

Web 2.0 – ustálené označení pro etapu vývoje webu, v níž byl pevný obsah webových stránek nahrazen prostorem pro sdílení a společnou tvorbu obsahu. Tento moment hraje rozhodující roli při interaktivním zapojení návštěvníka např. do virtuální výstavy.

3D objekt – předmět prezentovaný ve třech dimenzích – šířka, délka a hloubka.

DOPORUČENÁ LITERATURA

- BARRETT, E. *Sociomedia. Multimedia, Hypermedia and the Social Construction of Knowledge*. Cambridge, 1992.
- CAMRON, F. – KENDERLINE, S. *Theorizing Digital Cultural Heritage. A Critical Discourse*. Cambridge, 2007.
- JONES-GARMIL, K. (ed.). *The Wires museum. Emerging Technology and changing paradigm*. Washington, 1997.
- KEENE, S. *Digital Collections : Museum and the Information Age*. Oxford, 1998.
- KESNER, L. *Marketing a management muzeí a památek*. Praha, 2005.
- Quality Principles for Cultural Websites : A Handbook*. Rome, 2005.
- STIFF, M. *Managing new technology projects in museum and galleries*. Cambridge, 2002.
- STILL, J. M. *Creating Web-Accessible Databases*. New Jersey, 2001.
- TALLON, L. – WALKER, K. *Digital technologies and the museum experience. Handheld guides and other media*. Lanham, 2008.
- Technical Guidelines for Digital Cultural Content Creation Programmes*. Rome, 2005.
- THOMAS, S. – MINTZ, A. *The Virtual and the Real (Media in the Museum)*. Washington, 1998.
- WALLACE, M. A. *Museum Branding*. New York, 2006.
- ZORICH, D. M. *Introduction to Managing Digital Assets*. Gatty Information Institute, 1999.



Jan Josef

OBSAH PŘEDMĚTU

Hlavním obsahem tohoto předmětu je nauka o preventivní konzervaci, která je nosným pilířem péče o sbírkové předměty. Pro účely výuky ve Škole muzejní propedeutiky je tato problematika rozdělena do následujících přednášek: Vliv prostředí na sbírky, Základní metody ošetřování sbírek, Konzervování-restaurování a Depozitární režim. O konzervaci a restaurování bude pojednáno, s ohledem na zaměření předmětu, pouze z hlediska obecného, především etického.

Problematika preventivní konzervace byla již v minulosti zpracována v různém rozsahu v uvedené odborné literatuře (1, 2, 3). Jelikož se v tomto případě jedná o studijní skriptu, jsou některé jevy vysvětleny podrobněji. Týká se to zejména kapitoly o vlhkosti materiálu, vzhledem k jejímu významu při ochraně sbírek, a kapitoly o mechanickém poškození předmětů, které bývá trochu stranou zájmu. Jak je však uvedeno v názvu, jedná se pouze o uvedení do problematiky preventivní konzervace.

Zajištění bezpečnosti sbírek proti krádeži, úmyslnému poškození, požáru apod. je obsahem samostatného školního předmětu.

UDRŽITELNÉ MUZEUM

V muzejní praxi je nutné neustále usilovat o vytvoření optimálního poměru mezi zachovnou a prezentační funkcí muzea.¹ Zejména v případě sbírek tvořených citlivými materiály jdou tyto dvě základní funkce každého muzea výrazně proti sobě. Z hlediska zachování sbírkových předmětů by bylo nejlepší, kdyby byly trvale uloženy v optimálním prostředí, v nějakém ideálním depozitáři, kde by nepůsobila škodlivá atmosféra, světlo, prach, chemické látky ani biologičtí škůdcové a nebylo s nimi manipulováno. Tak by ale nemohly poskytovat užitek, pro který jsou vlastně uchovávány. Vypovídat o přírodním a sociálním prostředí, o kulturnosti (nebo nekulturnosti) jednotlivců i společnosti.²

Otázkami správné muzejní praxe se zabývají, vedle příslušných zákonů, také etické kodexy. Tyto kodexy mají charakter doporučení, na kterých se shodli profesní odborníci. Tato doporučení

¹ Do prezentační funkce můžeme zahrnout také předkládání předmětů ke studijním (badatelským) účelům.

² V případě citlivých a jedinečných předmětů je sice možné vystavovat jejich faxsimile či reprodukce, nikdy však nemohou zcela nahradit účinek originálu.

mohou být pak přijata jako závazná v rámci profesních sdružení, nebo v organizačních dokumentech jednotlivých muzeí. V mezinárodním měřítku to jsou zejména kodexy ICOM, ze kterých pak vycházejí jednotlivé národní dokumenty. V České republice je problematika muzejní konzervace ošetřena v Dokumentu o profesi konzervátora-restaurátora AMG.

Ve shodě s tímto dokumentem jsou následující definice pojmů i další části tohoto textu.

DEFINICE POJMŮ

Komplexní hodnota muzejního sbírkového předmětu – vyjadřuje jeho kvalitu jako nositele souboru všech autentických informací, emocionálních a racionálních, které je možno dnes či v budoucnu identifikovat. Jako taková je hlavním předmětem ochrany u kategorie muzejních sbírkových předmětů. V současnosti identifikovatelnou částí komplexní hodnoty je tzv. výpovědní hodnota předmětu, jejíž stanovení je závislé na momentálních schopnostech a možnostech zainteresované osoby.

Autenticita – ve středoevropském kontextu je jednou ze zásadních kvalit komplexní hodnoty předmětu kulturního dědictví odrážející se prostřednictvím jeho hmoty. Autenticita spočívá v míře dochování původních znaků vázaných na předmět, které dokumentují jeho skutečnou roli v minulosti. V jiných kulturních okruzích se však může vnímání autenticity významně lišit.

Celistvost/integrita předmětu – soubor materiálových, technických (technologických) a estetických hodnot, které spolu historicky souvisejí. Nevztahuje se pouze na stav předmětu kulturního dědictví v okamžiku, kdy se začal používat nebo působit, ale součástí integrity předmětu tvoří také stopy související s jeho používáním či poškozením a následné úpravy významné z hlediska historie a života lidské společnosti.

Konzervace – je zastřešující označení pro konzervaci preventivní i sanační a pro restaurování. Zahrnuje veškerou péči o předměty kulturního dědictví za účelem zachování jejich komplexní hodnoty.

Konzervace preventivní – je soubor opatření, jejichž cílem je zpomalení poškozování (degradace) a omezení možných rizik pro předměty kulturního dědictví prostřednictvím systému pravidelných kontrol a nepřímých zásahů,³ tj. zejména optimalizací podmínek při uložení, prezentování a manipulaci.

Konzervace sanační (intervenční) – ochrana hmoty a konstrukce předmětu kulturního dědictví pomocí systému přímých zásahů

³ Nepřímých ve vztahu k předmětu. Nezasahují přímo do hmoty předmětu.

stabilizujících jeho fyzický stav. Při práci musí být upřednostňovány technologie, které minimálně narušují komplexní hodnotu předmětu.

Restaurování – činnost, která interpretuje celistvost/integritu předmětu kulturního dědictví na určitém známém stupni jeho historického vývoje. Hlavním důvodem je dosažení srozumitelnosti předmětu. V určité míře dochází k obnovení estetické, technické, hudební aj. funkčnosti/účinnosti předmětu. Restaurování zahrnuje nejen doplňování chybějících či silně poškozených prvků, ale také odstranění těch prvků, které srozumitelnost nebo funkčnost/účinnost předmětu omezují.

PŘÍČINY POŠKOZENÍ SBÍREK

Aby bylo možné sbírkové předměty účinně chránit, musíme poznat všechny příčiny a mechanismy jejich degradace či poškozování. Předměty je nutné chránit nejen před vlivy venkovního i vnitřního prostředí (fyzikálními, chemickými a biologickými), ale také před faktory lidskými, zahrnujícími nevhodnou manipulaci s předměty, transport, nezodpovědné vystavování apod.

Jednotlivé příčiny poškození, uvedené v následujícím přehledu, budou postupně probírány v následujících kapitolách společně s příslušnými možnostmi ochrany.

Pro zajištění efektivní ochrany sbírek je třeba vyhodnotit nejen vlivy aktuální, ale také pravděpodobnost a nebezpečnost vlivů, které mohou působit za určitých předvídatelných okolností. To znamená, správně vyhodnotit všechna rizika.

Poškození vlivem okolního prostředí

- Teplotou a vlhkostí – vlivem nevhodných hodnot nebo jejich prudkými změnami
- Světlem – viditelným světlem, ultrafialovým a infračerveným (tepelným) zářením
- Prachem – usazeným nebo proudícím prachem
- Chemickými látkami – plyny venkovními a vnitřními, chemickými látkami v prachu, obalových materiálech, instalačních materiálech, v samotných předmětech apod.
- Biologickými škůdci – plísněmi, hmyzem, hlodavci apod.
- Vibracemi – dopravou v okolí budovy, provozem strojoven, hlasi-tou hudbou atd.

Mechanické poškození nevhodným uložením nebo výstavní instalací předmětu

- Nevhodnou polohou
- Nevhodným zavěšením
- Nedostatkem místa
- Absencí podložek

- Použitím nevhodných materiálů (nevhodné obaly, lepicí pásky, fixační tmely atd.)

Poškození nevhodnou manipulací a transportem

- Otřesy, pádem
- Nesprávným uchopením nebo zavěšením (úvazem při zvedání)
- Změnou prostředí (klimatu)
- Působením potu (manipulace bez rukavic)

Poškození evidenčními údaji

- Nevhodným způsobem popisu a použitím nevhodných materiálů

Poškození nevhodným ošetřováním

- Při úklidových pracích
- Nevhodnou iniciativou personálu

Poškození při badatelské službě

- Nesprávnou manipulací (bez rukavic, bez podložek atd.)
- Klimatickými změnami, světlem apod.

Poškození stavební činností

- Venkovní
- Vnitřní

Poškození živelnými pohromami

- Požárem
- Vodou
- Zemětřesením

Poškození vandalismem

Poškození během válečného konfliktu

POŠKOZENÍ VLIVEM PROSTŘEDÍ

Mikroklimatické⁴ parametry prostředí

Jednou z podstatných součástí oboru preventivní konzervace je sledování (monitorování) a regulace mikroklimatických parametrů v bezprostředním okolí sbírkových předmětů. To se samozřejmě týká všech situací, ve kterých se sbírkové předměty mohou nacházet. Ať to jsou již prostory depozitářů, výstavní místnosti a vitríny, nebo přepravní vozy a obalová technika. Nesmíme přitom zapomínat ani na pracovníky odborných pracovníků – správců sbírek, ani na badatelny, kde mohou předměty po jejich přemístění z depozitáře prodělat klimatický šok.

⁴ V tomto textu je použit termín „mikroklimatický“ pro podmínky v interiéru na rozdíl od klimatických podmínek v exteriéru. Někdo používá tento termín pouze pro charakterizaci podmínek ve vitríně, přepravním obalu apod.

Mikroklimatické parametry jsou fyzikální veličiny, kterými popisujeme stav prostředí, v němž se sbírkové předměty nacházejí, a které přímo souvisejí s mechanismy jejich poškození. Hlavními parametry – veličinami jsou: teplota, relativní vlhkost, intenzita osvětlení, resp. ozáření, a obsah polutantů (chemických látek a prachových částic) v okolním vzduchu.

Na základě citlivosti jednotlivých materiálů byly doporučeny optimální hodnoty těchto veličin a přípustné intervaly, ve kterých se hodnoty mohou pohybovat. V případě teploty a vlhkosti se stanovuje také maximální přípustná rychlost jejich změny, která se většinou vztahuje na časové období 24 hodin. Vedle zachovávání optimálních hodnot je totiž velmi důležité zabránit velkým a rychlým (skokovým) změnám.

Teplota

Vliv teploty na poškození sbírkových předmětů:

- Rozměrové změny (teplotní roztažnost)
- Mrazové trhání materiálu
- Změna relativní vlhkosti prostředí a posun sorpčních izoterem
- Urychlení degradačních reakcí s rostoucí teplotou
- Změna chemické struktury materiálu (cínový mor)
- Povzbuzení nebo potlačení aktivity biologických škůdců

Rozměrové změny

Vlivem teplotní roztažnosti materiálu dochází k jeho mechanickému namáhání. Čím více a častěji kolísá teplota, tím více je materiál namáhán smršťováním a zvětšováním (prodlužováním). Dochází ke vzniku prasklin, k uvolňování lepidel apod. U předmětů zhotovených z kombinovaných materiálů dochází vlivem jejich rozdílné tepelné roztažnosti k vnitřnímu pnutí.

Mrazové trhání materiálu

Při teplotách pod bodem mrazu dochází k zamrznání vody v pórech nebo v prasklinách materiálu, a tím k jeho mrazovému trhání. Toto nebezpečí je aktuální především u předmětů vystavovaných v exteriéru (např. muzea v přírodě).

