.: Pollutants in the Museum Environment, Archetype Publications Ltd,2002,ISBN 1-873132-96-4

Guttman C.M., Jewett K.L.: Protection of archival material from pollutants:diffusion of sulfur dioxide through boxboard, Journal of the American Institute for Conservation 32 (1993)81-92

Parmar S.S., Grosjean D.: Sorbent removal of air pollutants from museum and display CASE,1991,Environmental International 17,39-50

Daniel F.,Demarque A., Flieder F.Effet de l'encapsulation sous vide du papier par la méthode "Archipress".(Effect of vacuum encapsulation on paper by means of the "Archipress" system.) 12th triennial meeting, Lyon, 29 August-3 September 1999: preprints (ICOM Committee for Conservation). Bridgland, Janet (Editor). James & James (Science Publishers) Ltd. (1999), pp. 495-500, [French w. French summary]. 9 figs., 8 refs., 2 notes. [ISBN 1-873936-92-3].

Daniel F., Fliede F., Demarque A. La Conservation des Documents Encapsulés Sous Vide. Nouvelles de l'Ársag 14, 1998

Barthez J., Lafon J., Dupont A.-L., Lavédrine B. : New Conservation Paper for Active Protection Against Pollution, 14th ICOM Triennial Meeting The Hague 2005

Daniel, F., et al. 1999. Étude de l'Efficacité d'un Nouveau Produit d'Archivage: le MicroChamber. In *Les Documents Graphiques et Photographiques: Analyse et Conservation. Travaux du CRCDG, 1994–1998*. Paris: Direction des Archives de France, 25-50.