Změna relativní vlhkosti prostředí

Jak je v kapitole o vlhkosti podrobně uvedeno, je relativní vlhkost vzduchu výrazně závislá na teplotě. Je tedy možné regulací teploty do jisté míry usměrňovat také relativní vlhkost. Menší závislost na teplotě mají pak sorpční izotermy (viz dále).

Urychlení degradačních reakcí s rostoucí teplotou

Se zvyšující se teplotou dochází ke zvýšení reakční rychlosti chemických procesů. Za vyšší teploty dochází také k rychlejší degra-

daci materiálu působením okolního prostředí, chemických látek a u některých materiálů také samovolným rozkladem. Nejvýznamnější je vliv teploty na degradaci citlivých organických materiálů (např. papíru, fotografií a plastů). Tyto materiály je proto nutné uchovávat při nízké teplotě.

Změna chemické struktury materiálu

Znáмым příkladem vlivu teploty na změnu chemické struktury materiálu je vznik tzv. cínového moru. Pod teplotou cca 13 °C dochází u čistého cínu ke změně krystalové modifikace, která se projevuje zpráškovatěním a rozpadem předmětu. Jelikož se v cínářské řemeslné praxi používaly téměř vždy slitiny cínu s olovem, případně malým množstvím dalších kovů, je náchylnost k této přeměně poměrně malá a s tímto poškozením se setkáváme spíše mimořádně.⁵ Všeobecně se však přijímá doporučení, aby byly cínové předměty uchovávány při teplotě vyšší než je uvedených 13 °C.

Povzbuzení nebo potlačení aktivity biologických škůdců

Růst mikroorganismů a vývoj hmyzu je závislý na optimální teplotě a vlhkosti prostředí. V běžné praxi se uvádí optimální teplota pro mikroorganismy nad 15 či 17 °C. Optimální teplota pro růst většiny plísní se pohybuje kolem 25–28 °C. Existuje ovšem řada mikroorganismů, které jsou schopny žít při velmi nízkých, nebo naopak při vysokých teplotách.

Hluboké zmrazování, nebo naopak teplota nad 40 °C se používá v některých případech pro likvidaci škodlivého hmyzu.

Vlhkost

Vliv vlhkosti na poškození sbírkových předmětů:

- Změna rozměrů, pevnosti a optických vlastností
- Migrace solí (porézní kámen, keramika)
- Prášivost
- Elektrostatický náboj (pro papír a textil při RV < 40 %)
- Koroze kovů
- Koroze – hydrolyza skla
- Hydrolyza celulózy (degradace papíru, dřeva, textilu)
- Chemická aktivita sloučenin (pro papír při RV > 60 %, w > 10 %)
- Biologické napadení (při RV > 60 %, 75 % – kritické!)

Rozměrové změny, změna pevnosti a optických vlastností navlhavých materiálů

U organických materiálů jako je dřevo, papír, usně apod. dochází při pohlcování vlhkosti k bobtnání (zvětšování objemu), naopak při vysychání se materiál smršťuje. Tyto změny jsou většinou nerovnoměrné, vázané na strukturu materiálu. Tak dochází např.

⁵ Ve většině případů s podezřením na mor se jedná o korozní napadení.

u dřeva k rozdílnému bobtnání ve směru podélném a příčném ke směru růstových let. Důsledkem může být prohýbání/borcení, které namáhá truhlářské spoje, znemožňuje funkčnost hudebního nástroje atd. Při vyschnutí nad určitou mez pak dochází ke vzniku prasklin.

Dalším jevem spojeným s přílišným vyschnutím materiálu je praskání a opukávání některých druhů hornin, např. opuky.

S obsahem vlhkosti také souvisí pevnost materiálu. U papíru, usně, herbářů apod. se při nízké vlhkosti zvyšuje křehkost, při vysoké vlhkosti dochází naopak ke snížení pevnosti v tahu apod.

Známost skutečností je také ztmavnutí zvlhlého povrchu.

Migrace solí v porézní keramice a kameni

Pokud jsou v porézním materiálu obsaženy soli, dochází při vysychání k jejich migraci směrem k povrchu, kde krystalizují, a tím destruuji povrchovou vrstvu předmětu.⁶ Tímto mechanismem dochází k odtrhávání povrchové krusty kamenných soch, odprýskávání glazury na keramických předmětech apod. Proto je důležité provést při konzervaci-restaurování takovýchto předmětů tzv. odsolení – odstranění obsažených solí.

Prášivost, elektrostatický náboj

Při nízké vlhkosti materiálu se zvyšuje jeho prášivost. U vláknitých materiálů souvisí prášivost se zvýšenou lámavostí suchých vláken. Při nízké vlhkosti, u papíru a textilu to je při RV < 40 %, se materiál během manipulace (tření) také snáze nabíjí elektrostatickým nábojem. V důsledku toho dochází k přitahování nečistot a vláken materiálu k okolním předmětům, a tím pádem k mechanickému narušování jeho povrchové struktury.

Koroze kovů

Intenzita korozního napadení kovů výrazně závisí na přítomnosti vody. Při relativní vlhkosti prostředí nad 60 % rychlost korozního procesu prudce stoupá v souvislosti se vznikající monomolekulární vrstvou vody na povrchu kovu.

Koroze – hydrolyza skla

Působením vlhkosti dochází k rozkladu křemičitanů, které tvoří chemickou podstatu skla. Uvolněné alkalické sloučeniny následně svojí zásaditostí povrch skleněného předmětu korodují ještě intenzivněji.

Hydrolyza celulózy⁷

Celulóza je stavební sloučeninou dřeva, papíru a některých druhů textilu (bavlna, len). Jejím rozkladem dochází k degradaci materiálu – zhoršují se jeho fyzikální a chemické vlastnosti, což se projevuje křehnutím, praskáním, snížením pH apod.

⁶ Při krystalizaci dochází ke vzniku vysokých tlaků.

⁷ Chemický rozklad molekul působením vody.

Zvýšení chemické aktivity

Při zvýšení relativní vlhkosti nad určitou mez dochází ke zvýšení chemické aktivity chemických sloučenin obsažených v okolním prostředí nebo v samotných materiálech sbírkových předmětů (v ovzduší, v obalovém papíru, v prachové vrstvě apod.). Jedná se např. o korozi kovů korozivními plyny (sirovodíkem aj.) nebo o známé působení chloridových iontů obsažených v nedokonalé konzervovaných, zejména archeologických, železných a bronzových předmětech. V případě papírových sbírkových předmětů se začíná výrazně uplatňovat degradační aktivita sloučenin obsažených v papíru při vnitřní vlhkosti nad 10 %, což odpovídá relativní vlhkosti okolní atmosféry 60 %. V oblasti vnitřní vlhkosti 5–10 % je jejich chemická aktivita naopak nízká.

Biologické napadení

Zvýšená vlhkost umožňuje i urychluje biologické napadení. Vlhké dřevo je lákavější pro dřevokazný hmyz. Pro růst plísní i bakterií je vlhkost vedle teploty hlavním určujícím parametrem. Jako kritická hranice pro napadení plísněmi je v logistice považována 75% relativní vlhkost okolního vzduchu. V preventivní konzervaci se považuje za signální již 60% relativní vlhkost s ohledem na kapilární kondenzaci (v papíru) a začínající aktivitu některých bakteriálních kmenů. Toto nebezpečí se samozřejmě zvyšuje při vyšší teplotě a nedostatečném proudění vzduchu. Nelze také spoléhat na to, že relativní vlhkost vzduchu změřená na jednom místě je stejná v celém prostoru. Pro napadení dřeva houbami se uvádí minimální potřebný obsah vody v materiálu 20 %, optimálně 30–35 %, pro napadení dřeva hmyzem stačí 10–12 %. Za optimální růstové podmínky pro plísně se považuje teplota nad 15 °C a relativní vlhkost vyšší než 70 %. Je nutné ale upozornit na skutečnost, že mnohé mikroorganismy jsou schopné růstu i při podmínkách dosti odlišných.

Vlhkost vzduchu

V následujícím textu jsou uvedeny hlavní veličiny a jednotky používané pro popis vlhkého vzduchu, respektive směsi vzduchu a vodní páry.

Stav vlhkého vzduchu lze jednoznačně popsat pomocí dvou stavových veličin (nejčastěji to jsou teplota a tlak) a jeho složení (poměr suchého vzduchu a vodní páry). Důležitý je přitom fakt, že čím vyšší je teplota, tím více vlhkosti může vzduch za stejného tlaku pojmout.

Parciální tlak vzduchu a vodní páry

Dle Daltonova zákona je celkový tlak vlhkého vzduchu roven součtu parciálního tlaku suchého vzduchu (p_v) a parciálního tlaku vodní páry (p_p).

$$p = p_v + p_p \quad [\text{Pa}]$$

Absolutní vlhkost

Absolutní vlhkost vzduchu vyjadřuje hmotnost vodní páry obsažené v objemové jednotce vzduchu.

$$a = \frac{m_p}{V} \quad [\text{g/m}^3]$$

Měrná vlhkost

Pro praxi je výhodnější vztahovat hmotnost vodní páry na hmotnost suchého vzduchu, protože ta zůstává při změně vlhkosti konstantní. Měrná vlhkost se nejčastěji vyjadřuje v gramech vodní páry na jeden kg suchého vzduchu.

$$x = \frac{m_p}{m_v} \quad [\text{kg/kg, g/kg}]$$

Relativní vlhkost

Vyjadřuje poměrné nasycení vzduchu vodní parou za dané teploty a tlaku. Obsah vlhkosti v daném vzduchu je tedy vztažen k maximálnímu možnému obsahu vlhkosti ve vzduchu za stejných podmínek (tedy k obsahu vodní páry ve vzduchu zcela nasyceném vodní parou).

Spolu s teplotou je relativní vlhkost nejdůležitější klimatickou veličinou pro preventivní konzervaci, protože na její hodnotě závisí intenzita degradace řady materiálů.

Fyzikálně je relativní vlhkost dána poměrem parciálního tlaku vodní páry ve vlhkém vzduchu k tlaku syté páry při téže teplotě. V naší praxi se ale častěji setkáváme s definicí relativní vlhkosti jako poměru absolutní vlhkosti vlhkého vzduchu a absolutní vlhkosti vzduchu nasyceného vodní parou za stejných podmínek (teploty a tlaku). Většinou se udává v procentech.

$$\varphi = \frac{p_p}{p_{ps}} \cdot 100 \quad \varphi = \frac{a}{a_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

Stupeň nasycení vzduchu

Při některých technických výpočtech se používá místo relativní vlhkosti. Je dán poměrem měrné vlhkosti vzduchu a měrné vlh-

kosti vzduchu nasyceného vodní parou za stejné teploty a celkového tlaku. Za normálních podmínek se od relativní vlhkosti liší nepatrně.

$$\psi = \frac{x}{x_s}$$

Teplota rosného bodu

Je to teplota, při které je vodní pára ve vzduchu právě sytá (vzduch je maximálně nasycen vodní parou, relativní vlhkost je 100%). Při ochlazení nasyceného vzduchu dochází ke kondenzaci.

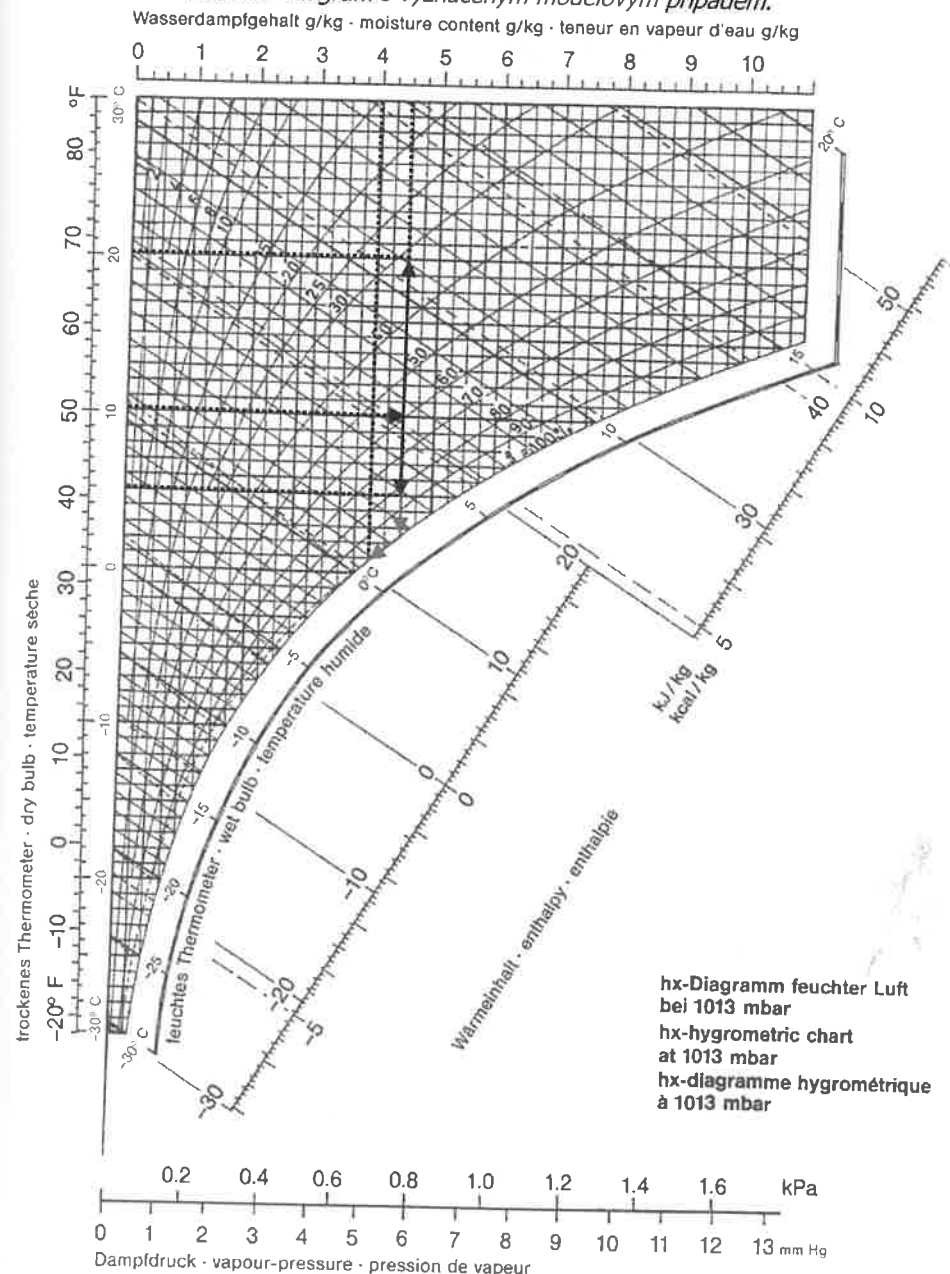
Teplotu rosného bodu můžeme vypočítat nebo odečíst v Mollierově diagramu pomocí teploty a obsahu vodní páry (např. relativní vlhkosti). Pro přesné stanovení potřebujeme také hodnotu tlaku vzduchu. Pro orientační stanovení nám ale stačí Mollierův diagram sestavený pro průměrnou hodnotu atmosférického tlaku. Většina elektronických měřicích přístrojů vyhodnocuje rosný bod automaticky podle změřené teploty a relativní vlhkosti.

Mollierův diagram⁸

Představuje grafické znázornění vztahu mezi teplotou, měrnou vlhkostí vzduchu, relativní vlhkostí vzduchu a entalpií (energetická veličina označovaná „i“, nebo „h“). Diagram je sestavován vždy pro určitý barometrický tlak, je to tedy diagram izobarický. Porovnáním diagramů pro různý barometrický tlak bychom zjistili, že s rostoucím tlakem se při dané teplotě snižuje maximální měrná vlhkost. Na diagramu můžeme rozlišit tři oblasti dle obsahu vodní páry – sytosti. Je to oblast vzduchu nenasyceného vodní parou ($\varphi < 100\%$), vzduchu nasyceného ($\varphi = 100\%$) a oblast vzduchu přesyceného, ve které dochází ke kondenzaci vodní páry. Z diagramu je dobře patrná závislost obsahu vodní páry ve vzduchu na teplotě. Čím vyšší je teplota, tím vyšší může být za daného tlaku obsah vodních par ve vzduchu. Na diagramu můžeme také dobře znázornit změnu relativní vlhkosti vzduchu při změně jeho teploty. V následujícím příkladu (obr. 1) máme vzduch o teplotě $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti 60% . Jeho stav je na diagramu dán průsečíkem čárkované čáry s křivkou 60% relativní vlhkosti (RV). Při ohřátí tohoto vzduchu na $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dojde k poklesu RV na cca 32% , naopak při jeho ochlazení na $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ dojde ke vzrůstu RV na cca 84% . Pokud by došlo k ochlazení až na cca $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (barevná čára), byl by dosažen rosný bod (100% RV) a při dalším ochlazování na $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ by došlo ke kondenzaci vody, a tím k poklesu měrné vlhkosti.

⁸ Také se označuje jako „i-x“ nebo „h-x“ diagram.

Obr. 1 – Mollierův diagram s vyznačeným modelovým případem.



Vlhkost materiálu

Působení vlhkosti okolí na předměty schopné pohlcovat vodu souvisí s jejich navlhavostí (hygroskopicitou) a výsledně pak s vnitřním obsahem vlhkosti. Naší snahou je v takových předmětech stabilizovat obsah vlhkosti na optimální hodnotě, která vychází z povahy materiálu (dřevo, papír apod.) a předchozí klimatické historie předmětu, ale také z našich možností zajistit vhodné a stabilní parametry prostředí.⁹

Mezi obsahem vlhkosti v materiálu a vlhkostí okolního vzduchu existuje přímá souvislost. Materiál sorbuje vodní páry ze vzduchu na svém vnitřním i vnějším povrchu. Při změně okolních podmínek je pak může uvolňovat zpět. Od určité relativní vlhkosti vzduchu nastává v porézních materiálech tzv. kapilární kondenzace, při které dochází v kapilárním systému materiálu k vylučování kapalné vody. Např. u papíru dochází ke kapilární kondenzaci při relativní vlhkosti prostředí od 60 % výše, u dřeva od 70 %. Tento stav je z hlediska degradace materiálu velmi nebezpečný, neboť přitom dochází k intenzivnější hydrolyze celulózy a k snadnému napadení mikroorganismy.

Obsah vlhkosti

Obsah vlhkosti v materiálu se vyjadřuje vztahem hmotnosti obsažené vody buď k celkové původní hmotnosti vlhkého vzorku (procentuální obsah vlhkosti w) nebo k hmotnosti sušiny¹⁰ (měrná vlhkost u).

$$w = \frac{m_v}{m} \cdot 100 \quad [\%] \quad u = \frac{m_v}{m_s}$$

Rovnovážná vlhkost materiálu (w_e)

Zjednodušeně řečeno, je to vlhkost materiálu, která odpovídá obsahu vlhkosti v okolním prostředí – vzduchu (je s ní ve vzájemné rovnováze). Tato závislost je vyjádřena tzv. sorpční izotermou.

Pokud se teplota a vlhkost vzduchu mění, reaguje na to materiál pohlcováním, respektive uvolňováním vlhkosti ve snaze dosáhnout rovnováhy.

Stav nasycení

Rovnovážné vlhkosti materiálu při 100% relativní vlhkosti okolního vzduchu říkáme stav nasycení. U celulózových vláknin stav

⁹ Regulace teploty a vlhkosti prostředí pro zajištění konstantní vnitřní vlhkosti předmětu se nazývá ekvisorpční regulace.

¹⁰ Sušinou rozumíme materiál vysušený do konstantní hmotnosti při teplotě, která nezpůsobí jeho rozklad (většinou při 105 °C).

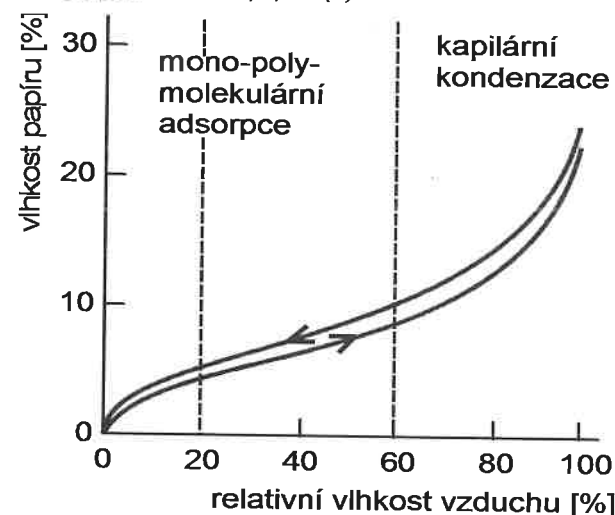
nasycení odpovídá obsahu vlhkosti 20–25 %. Další zvýšení obsahu vody je možné pouze při kontaktu předmětu s kapalnou vodou.

Sorpční izoterma

Vyjádření (matematické nebo grafické) závislosti rovnovážné vlhkosti konkrétního materiálu na relativní vlhkosti vzduchu při určité konstantní teplotě (proto izoterma). Průběh izotermy je závislý na druhu materiálu, teplotě a na směru změny vlhkosti (zvlhčování nebo vysychání). Rovnovážnou vlhkost materiálu pak můžeme stanovit podle teploty, relativní vlhkosti v bezprostředním okolí předmětu a dle předchozí vlhkosti (tedy směru změny, viz obr. 2).

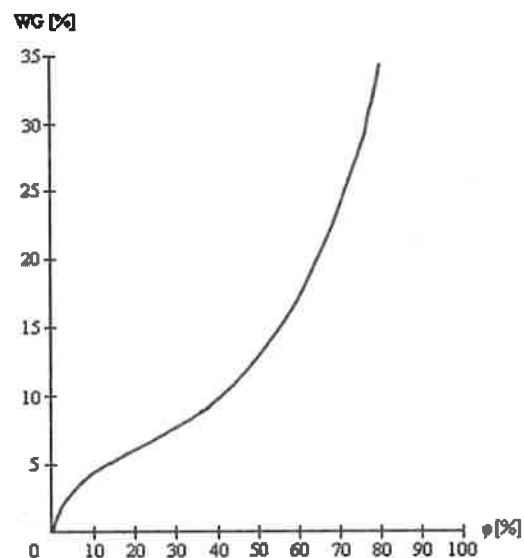
Pro běžnou praxi můžeme ovšem většinou tuto hysterezi (závislost na směru změny) zanedbat. Také vliv teploty na průběh izotermy uvažujeme většinou jen v případech, kdy se teplota v okolí předmětu pohybuje během roku ve větším intervalu (např. 5–25 °C, viz obr. 7).

Obr. 2 – Sorpční izoterma papíru (5).

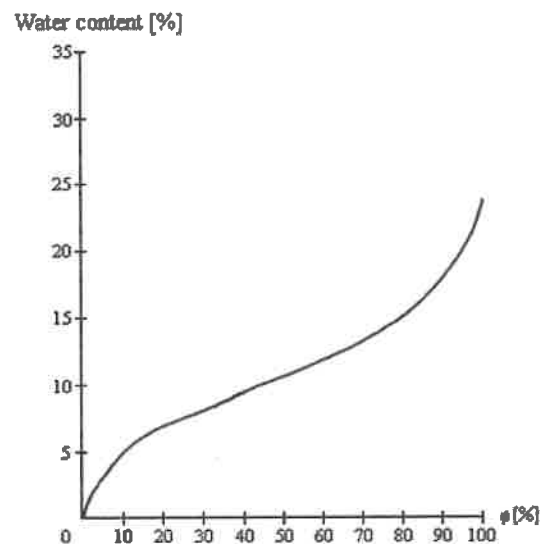


Sorpční izotermy různých materiálů se mohou od sebe výrazně lišit. Podle průběhu se rozeznávají následující typy izoterm a příslušné skupiny materiálů (7).

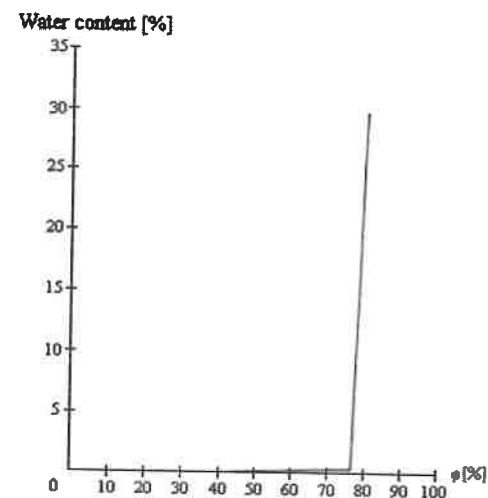
Obr. 3 – Izoterma silně hygroskopických materiálů (např. silikagel, sušené ovoce).



Obr. 4 – Izoterma materiálů jako jsou např. papír, dřevo a některé potraviny.

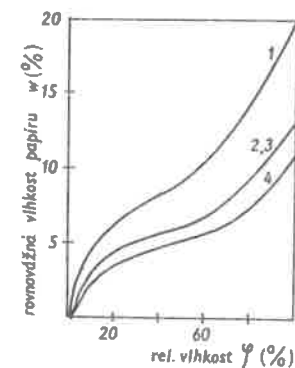


Obr. 5 – Izoterma krystalických produktů (např. sůl, cukr, potaš). U tohoto typu se do určité relativní vlhkosti okolí vlhkost materiálu téměř nezvyšuje, po jejím dosažení ale nastává prudká sorpce vlhkosti způsobená přechodem látky do hydratovaného stavu.



Průběh izotermy může být odlišný také pro různé druhy jednoho materiálu. Např. pro různé druhy dřevin či papíru. Na obr. 6 jsou znázorněny rozdíly mezi různými druhy papíru. Vyšší navlhavost novinového papíru je dobře známa z běžného života.

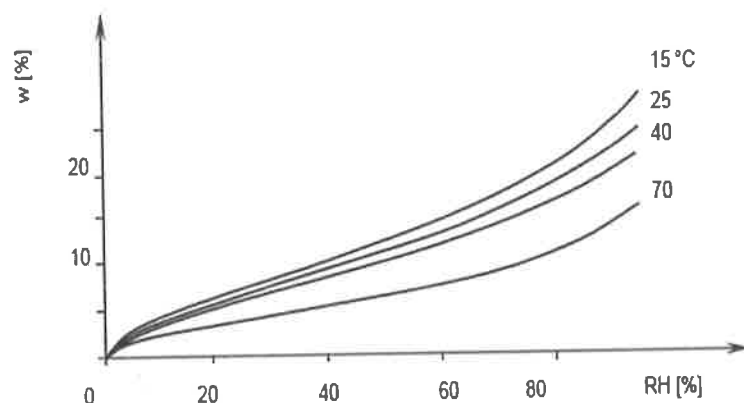
Obr. 6 – Izotermy různých druhů papíru.



- 1 – novinový papír
- 2,3 – knihtiskový a ofsetový papír
- 4 – hlubotiskový papír

Teplotní závislost průběhu sorpční izotermy dřeva ilustruje následující graf.

Obr. 7 – Rovnovážný obsah vázané vody ve dřevě v závislosti na relativní vlhkosti při různých teplotách¹¹ (w – vlhkost dřeva v hm. %, RH – relativní vlhkost vzduchu).



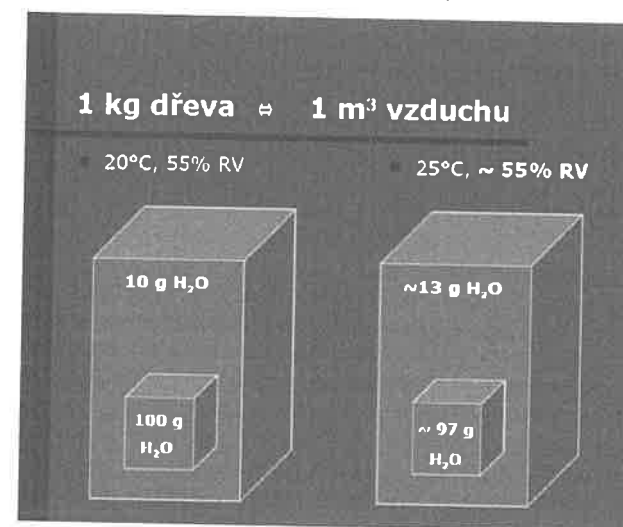
Při preventivní konzervaci sbírkových předmětů si musíme uvědomit, že souvislost vlhkosti materiálu s relativní vlhkostí vzduchu platí obousměrně. To znamená, že relativní vlhkost ovlivňuje vlhkost materiálu a naopak, vlhkost materiálu ovlivňuje relativní vlhkost prostředí. To se výrazně uplatňuje v uzavřených prostorech, jako jsou výstavní vitríny, transportní bedny, ale také zámecké místnosti obkládané dřevem.

Pro ilustraci může posloužit následující zjednodušený modelový případ, ve kterém uvažujeme výstavní vitrínu o objemu 1 m^3 obsahující dřevěný předmět o hmotnosti 1 kg . Vzduch ve vitríně má teplotu 20°C a relativní vlhkost 55% . Dřevo obsahuje při těchto podmínkách a dosažené rovnováze cca 10% vody (tedy 100 g). Měrná vlhkost vzduchu je cca 8 g/kg (8 g vody na kg suchého vzduchu), což odpovídá absolutní vlhkosti cca 10 g vody v jednom kubickém metru vlhkého vzduchu. Dojde-li ke zvýšení teploty na 25°C , klesla by v prázdné uzavřené vitríně relativní vlhkost vzduchu na cca 40% . Této vlhkosti vzduchu by odpovídala rovnovážná vlhkost dřeva cca $7,5\%$. Jelikož ale dřevo reaguje na změnu teploty a relativní vlhkosti uvolněním části své vnitřní vlhkosti, relativní vlhkost ve vitríně se prakticky nezmění. Necele 3 g vody stačí na návrat k původní

¹¹ DESCH, H. E. – DINWOODIE, J. M. *Timber, Structure, Properties, Conversion and Use*. London.

relativní vlhkosti vzduchu. Stabilizační účinek je samozřejmě tím větší, čím větší množství materiálu je v poměru ke vzduchu.

Obr. 8 – Modelový příklad vitríny s dřevěným předmětem.



Ze sorpčních izoterem a z Mollierova diagramu je patrný velký rozdíl mezi možným obsahem vody ve vzduchu a v hygroskopických materiálech (dřevu, papíru, silikagelu apod.). Celková bilance vody v materiálu může u větších sbírkových celků dosáhnout desítek i stovek kilogramů.

Tato skutečnost se významně uplatní např. při novém uložení většího množství knih, které byly původně uloženy v prostředí s vyšší relativní vlhkostí, a mají tudíž tomu odpovídající vyšší obsah vlhkosti. V novém depozitáři s nižší relativní vlhkostí dojde k uvolňování vlhkosti z knih a ke vzrůstu relativní vlhkosti vzduchu. Za vyšší teploty pak může dojít k rychlému zaplesnivění, zvláště pokud jsou vlhké knihy uloženy těsně v regálech a depozitář není dostatečně rychle odvlhčován.

MĚŘENÍ A REGULACE TEPLoty A VLHKOSTI

Měření a regulace teploty

Teplotu většinou měříme pomocí teploměrů kapalinových (rtuťových, lihových), bimetalových nebo elektronických. Pro dlouhodobá sledování dáváme přednost kombinovaným záznamovým elektronickým přístrojům, které měří a ve zvoleném časovém intervalu zaznamenávají teplotu a relativní vlhkost. Převedením zazname-

naných dat z přístroje do počítače můžeme snadno vyhodnocovat průběh (trend) těchto veličin (viz dále).

Pro zajištění stabilní teploty v interiéru a ekonomického provozu topných zařízení je důležité, aby byly co nejvíce využity tzv. pasivní regulační prvky. To znamená, že by měla být v co nejvyšší míře omezena tepelná výměna mezi budovou a jejím okolím (tepelné ztráty v zimě, dotace v létě). Budovy, respektive jednotlivé místnosti v budově, by měly být vhodně orientovány s ohledem na sluneční svit (světovou stranu) a případné stínění okolní zástavbou, terénem či stromy. Tomuto účelu by měla vyhovovat také vlastní konstrukce budovy, která by měla mít izolovaný, případně provětrávaný, plášť, sedlovou střechu s izolovaným podkrovím a okna s příslušenstvím (venkovní markýzy, okenice, žaluzie/rolety, termální sklo, „energetické“ fólie). Tzv. „energetické“ fólie na okenním skle odrážejí tepelné záření a jsou tudíž schopné snižovat tepelné dotace v létě a do jisté míry také tepelné ztráty v zimě.

Možnosti regulace teploty souvisí s druhem topného média (voda, vzduch, elektřina) a s technikou vyspělosti topného systému a regulačních prvků. Pokud je objekt vybaven ústředním topením, je regulace teploty vody zajištěna pomocí venkovních a vnitřních termostatů. Na vlastních topných tělesech se pak používají termostatické hlavice pro jemnější regulaci. Pomocí termostatů se ovládají také elektrická přímotopná tělesa. Ve výstavních prostorách je vhodné používat regulační prvky umožňující blokování nastavené polohy, aby návštěvníci či osoby dozoru nemohli teplotu svévolně měnit. Nejdokonalejší regulace teploty (i dalších veličin) se dosahuje automatizovanými systémy měření a regulace (MaR), které umožňují prostřednictvím počítače soustavné monitorování všech zařízení, ukládání naměřených hodnot atd. Vedle tradičních topných systémů se ve výstavních i depozitárních prostorách v posledních letech s výhodou uplatňuje tzv. stěnové topení. Jeden systém je založen na vedení topných trubek pod omítkou (nebo těsně na omítce) v soklové partii zdi a kolem oken. Jiný systém používá kapilárních registrů umístěných pod omítkou.¹² Výhodou těchto topných systémů je přímé ohřívání zdi, která následně vyzařuje teplo do místnosti a ohřívá vzduch. Je tedy vyloučen chladný povrch zdi a proudění vzduchu, ke kterému dochází při použití klasických radiátorů. Tepelné pohody je ve výstavních sálech dosaženo při nižší teplotě, což má význam pro ochranu exponátů a úsporu energie.

Zatímco topení je zcela běžné a poměrně jednoduché zařízení, v případě chlazení, zejména větších prostorů, se jedná o technologie technicky i energeticky náročnější (výkonné kompresory pro stlačování chladicího plynu, ventilátory pro chlazení vzduchu i kom-

presorů atd.). Pro menší prostory postačují lokální chladicí jednotky (mobilní nebo např. podokenní). V případě velkých místností, nebo jejich většího počtu, se používají chladicí výměníky napojené na centrální zdroj chladicího média, přes které je chlazený vzduch pomocí ventilátoru proháněn. Tam, kde existuje centrální vzduchotechnické zařízení, bývá chladicí jednotka součástí jeho strojovny. Samotné chlazení je prováděno pomocí výparníku (jako u ledničky nebo kondenzačních odvlhčovačů) nebo pomocí vodních chladičů. Při chlazení vzduchu je třeba si uvědomit, že snížením jeho teploty dochází ke vzrůstu relativní vlhkosti. Pokud na výparnících chladičů dochází ke kondenzaci vlhkosti, může být výsledná vlhkost vzduchu v místnosti naopak příliš nízká. Regulace teploty (topení i chlazení) by měla být vždy prováděna s ohledem na relativní vlhkost vzduchu.

Měření a regulace vlhkosti

Vlhkoměry mechanické

Měření je založeno na prodlužování, resp. smršťování, svazku lidských vlasů nebo kožené membrány, které se přenáší na ručičku přístroje. Vzhledem k vyšší chybě měření a závislosti na tzv. kondicionaci přístroje je měření vlasovými vlhkoměry spíše orientační. V suchém prostředí svazek vlasů příliš vysychá a neměří správně. Je proto nutné cca jednou za měsíc přístroj uložit do zvlhčovací kazety, nebo zabalit do vlhké látky a po cca 30 minutách seřadit na RV 96–98 %. Přesnější jsou tzv. thermohygrografy, které měří a zapisují teplotu i relativní vlhkost. Registrace hodnot se provádí inkoustovým perem na předtištěném papíru navinutém na otočném válci poháněném hodinovým strojkem. Ovšem i tento přístroj je nutné kondicionovat a kalibrovat¹³ (nebo alespoň zkontrolovat pomocí přesnějšího přístroje).

Vlhkoměry elektronické

Měření je založeno na změně elektrických hodnot v závislosti na vlhkosti. Tyto přístroje jsou přesnější a stabilnější. Dáváme ovšem přednost přístrojům profesionálním před přístroji určenými pro domácnost. Nejčastěji používáme kombinované datalogery, které měří okamžitou teplotu i vlhkost a umožňují ukládání měřených hodnot do paměti přístroje. I tyto přístroje je nutné kalibrovat, ovšem zdaleka ne tak často jako předchozí typ. Dle kvality přístroje stačí kontrola jednou za rok či dva.

Psychrometry

Tyto přístroje jsou založeny na porovnání teploty tzv. „suchého“ a „vlhkého“ teploměru. Baňka „vlhkého“ teploměru je

¹³ Kalibrace je zjištění odchylek měření od správných hodnot a případné seřízení přístroje.

¹² Tyto registry mohou být topné i chladicí.

opatřena punčoškou smočenou destilovanou vodou a ofukována proudem okolního vzduchu pomocí zabudovaného vrtulkového ventilátoru. Následkem ofukování dochází k rychlému odpařování vody, a tím k ochlazení teploměru. Rozdíl teplot „vlhkého“ a „suchého“ teploměru je úměrný relativní vlhkosti prostředí, která se odečte z psychrometrických tabulek. Vedle čistě mechanických psychrometrů se vyrábějí také psychrometry s elektronickým měřením teplot a vyhodnocením příslušné vlhkosti. Výhodou těchto přístrojů je, že po kalibraci teploměrů není nutná již žádná další kalibrace. Mohou být tedy použity i pro kalibraci jiných vlhkoměrů.

Monitorování teploty a vlhkosti vzduchu

Pro soustavné sledování teploty a relativní vlhkosti vzduchu jsou nejvhodnější kombinované záznamové elektronické přístroje, tzv. datalogery. Většinou dáváme přednost typům s displejem, aby bylo možné průběžně kontrolovat aktuální hodnoty teploty, relativní vlhkosti a případně také hodnotu rosného bodu. Měřené hodnoty se ve zvoleném intervalu ukládají do paměti přístroje, odkud se stahují do počítače. Pomocí speciálního software se mohou zobrazit ve formě tabulky nebo grafu a statisticky vyhodnotit (maximální, minimální a průměrné hodnoty za zvolené období). Většinou je postačující ukládat hodnoty v intervalu 1 hodiny, kdy kapacita paměti vydrží po dobu několika měsíců (dle druhu přístroje). Velmi rozšířeným přístrojem pro měření a záznam klimatických dat je datalogger Comet S3120 (viz obr. 9).

Obr. 9 – Datalogger Comet S3120.



Pro větší objekty jsou výhodnější měřicí ústředny, ke kterým je možné připojit více měřících čidel včetně těch pro měření osvětlenosti. Ústředna má pak funkci loggeru a buď samostatně, nebo ve spojení s počítačem umožňuje on-line sledování hodnot na všech

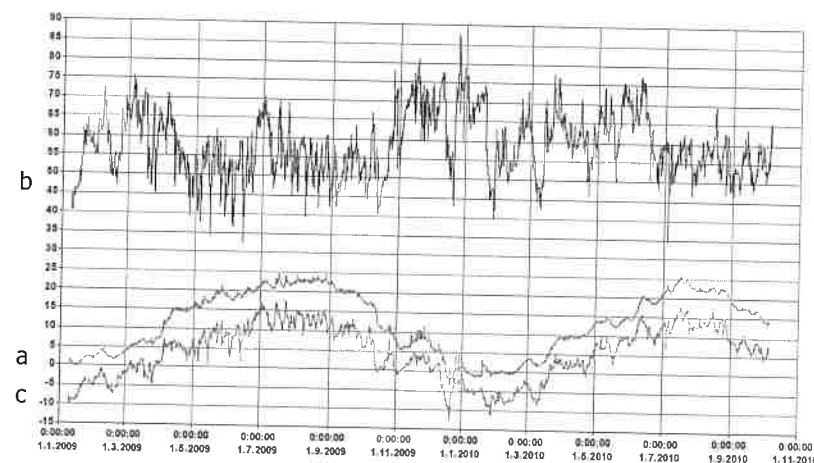
měřených místech. Ústředny mohou být také vybaveny možností řízení připojených zařízení (např. jednotlivých odvlhčovačů vzduchu nebo centrální vzduchotechniky). Vedle ústředny využívajících tradiční připojení jednotlivých snímačů – čidel pomocí elektrických vodičů existují ústředny bezdrátové, založené na principu snímač-vysílač a ústředna-přijímač. Využití těchto systémů je podmíněno dobrým šířením rádiového signálu v budově. Jejich velkou výhodou je možnost variabilního umístění a ušetření nákladů na kabelové rozvody.

Další možností je přenos měřených dat po domovním rozvodu nízkého napětí (220 V). Snímače a ústředna musí být samozřejmě připojeny na stejné fázi elektrického rozvodu.

Umístění přístrojů – snímačů

Abychom získávali správné hodnoty měření, je důležité správně umístit přístroje, respektive snímače/čidla. Většinou volíme místo, které není ovlivňováno proměnlivým prouděním, blízkostí oken, dveří, topných těles a vzduchotechnických zařízení (pokud nechceme měřit parametry upravovaného vzduchu). V místnostech se doporučuje (existují i příslušné normy) umístit snímač cca 1,5–1,8 m nad podlahou. Pokud ovšem existuje v místnosti nějaké kritické místo (např. u chladné podlahy), kde mohou měřené veličiny dosáhnout velmi nepříznivých hodnot a ovlivnit stav sbírkových předmětů, je vhodné umístit snímač i zde. Vedle měření ve volném prostoru depozitáře se doporučuje měřit také uvnitř kompaktních regálů, skříní apod., kde mohou být hodnoty odlišné.

Obr. 10 – Grafický záznam průběhu teploty (a), relativní vlhkosti (b) a rosného bodu (c) získaný zpracováním dat z loggeru Comet S3120.



Regulace vlhkosti

Regulace vlhkosti prostředí patří mezi nejdůležitější a také nejčastější úkoly preventivní konzervace. Relativní vlhkost můžeme regulovat změnou teploty, výměnou vzduchu (řízeným větráním), odvlhčováním (pomocí sorpčních materiálů nebo sorpčních či kondenzačních přístrojů) a zvlhčováním (pomocí sorpčních materiálů nebo zvlhčovacích přístrojů).

Změna teploty

Závislost relativní vlhkosti na teplotě byla vysvětlena výše. Zvýšením teploty vzduchu snížíme jeho relativní vlhkost. Musíme přitom ale dát pozor na vlhkost materiálu, který jen pozvolna vysychá a za zvýšené teploty mohou nastat vhodné podmínky pro vznik plísní. Naopak snížením teploty zvýšíme relativní vlhkost. Tento případ je dobře využitelný v zimním období, kdy relativní vlhkost ve vytápěných interiérech rapidně klesá. Tím se také sníží spotřeba vody ve zvlhčovačích.

Řízené větrání

Jedná se v podstatě o výměnu vzduchu v místnosti. Pro posouzení vhodnosti větrání je nutné znát vnitřní i vnější klimatické podmínky (teplotu a relativní vlhkost vzduchu). Chceme-li odvlhčovat, vpouštíme dovnitř vzduch o nižší měrné vlhkosti, než má vzduch v interiéru a naopak. Hodnotu měrné (nebo absolutní) vlhkosti odečteme z Mollierova diagramu, nebo s pomocí Mollierova diagramu zjistíme, co se stane s relativní vlhkostí venkovního vzduchu, když se jeho teplota přizpůsobí teplotě interiéru, respektive při kontaktu se zdmi, předměty apod. Nevhodným větráním může dojít za nepříznivých podmínek ke kondenzaci vzdušné vlhkosti na sádkových předmětech. Toto bezpečí je aktuální u netemperovaných objektů v době zimní oblevy, nebo na jaře, kdy je venku teplý vlhký vzduch a interiéry včetně předmětů je ještě studený. Kondenzační stav může nastat také v létě uvnitř kamenných chladných objektů.

Větrání provádíme většinou krátkodobě, kontrolujeme stav v interiéru a případně ho opakujeme. Je třeba mít na paměti, že se vzduchem se do interiéru mohou dostávat také různé škodlivé polutanty.

Sorpční materiály

Mezi nejznámější a nejpoužívanější materiály, které na svém povrchu adsorbují vlhkost, patří upravený oxid křemičitý (silikagel, Prosorb aj.) a tzv. molekulární síta (upravené zvláštní druhy křemičitanů). Důležité je, že tyto materiály jsou schopné vlhkost nejen pohlcovat, ale také uvolňovat v závislosti na relativní vlhkosti prostředí

(viz sorpční izoterma). Dodávají se většinou ve formě cca 3–4 mm granulí. Existuje ale i listová forma, která je vhodná k adjustaci v plochých nástěnných vitrínách (např. za obraz).

Pro použití v muzejnictví se silikagel adjustuje do kazet s vyznačenou hmotností a stupněm kondicionace, vyjádřeném v procentech relativní vlhkosti vzduchu, při které je vnitřní obsah vlhkosti silikagelu v rovnováze. Tuto relativní vlhkost je silikagel schopen v uzavřeném prostoru (např. v těsné vitríně) udržovat. Ovšem za předpokladu, že je použito jeho správné množství (jedna kazeta je schopna regulovat vlhkost v uzavřeném objemu cca 1 m³) a že materiál v tomto prostoru je kondicionován na přibližně stejnou vlhkost jako silikagel. Pokud je sušší, dojde k odčerpání vlhkosti z kazet a ustavení vlhkostní rovnováhy na jiné hodnotě, než je požadováno. V tomto ohledu je třeba dát pozor také na navlhavost materiálů, ze kterých je vitrína vyrobena (dřevo, dřevotřískové desky apod.).

Jelikož těsnost vitrín není absolutní, je nutné monitorovat mikroklimatické podmínky a při změně vlhkosti silikagel vyměnit. Použitý silikagel je pak třeba znovu kondicionovat na požadovanou vlhkost. To se provádí buď v laboratorní klimatizační komoře, nebo jednoduše uzavřením do polyethylenového obalu spolu s vlhkou houbičkou (voda z ní nesmí volně odkapávat). Když je vlhkost pohlcena silikagelem, převážíme kazetu a zjistíme, zda je již dosaženo příslušného stupně zvlhčení. Pokud je třeba naopak kazetu vysušit, ponecháme ji volně v suché atmosféře nebo ji v laboratorní sušičce za teploty doporučené výrobcem vysušíme na požadovanou hmotnost.

Mobilní odvlhčovače vzduchu kondenzační

Tyto přístroje pracují na principu vymazování vlhkosti z nasávaného vzduchu pomocí výparníku (podobně jako v ledničkách). Vysušený vzduch je na výstupu zpětně vyhříván získaným teplem na téměř stejnou teplotu (bývá cca o 2 °C vyšší). Vzniklý kondenzát odtéká do nádržky opatřené mechanismem, který přístroj po naplnění nádržky vypne. Kontinuální chod je pak závislý na pravidelném vylévání kondenzátu a je tudíž závislý na lidském faktoru. To je možné dobře kontrolovat pomocí průběžného monitorování vlhkosti. Pro kontinuální chod je výhodnější, když je kondenzát průběžně odváděn do kanalizace (většina těchto odvlhčovačů umožňuje připojení odtokové hadice). Určitou nevýhodou kondenzačního typu je omezení odvlhčovacího výkonu nízkou teplotou. Odvlhčovač pracuje do cca 6 °C, s přídavným topením do cca 3 °C.

Mobilní odvlhčovače adsorpční

Dříve patřily tyto přístroje k cenově náročnějším. Dnes jsou však na trhu cenově poměrně dostupné přístroje, které vyhovují svými rozměry i výkonem. Vlhkost je u tohoto typu odstraňována adsorpcí na otáčivém kotouči. Zatímco jedna jeho část pohlcuje vlhkost přiváděnou se vzduchem z interiéru, jiná jeho část je vysušována vzduchem ze sekundárního okruhu a odváděna pryč. Znamená to, že musíme zajistit přívod jiného vzduchu (např. venkovního) pro vysušování kotouče. Díky tomuto principu jsou odvlhčovače schopny pracovat i při nízkých teplotách a odpadá starost s kondenzátem.

Oba uvedené způsoby odvlhčování se mohou používat také ve stabilních vzduchotechnických zařízeních a je možné je kombinovat.

Výběr odvlhčovače

Při výběru odvlhčovače pro místnost o známé kubatuře je třeba posoudit jeho odvlhčovací výkon, výkon a regulaci ventilátoru (m^3 vzduchu za 1 hod.), možnost nastavení požadované vlhkosti (hygrostat), funkci automatického odtávání výparníku (pokud se počítá s provozem i za nižších teplot), vybavení vzduchovým filtrem a možnost odvádění kondenzátu přímo do kanalizace. Pokud je přístroj provozován ve výstavním prostoru, posuzujeme také jeho hlučnost. Při potřebě soustavného dlouhodobého odvlhčování dáváme přednost přístrojům určeným pro trvalý provoz nebo vybereme přístroj s větším výkonem, aby nemusel běžet bez přestávky.

U některých zařízení existuje možnost připojení externího hygrostatu, který reguluje provoz podle vlhkosti na místě vzdáleném od odvlhčovače (např. v regále).

Pro dosažení rovnoměrného odvlhčení místnosti (rovnoměrné distribuce odvlhčeného vzduchu) je lépe pořídit větší počet méně výkonných přístrojů, než jeden výkonný. Distribuci vzduchu je možné u některých odvlhčovačů zajistit pomocí vývodných hadic. Další možností, jak dosáhnout homogenizace vzduchu v místnosti, je instalace samostatného ventilátoru (např. stojanového).

Mobilní zvlhčovače vzduchu adiabatické

S potřebou zvlhčování se setkáváme zejména v topném období roku, kdy relativní vlhkost vzduchu ve vytápěných místnostech výrazně klesá. Pokud nelze z provozních důvodů snížit teplotu v místnosti¹⁴, je nutné používat pro sbírky z organických materiálů zvlhčovače vzduchu.

Podle principu rozlišujeme zvlhčovače adiabatické a parní. Ve

¹⁴ Koncem 19. století byla teplota ve výstavních místnostech Muzea hl. m. Prahy projektována na 17 °C.

výstavních a depozitárních prostorách se nejčastěji používají zvlhčovače prvního druhu, které rozptylují do okolí drobné kapénky vody pomocí proudu vzduchu nebo ultrazvukového vlnění. Kapénky vody se ihned odpařují. Nevýhodou těchto zvlhčovačů je možnost rozmnožování mikroorganismů ve vodní nádrži a usazování solí na součástech přístroje při používání obyčejné vody. U přístrojů pracujících s proudem vzduchu dochází také k zanášení polutanty¹⁵. Prvnímu problému čelí výrobci zvlhčovačů používáním uzavřených nádrží s průběžným dávkováním vody do rozptylovacího mechanismu nebo použitím germicidních zářivek. Vylučování „vodního kamene“ lze zamezit používáním deionizované vody (její výroba je ekonomicky mnohem výhodnější než výroba vody destilované). Zanášení polutanty lze omezit účinnými filtry. Kvalitnější přístroje jsou vybaveny kombinovanými filtry prachovými a uhlíkovými, které pohlcují i plyné polutanty. Používání různých chemických přísad do zvlhčovačů je třeba důkladně zvážit, protože se rozptylují do okolí spolu s kapénkami vody a mohou působit na sbírkové předměty. Pokud nemáme dostatek informací o jejich chemické povaze a případném vlivu na předměty, je lépe se jim vyhnout. Vždy však platí zásada kvalitní provozní údržby. Při zodpovědném provozu můžeme s užitekem používat i levnější, respektive jednodušší, typy zvlhčovačů.

Před pořízením zvlhčovačů by měly být dořešeny všechny provozní záležitosti. Musí být vyřešeno, kdo bude pravidelně nosit vodu do zvlhčovačů (pokud nejsou napojeny na vodovodní řad), kdo je bude čistit, měnit náhradní díly apod.

Mobilní zvlhčovače parní

Druhým typem zvlhčovačů jsou zvlhčovače parní, které vypouštějí do okolí vodní páru. V muzejní praxi se tento typ ve své mobilní formě téměř nepoužívá. Setkáváme se s ním spíše jako se součástí stabilních vzduchotechnických zařízení. Nevýhodou je vyšší energetická náročnost, dotace tepla do okolního prostředí a usazování „vodního kamene“ ve varáku přístroje. Pokud není přístroj vybaven ventilátorem, je distribuce vodní páry omezena pouze na nejbližší okolí. Naopak výhodou přístroje je sterilní prostředí (díky pracovní teplotě ve varáku).

Pro výkon a počet potřebných zvlhčovačů platí podobná kritéria jako při výběru odvlhčovačů.

Při umísťování těchto přístrojů dbáme na to, aby distribuce upraveného vzduchu pokryla rovnoměrně celý prostor a aby nedocházelo k přímému ofukování (a tím k nadměrnému ovlhčování) sbírkových předmětů. Ve výstavní praxi je dosažení optimální vlhkos-

¹⁵ Prach a mikroorganismy obsažené ve vodní nádrži způsobují známý „rybníční“ zápach nečistěných zvlhčovačů.

ti v místnosti problematické vzhledem k návštěvnickému provozu, který vyžaduje otevření dveří. Pokud se však jedná o velmi citlivé předměty, je nutné zajistit kontrolovaný vstupní režim (zavírání dveří) nebo je raději vystavovat ve vitrínách.

Stabilní vzduchotechnické zařízení (VZT)

Jedná se o stabilní zařízení pro úpravu vzduchu v jednotlivých místnostech nebo v celém objektu.

Zahrnuje ventilátory a další strojové součásti na filtraci vzduchu (mechanickou, případně i chemickou), ohřívání a chlazení vzduchu, na jeho odvlhčování či zvlhčování a distribuci po objektu (vzduchovody s výstřiky). Zastoupení těchto funkcí může být různé, od samostatných stabilních odvlhčovačů přes provětrávací jednotky s filtrací vzduchu až po klimatizační zařízení se zastoupením všech jmenovaných funkcí. Pro depozitární provoz je většinou postačující cirkulační režim, kdy nedochází k přívodu čerstvého vzduchu (a tudíž ani nečistot) z venku. Pouze v případech, kdy se v depozitářích uvolňují nebezpečné látky (např. z alkoholových přírodovědeckých preparátů, kyselá sloučeniny z pyritických materiálů, výpary z nevhodného mobiliáře – dřevotřískových desek) nebo při delším pobytu pracovníků, se přisává regulované množství čerstvého vzduchu. S tím ovšem vzrůstají nároky na VZT, neboť venkovní vzduch musí být náležitě upraven, a provoz se prodražuje.

Jednou z osvědčených, jednodušších možností VZT je kombinace cirkulačního zařízení s připojeným mobilním odvlhčovačem (pokud odvlhčovač umožňuje připojení k řídicí ústředně). Ventilátor je pak spouštěn buď časovačem (např. na 10 min každou hodinu) nebo poveloměřicí a regulační ústředny v případě zvýšené vlhkosti, kdy se zároveň spíná odvlhčovač. Toto cirkulační zařízení má za úkol filtraci, homogenizaci a rovnoměrnou distribuci vzduchu v daném prostoru (mezi regály, závěsné rámy apod.).

Pokud uvažujeme o zřízení centrální klimatizace, musíme si uvědomit několik důležitých faktorů. Budova musí splňovat požadavek na dobré tepelně izolační vlastnosti a tepelnou kapacitu, aby byl provoz klimatizace ekonomický. To předpokládá speciální konstrukci stavebního pláště budovy a absenci oken, která jsou vždy největším zdrojem tepelných ztrát, respektive dotací. To je třeba zohlednit při projektování nové budovy i při rekonstrukci. Pokud není možné tento požadavek v rámci rekonstrukce zajistit, je lépe zvolit jiný způsob regulace mikroklimatu. Zařízení musí být dále dobře vyprojektované a jednotlivé strojové součásti musí splňovat požadavky na dlouhodobý, spolehlivý/bezporuchový a ekonomický provoz. Z toho jednoznačně vyplývá, že se vyplatí investovat do dražšího zařízení, které je však ve výsledku výhodné svým úsporným a spolehlivým provozem. Také je nutné si uvědomit, co se stane, když bude třeba ome-

zit odběr elektrické energie v nějakém krizovém období nebo když bude zařízení mimo provoz z důvodu poruchy či pravidelné údržby. Při projektování depozitářů se proto doporučuje, aby v případě nouze mohl být depozitář provětrán normálním způsobem prostřednictvím větracích otvorů, které se v takových případech otevrou. U depozitářů s velmi citlivým materiálem je nutné, aby pro případ delšího výpadku elektřiny byly v záloze elektrické generátory. Pokud má budova výše uvedené tepelně izolační vlastnosti, dochází při výpadku vzduchotechnického zařízení pouze k pozvolné změně mikroklimatu. U velkých depozitářních budov (např. Národní archiv v Praze) je pak možné střídavě klimatizovat jednotlivá patra, což vede k další úspoře. K ekonomické optimalizaci VZT také patří nastavení mikroklimatických požadavků pro zimní a letní provoz v rámci povolených teplotních a vlhkostních intervalů pro jednotlivé sbírkové materiály.

Úprava vlhkosti ve výstavních vitrínách

Téměř každá vitrina má výrazný ochranný účinek. Chrání exponáty před prachem a tlumí výkyvy venkovního klimatu, i když není vybavena následujícími prostředky. Vlhkost ve vitrínách upravujeme nejčastěji pomocí sorpčních materiálů (silikagelu). Jelikož vzduchotěsnost vitrín bývá většinou nedostatečná, je nutné průběžně monitorovat vnitřní mikroklima a včas provést výměnu kazet se sorbentem. Z tohoto důvodu je vhodné upravit také vlhkost ve výstavní místnosti, aby vlhkostní spád uvnitř a vně vitríny nebyl příliš velký.

Další možností je napojení vitríny na vnější klimatizační jednotku nebo instalace malé jednotky přímo do vitríny. Vzhledem k malému prostoru vitríny může však při poruše regulace dojít k rychlému poškození exponátů. Předpokladem pro toto řešení je vysoká technická kvalita použitého zařízení, monitorování mikroklimatu a soustavný dohled odpovědného pracovníka.

Úprava mikroklimatu během transportu

Pro déletrvajícím transport citlivých předmětů se používají tzv. klimabedny. Jsou to bedny zhotovené z pevného materiálu (plech, plast, dřevo, silná překližka) uvnitř opatřené izolačním materiálem, který tlumí otřesy a chrání předmět před vnějším prostředím (před změnami teploty a vlhkosti a před polutanty) a před případným působením materiálu bedny. Samotný předmět se před vložením do bedny většinou balí ještě do vhodného papíru či fólie. Před vlastním balením se bedna ponechá na místě exponátu alespoň jeden den aklimatizovat. Pokud je potřeba během transportu regulovat vlhkost, může se do bedny vložit kazeta se silikagelem. Po příjezdu na místo se ponechá bedna opět aklimatizovat na místní podmínky a teprve

poté se otevře a předmět se vybalí. Samozřejmě, že mikroklimatické podmínky na výchozím i konečném místě se mohou lišit pouze v rámci doporučeného rozsahu. Pokud je nutné provádět delší převoz za velmi nepříznivých venkovních podmínek, je třeba použít klimatizované nákladní vozy, kterými disponují profesionální firmy.

Pro krátkodobější převozy postačí většinou, s ohledem na venkovní klimatické podmínky, pouze vhodný balicí materiál, který po čas transportu zajistí dostatečnou ochranu.

Optimální mikroklimatické podmínky

V případě teploty a vlhkosti je, vedle zachovávání jejich optimálních hodnot, velmi důležité zabránit velkým a rychlým změnám. Takové nebezpečí hrozí zejména při převozech sbírkových předmětů, při větrání, nepřiměřeném topném režimu nebo při špatné funkci vzduchotechnických zařízení. Při regulaci teploty a vlhkosti je proto třeba stanovit, do jaké míry je pro daný materiál škodlivé kolísání hodnot, které je vždy s regulací spojeno. Někdy je např. vhodnější snížit o něco požadovanou relativní vlhkost a intenzitu zvlhčování, a dosáhnout tak vyrovnanějšího průběhu. Pokud ale měníme mikroklimatické podmínky (v rámci tolerovaných mezí), musíme u citlivých materiálů provést jejich postupnou aklimatizaci.

Pro stanovení optimálních podmínek, zejména stanovení relativní vlhkosti pro organické materiály, není možné pouze mechanicky aplikovat tabulky s doporučenými hodnotami. Z praxe je známo, že např. mnohé dřevěné předměty jsou dlouhodobě stabilizované při relativní vlhkosti poněkud odlišné. V řadě památkových objektů (např. hrady, kostely) dosahuje relativní vlhkost během roku vyšších hodnot. Změny hodnot zde ale nastávají většinou velmi pozvolna a materiál se může bez poškození této změně přizpůsobit. Naopak ve výstavních sálech muzeí a galerií bývá vlhkost spíše nižší. Snaha o neuvážené dosažení doporučené tabulkové hodnoty může vést k poškození předmětu. Také přitom záleží na technologickém zpracování daného materiálu. Pro výrobu dřevěných fotografických přístrojů se používalo dřevo více vysušené (např. na cca 5 % vnitřní vlhkosti).¹⁶ Této skutečnosti je třeba přizpůsobit vlhkost prostředí (viz sorpční izotermy). Navíc mají dřevěné fotoaparáty kovové součástky. Vždy je tedy nutné posuzovat každý případ jednotlivě s ohledem na složení předmětu a stav materiálu, jeho předcházející klimatickou historii, výrobní technologii, na momentální mikroklimatické parametry prostoru a také na naše technické možnosti. Jako příklad, kdy stav předmětu může výrazně ovlivnit volbu vhodné vlhkosti, je možné uvést obsah solí a vlhkosti v porézní keramice. Pokud bychom zvolili vlhkost na spodní hranici doporučeného intervalu, došlo by k vysychání, krystalizaci solí a odtrhávání glazury. Vyšší vlhkost

¹⁶ Takto vysušené dřevo je totiž méně citlivé na změny okolní vlhkosti.

by naopak u suchého předmětu mohla vést k navlhnutí střepe, aktivizaci solí a jejich migraci k povrchu. Dalším faktorem ovlivňujícím volbu vhodné vlhkosti je obsah chloridových iontů v archeologických kovech. V těchto případech je nutné udržovat velmi nízkou relativní vlhkost (cca do 30 %). Dále je nutné respektovat roční průběh venkovního klimatu a jeho odezvu v interiéru. V topném období dochází k ohřevu venkovního vzduchu proudícího do interiéru, a tím ke značnému poklesu jeho relativní vlhkosti. Naopak v jarním a letním období dochází k růstu relativní vlhkosti vstupujícího vzduchu následkem jeho ochlazení v chladnějším interiéru (kondenzace vody v chladných hradních prostorách je toho důkazem). Těmto zákonitostem je nutné přizpůsobit výstavní činnost, transport předmětů a nastavení optimálních mikroklimatických hodnot. Např. výstava polychromovaných soch přivezených v zimním období z chladnějších míst (depozitářů, kostelů apod.) do temperovaného výstavního prostoru může být pro tyto předměty devastující.¹⁷ Spoléhat se na zvlhčovače vzduchu je někdy nejisté, neboť z průchozích výstavních místností zvlhčený vzduch rychle mizí a navíc může kondenzovat v místech, kde to neočekáváme. Intenzivní zvlhčování může vést také k velkému kolísání vlhkosti během výstavního dne. Při běžném režimu otevírání a zavírání výstavních sálů dochází během uzavření prostoru k postupnému zavlhčení na zvolenou relativní vlhkost. Při jeho otevření ale dojde k rychlému provětrání a poklesu vlhkosti. Průběh relativní vlhkosti podél časové osy tak vykazuje značné výchyly. Při regulaci vlhkosti je třeba si také uvědomit, že všechny materiály schopné vyměňovat s okolím vlhkost spoluvytvářejí s okolním vzduchem dynamickou vlhkostní rovnováhu. Během zavlhčování prostoru dochází k zavlhčování všech přítomných materiálů, tj. vedle sbírkových předmětů, také omítky, dřevěných obkladů, podlah apod., až do dosažení vlhkostní rovnováhy, která se neustále obnovuje při jakékoliv změně vlhkosti a teploty vzduchu. Dosažení stabilní relativní vlhkosti může tedy trvat poměrně dlouho a je třeba s tím počítat ještě před zahájením výstavy. Pokud nelze docílit stabilních optimálních podmínek, je třeba vystavit citlivé předměty v přiměřeně těsných vitrínách, kde je dosažení a udržení vhodné vlhkosti snadnější.

V následujících tabulkách jsou uvedeny doporučované optimální hodnoty, respektive intervaly, ve kterých se teplota a relativní vlhkost může pohybovat, aniž by došlo k poškození předmětu. Ovšem za předpokladu, že nedochází k prudkým změnám. Intervaly nám umožňují zvolit takové hodnoty teploty a vlhkosti, při nichž bude za daných okolností docházet k co nejmenšímu kolísání. Také umožňují realizaci letního a zimního mikroklimatického režimu, resp. provozu vzduchotechnických zařízení. V případě předmětů zhotove-

¹⁷ Dřevěný podklad se v suchu smrští a křídová vrstva se uvolní.

ných z kombinovaných materiálů se volí kompromisní mikroklimatické hodnoty, vždy však s ohledem na konkrétní předmět a jeho stav. Pro smíšené sbírky se obvykle doporučuje teplota 18 °C a relativní vlhkost 55 %. Tolerované kolísání teploty a relativní vlhkosti se obvykle vztahuje na časový úsek jednoho dne a nemělo by být vyšší než ± 2 °C / 24 hod., resp. ± 5 % / 24 hod.

Tab. 1 – Doporučené hodnoty teploty a relativní vlhkosti pro vystavování a deponování sbírkových předmětů z různých materiálů (1, 2 upraveno).

Materiál	Optimální hodnoty		Tolerované hodnoty	
	Teplota (°C)	Relativní vlhkost (%)	Teplota (°C)	Relativní vlhkost (%)
Kovy samotné	18–20	30–40		do 55
Kovy v kombinaci s organickými materiály	18–20	40–55		40–60
Kámen, keramika	cca 20	40–55		40–60
Sklo	18	50–55		45–60
Dřevo, kost, kůže	18	55		45–60
Textil, malba na plátně	18	55		45–60
Papír (smíšené sbírky)	18	55	max. 25	40–60
Fotomateriály černobílé	16	30	max. 21	20–50

Uvedené hodnoty teploty jsou navrženy spíše pro výstavní podmínky. V depozitární praxi může být teplota většinou nižší. Obvykle je tolerován teplotní interval od cca 5 do 20 °C s výjimkou velmi citlivých materiálů (např. fotografický materiál a některé přírodovědné sbírky, viz dále). Pokud jsou depozitární hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu příliš odlišné od podmínek např. v badatelně, je nutné mít k dispozici tepelně izolovanou schránku pro přenášení a postupnou aklimatizaci předmětů. Zvláště významné to je v případě předmětů uložených při nízké teplotě, kdy může dojít při přenesení do teplejší místnosti k jejich orosení (je nutné dávat pozor na hodnotu rosného bodu). I když je správná teplota důležitým parametrem, větší pozornost je obvykle věnována vlhkosti, která může způsobit poměrně rychlé poškození předmětu. Hodnoty relativní vlhkosti také většinou mnohem více kolísají než je tomu u teploty.

Archivní materiály patří mezi nejcitlivější sbírky. Optimální podmínky pro trvalé uložení uvádí technická norma ISO 11799 (tab. 2).

Tab. 2 – Přehled doporučených mikroklimatických podmínek pro deponování archivních materiálů (podle ČSN/ISO 11799).

Materiál	Teplota s povolenou změnou za 24 hod. (°C)	Relativní vlhkost s povolenou změnou za 24 hod. (%)
Papír (optimální uložení)	2 – 18 $\pm$ 1	30 – 45 $\pm$ 3
Papír (pravidelně badatelsky využívaný)	14 – 18 $\pm$ 1	35 – 50 $\pm$ 3
Pergamen, kůže	2 – 18 $\pm$ 1	50 – 60 $\pm$ 3
Fotografický film černobílý (stříbrno-želatinový) na podložce z acetátu celulózy	max. 2 $\pm$ 2 max. 5 $\pm$ 2 max. 7 $\pm$ 2	20 – 50 $\pm$ 5 20 – 40 $\pm$ 5 20 – 30 $\pm$ 5
Fotografický film černobílý (stříbrno-želatinový) na podložce z polyesteru	max. 21 $\pm$ 2	20 – 50 $\pm$ 5
Fotografický film barevný (chromogenní) na podložce z acetátu celulózy	max. -10 $\pm$ 2 max. -3 $\pm$ 2 max. +2 $\pm$ 2	20 – 50 $\pm$ 5 20 – 40 $\pm$ 5 20 – 30 $\pm$ 5
Fotografické desky černobílé (stříbrno-želatinové)	max. 18 $\pm$ 2	30 – 40 $\pm$ 5
Papírové fotografie černobílé (stříbrno-želatinové)	max. 18 $\pm$ 2	30 – 50 $\pm$ 5
Papírové fotografie barevné (chromogenní)	max. 2 $\pm$ 2	30 – 40 $\pm$ 5
Papírové fotografie ostatní	max. -3 $\pm$ 2	30 – 50 $\pm$ 5
Gramofonové desky (acetát, šelak, vinyl)	16 – 20 $\pm$ 2	30 – 40 $\pm$ 5
Magnetické pásky na polyesterové podložce	8 – 11 $\pm$ 2 8 – 17 $\pm$ 2 8 – 23 $\pm$ 2	15 – 50 $\pm$ 5 15 – 30 $\pm$ 5 15 – 20 $\pm$ 5
Magnetická média ostatní	12 – 18 $\pm$ 2	30 – 40 $\pm$ 3
Optické disky	-10 – 23	20 – 50 $\pm$ 10

Je nutné upozornit, že filmy na acetátové podložce musí být uloženy samostatně kvůli uvolňování kyseliny octové. Samostatné uložení vyžadují také filmy na nitrocelulóze kvůli vysoké hořlavosti a nebezpečí samovznícení.

POŠKOZENÍ PŘEDMĚTŮ POLUTANTY A KONTAKTEM S MATERIÁLY OBSAHUJÍCÍMI ŠKODLIVINY

Polutanty jsou plynné i pevné látky rozptýlené v ovzduší. Dle jejich původu je můžeme rozdělovat na venkovní a vnitřní. Venkovní pocházejí z přírodních procesů (např. hnilobné procesy, vulkanická aktivita, blesky) a z lidské činnosti (průmysl, doprava apod.). Vnitřní škodliviny pocházejí ze stavebních materiálů, zařízení místností, z přítomných lidí a ze samotných sbírkových předmětů. Při posuzování rizik je třeba vzít v úvahu přítomnost lokálních zdrojů škodlivin a převažující charakter počasí (směr větru, inverze apod.), který může situaci výrazně zhoršovat a umožňovat transport škodlivin ze vzdálenějších oblastí. Koncentraci významných polutantů v ovzduší monitoruje Státní zdravotní ústav a některé hygienické stanice. Výsledky monitorování jsou k dispozici na příslušných internetových stránkách. Také je možné požádat o dočasnou instalaci monitorovacího zařízení přímo v místě muzea či depozitářů.

Korozivní působení atmosféry na kovy lze měřit pomocí přístrojů (korozimetrů), které pracují např. na principu změny elektrických veličin (např. vodivosti) v závislosti na povrchové korozi měděných a stříbrných senzorů (např. přístroj OnGuard od firmy PuraFil). Korozivita (korozní agresivita) prostředí je dobře zpracována v technických normách.

Venkovní polutanty

V následujícím textu jsou charakterizovány hlavní polutanty pocházející především z venkovního prostředí.

Oxid siřičitý: Jeho největším zdrojem je spalování paliv obsahujících síru. Před instalací odsiřovacího zařízení byly jeho největším producentem tepelné elektrárny. Dnes jsou významným zdrojem tohoto oxidu spíše lokální topeniště. Je to kyselý plyn, který může za určitých okolností přecházet na kyselinu sírovou. Svojí kyselostí působí degračně na řadu materiálů (kovy, papír, usně, vápenec atd.). V interiéru reaguje se zásaditým pojivem omítek, díky čemuž se jeho koncentrace snižuje.

Oxidy dusíku: Jejich významným zdrojem je automobilová doprava. Jedná se rovněž o kyselinotvorný oxid s korozivními účinky.

Ozón: Vzniká účinkem elektrických výbojů (blesk), v radioaktivních ozařovacích, činnostech některých elektrických zařízení (např. kancelářských kopírek) apod. V malém množství je přítomen v atmosféře. Ozón je také významnou součástí tzv. letního (fotochemického) smogu, který vzniká při horkých letních dnech a vysoké hustotě do-

pravy působením ultrafialového záření na oxidy dusíku. Má silné oxidační účinky a způsobuje degradaci zejména organických materiálů.

Sirovodík: Vzniká při hnilobných procesech (v přírodě, v čistírnách odpadních vod, ve střevech živočichů) nebo při průmyslové výrobě. Je známý zejména svým účinkem na stříbrné předměty, u kterých způsobuje černání. Vzniklý sulfid stříbrný je sice nevzhledný, ale svým bariérovým efektem zpomaluje další korozi. K tomuto brzdicímu efektu ovšem nedochází za vysoké vlhkosti nebo za přítomnosti oxidů dusíku.

Amoniak (čpavek): Může se také uvolňovat při hnilobných procesech. Zvláštním případem je rozklad některých chemických látek, např. močoviny. Je znám případ, kdy byla močovina použita jako příměs do betonové směsi pro snížení teploty zpracovatelnosti. Po dokončení stavby docházelo k postupnému rozkladu močoviny a k uvolňování amoniaku ze stavební konstrukce. Amoniak se může vyskytovat také v některých disperzních nátěrových hmotách jako regulátor pH.

Působením amoniaku (a zásaditých látek vůbec) dochází k degradaci bílkovinných materiálů (např. hedvábí, vlny, usně, želatinové vrstvy fotografií apod.). Působí také černání mosazi.

Prach: Prach může být, podle svého složení, původcem nebo zprostředkovatelem mechanického (abrazivního), chemického i biologického poškození sbírkových předmětů. Prach může obsahovat různé chemické škodliviny a mikroorganismy (např. bakterie, plísňové spory). Vlhkost, která se na prachové částice váže, aktivuje chemické a biologické poškození. Některé plísně začínají růst nejprve v prachové vrstvě a odtud za příznivých podmínek mohou přejít na materiál vlastního předmětu.

Výrazné abrazivní poškození (poškrábání) způsobuje stavební prach, který obsahuje tvrdé částice. Pokud se dostane do vzduchotechnického zařízení (při nedostatečnosti filtrů), je unášen proudem vzduchu a způsobuje poškozování ofukovaných předmětů.

Kromě prachu, který pochází z vnějších i vnitřních zdrojů, patří do této skupiny pevných polutantů také saze a popílek ze spalovacích procesů.

Vnitřní škodliviny

V interiéru se může nacházet celá řada materiálů uvolňujících škodlivé látky. Vedle stavebních konstrukcí a jejich povrchové úpravy (např. podlahové stěrky) to mohou být podlahové krytiny, depozitární či výstavní mobiliář a jeho povrchová úprava, obalový materiál

i samotné sbírkové předměty. Intenzita působení těchto škodlivin souvisí s jejich koncentrací v prostředí (místnost, skříň, obal), s teplotou a vlhkostí. Pokud je zdroj škodliviny uzavřen spolu s předmětem ve skříni, zásuvce či obalu, může její koncentrace dosáhnout kritické hodnoty. Naopak v provětrávaném prostoru bude nebezpečí nižší.

Působení nějakého materiálu na materiál sbírkového předmětu se dá experimentálně ověřit pomocí tzv. Oddyho testu. Tento test se provádí např. tak, že do těsně uzavíratelné skleněné nádoby se vloží miska s vodou a zkoumaný (potenciálně škodlivý) materiál, do horní části nádoby se pak zavěsí kovový plíšek (stříbrný, měděný, olověný apod.). Nádoba se udržuje v termostatu při zvolené teplotě několik týdnů (případně měsíců) a vyhodnocuje se korozní napadení přítomného kovu.

Při posuzování nebezpečnosti použitých materiálů je třeba si uvědomit, že v případě depozitářů i expozic se jedná vždy o dlouhodobé působení.

Z hlediska působení na sbírkové předměty je třeba posuzovat také hasební prostředky a chování různých materiálů při hoření, kdy dochází k uvolňování celé řady látek škodlivých nejen pro člověka a životní prostředí, ale i pro sbírkové předměty.

Stavební a dekorační materiály: Škodlivé plyny se mohou uvolňovat z podlahových krytin (PVC, parkety, dřevotřískové podlahové desky – lamino, stěrkové a nátěrové hmoty aj.), dřevěných obkladů, nátěrů, tapet apod. Také mohou pocházet z některých příměsí do stavebních hmot.

Mobiliář: Je známo, že některé druhy listnatých dřev, např. dřevo dubové, uvolňují acetaldehyd a kyselinu octovou. Tato kyselina působí degradačně např. na kovy (mimo jiné také na olovo), materiály obsahující celulózu (papír, bavlna, len), na předměty obsahující uhlíčitán vápenatý (perly, lastury, apod.) aj. Z tohoto důvodu je nevhodné ukládat takovéto předměty do dubových skříní a zásuvek. Jehličnaté druhy dřeva obsahují pryskyřice, jejichž výpary působí škodlivě např. na fotografie.

Dalším nevhodným materiálem jsou dřevotřískové desky. Tyto desky jsou vyrobeny lisováním z dřevěných třísek spojených lepidlem. Zdrojem škodlivin zde může být jednak dřevo třísek, ale hlavně lepidlo, ze kterého se uvolňuje formaldehyd či další škodliviny (při použití fenolformaldehydových nebo melaminoformaldehydových pryskyřic). Tento materiál do depozitáře ani do expozice nepatří. Nedoporučuje se ani v případě, že jde o tzv. laminované desky, u kterých je uvolňování škodlivin omezeno povrchovou fólií.

Další nebezpečí hrozí z montážních materiálů (lepidel a tme-lů). Některé druhy silikonových lepidel, používaných např. pro lepení skleněných vitrín, při vulkanizaci („tuhnutí“) uvolňují kyselinu octovou. Při použití tohoto lepidla je nutné před instalací sbírkových předmětů počkat dostatečně dlouho, dokud nedojde k odvětrání kyseliny. Také mnohé nátěrové prostředky obsahují škodlivé látky.

Z uvedených důvodů se dnes při výrobě úložného mobiliáře používá pozinkovaná ocel, nebo ocel opatřená vypalovaným nátěrem, sklo a bezpečné polymerní materiály (např. polyethylen, polypropylen, polyakryláty, polykarbonáty).

Obaly: Významným zdrojem poškození mohou být také nevhodné obalové materiály. Jako příklad je možné uvést výrobky z měkčeného polyvinylchloridu (PVC), které uvolňují změkčovadla a při degradaci také chlorovodík. V minulosti se používaly obaly z PVC např. pro ukládání mincí. Následkem působení uvedených sloučenin docházelo k jejich korozi. Z tohoto důvodu je lépe se vyhnout také podlahovým krytinám vyrobeným z PVC. Je třeba si ovšem uvědomit, že v novodobých sbírkách mohou být z PVC zhotoveny i samotné sbírkové předměty. Dalším, velmi častým příkladem je použití nevhodného obalového papíru. Na předměty působí, zvláště když dochází k přímému kontaktu, některé chemické látky obsažené v papíru a jeho acidobazická reakce – pH (viz kapitola o obalovém materiálu). Vedle samotného obalu mohou škodit také lepidla použitá k jeho zhotovení. V minulosti se velmi často používaly (a někde ještě používají!) pro ukládání fotografií, mincí apod. tzv. pergaminové¹⁸ sáčky. Na stříbrných mincích se v místě slepu tvořily bílé skvrny, protože použité lepidlo obsahovalo chlorid amonný.

Materiály obsahující síru a její sloučeniny působí černání stříbrných předmětů. Z tohoto důvodu není vhodné používat vlněný filc na polepování mincovních plat. Podobně působí kontakt předmětu s gumovými výrobky (např. gumičkami), které jsou vulkanizovány sírou.

Z uvedených příkladů je zřejmé, že všem obalovým a transportním prostředkům je nutné věnovat patřičnou pozornost.

Sbírkové předměty: Zdrojem plyných škodlivin mohou být také samotné sbírkové předměty, které jsou zhotoveny např. z dubového dřeva, ale také z různých plastických hmot (např. celulóid, PVC, polyurethany, podložka filmů z acetátu celulózy), které uvolňují látky použité při jejich zpracování (např. změkčovadla) nebo produkty své postupné degradace (způsobené chemickými látkami, teplem či světlem). Ze sbírkových předmětů se také mohou uvolňovat různé

¹⁸ Druh průsvitného papíru.

konzervační prostředky, např. pentachlorfenol, který byl v minulosti hlavní součástí insekticidních prostředků (Pentalidol aj.).

Maximální přípustné koncentrace škodlivin v ovzduší

V následujících tabulkách je uveden přehled maximálních přípustných koncentrací nejdůležitějších plyných polutantů.

Tab. 3 – Maximální přípustné hodnoty koncentrace plyných a prachových polutantů pro uložení archivních dokumentů na papírové podložce (dle normy ISO/DIS 11799).

Jemné prachové částice (nad 0,5 µm)	50 µg/m ³
Oxidy dusíku (NO _x)	5 – 10 ppb ¹⁹
Oxid siřičitý (SO ₂)	5 – 10 ppb
Ozón (O ₃)	5 – 10 ppb
Kyselina octová	4 ppb
Formaldehyd	4 ppb

Pro vystavování archivních materiálů (smíšených knihovních sbírek, fotomateriálů a magnetických médií) se připouští následující hodnoty polutantů.

Tab. 4 – Maximální přípustné hodnoty koncentrace plyných a prachových polutantů pro vystavování a uchovávání archivních materiálů (10).

Prašnost	≤ 50 µg/m ³
NO _x	≤ 10 µg/m ³
SO ₂	≤ 10 µg/m ³
Ozón	≤ 4,5 µg/m ³

Ochrana před škodlivinami

Ochrana před pevnými škodlivinami provádíme pravidelným úklidem, čištěním exponátů, omezením větrání (zejména v době nejvyšší prašnosti), filtrací vzduchu (vzduchotechnika, čističky vzduchu) a přímou ochranou předmětů (obaly, vitríny).

¹⁹ Tato bezrozměrná jednotka znamená v tomto případě objemový zlomek, který vyjadřuje počet objemových jednotek škodlivého plynu v jednom bilionu objemových jednotek znečištěného vzduchu.

Proti plyným škodlivinám chráníme předměty omezením větrání, např. v době dopravní špičky, nebo naopak řízeným větráním v případě uvolňování škodlivin z vnitřního prostředí. Důslednou kontrolou stavebních materiálů, výstavního a depozitárního mobiliáře, balících materiálů apod. Dále použitím speciálních filtrů (chemických, sorpčních) u vzduchotechnického zařízení, uzavřením předmětů do vitrín (případně opatřených filtry) nebo obalů, které škodliviny pohlcují. Existují např. speciální papíry pro ochranu stříbrných předmětů, které pohlcují sirovodík. Papírové obaly s tzv. alkalickou rezervou pohlcují kyselé plyny (viz dále). K dostání jsou také speciální tkaniny obsahující tzv. aktivní uhlí, které má schopnost vázat na svém povrchu některé plyné škodliviny.

Pokud jsou zdrojem škodlivin sbírkové předměty, není vhodné je uzavírat do krabic, kde dochází ke koncentraci výparů a zpětnému působení na předmět. Jako příklad může posloužit zkušenost s broží vyrobenou z celulódu (náhražka želvoviny) a kovu. Brož byla dlouhodobě uložena v papírové krabici, kde došlo působením výparů z celulódu a pravděpodobně také vlivem nevhodného papíru (nekvalitní krabicové lepenky) ke korozi kovové části předmětu. Ze stejného důvodu je vhodné ponechat pootevřené dveře dubových skříní, aby se omezila možnost koroze kovových součástí (pantů, zámku apod.), zvláště pokud mají citlivou povrchovou úpravu (např. modření).

Obalový materiál

Pro ukládání sbírkových předmětů je nutné používat materiály, které v kontaktu s předmětem nezpůsobí jeho poškození a které jsou samy odolné proti působení prostředí. Vzhledem k tomu, že se často jedná o dlouhodobé uložení, je třeba věnovat úložným materiálům velkou pozornost. Nelze však podceňovat ani krátkodobé balení předmětů např. při zápujčkách či převozech na výstavy. Je nutné si také uvědomit, že působení úložného/obalového materiálu na sbírkové předměty je za podmínek zvýšené vlhkosti a teploty intenzivnější. Z toho důvodu dbáme na to, aby balicí materiál nebyl příliš navlhavý. Na druhou stranu schopnost pohlcovat nebo uvolňovat vlhkost přispívá ke stabilizaci vlhkosti uvnitř obalu.

Obal by měl také obstát za krizových situací, měl by vyhovovat požadavkům hygienickým, požárním a ekologickým. Některé materiály uvolňují při hoření jedovaté sloučeniny, za zvýšené teploty se stávají lepivými. Jiné mohou za vyšší vlhkosti zplsnivět.

Obal má nejen funkci ochrannou, ale bývá také nosičem informací o předmětu. Typickým příkladem jsou papírové sáčky na archeologické nálezy s popisem předmětu a přesné lokalizace nálezu. Pokud dojde k poškození obalu s touto informací, výpovědní hodnota předmětu značně klesne. K takovým škodám došlo např. při nedávných povodních.

Níže je uveden krátký přehled balicích materiálů používaných při preventivní konzervaci. Více místa je věnováno papíru, neboť je stále jedním z nejpoužívanějších materiálů, který ale musí splňovat specifické požadavky.

Plasty

V současnosti se nejvíce uplatňují výrobky zhotovené z polyethylenu, polypropylenu a polyesteru. Používají se různé fólie, pěnové desky (např. Etafoam), plstě (např. polyesterové geotextílie) a také krabice či přepravky. Fólie je možno v případě potřeby svařovat. Pro ukládání předmětů citlivých na vlhkost se používají krabice s parotěsnými víky (nebo plastové obaly). Vlhkost je přitom uvnitř regulována pomocí sorpční vložky (obsahující např. silikagel) a sledována indikátorovými papírky. Pro ochranu kovových předmětů se vyrábějí fólie s obsahem korozních inhibitorů, které působí při kontaktu s předmětem nebo se postupně odpařují a v uzavřeném obalu vytvářejí antikorozi atmosféru. Pro ochranu předmětů citlivých na kyslík slouží speciální fólie, které jsou pro kyslík nepropustné. Vedle předmětu se do fólie před jejím zavařením přidá absorbér kyslíku a dle potřeby také regulátor vlhkosti. Fólie mohou být opatřeny reflexní vrstvou, která odráží tepelné záření. Nevýhodou plastů bývá jejich sklon k nabíjení elektrostatickým nábojem a přitahování prachu. Některé druhy fólií se proto vyrábějí s antistatickou úpravou.

Papír pro ukládání sbírkových předmětů

Papír je pro ukládání sbírkových předmětů stále velmi rozšířeným materiálem. Umožňuje snadné popisování, může být také nosičem speciálních, např. antikorozi látek apod.

Pro přímý kontakt se sbírkovými předměty se volí papír s tzv. archivní kvalitou, pro fotografický materiál s fotoarchivní kvalitou. Vnější obaly (desky, krabice apod.) mohou být zhotoveny z papíru o něco nižší kvality, ale s tzv. alkalickou rezervou tvořenou např. uhličitánem vápenatým, který neutralizuje kyselé plyny. Požadavky na kvalitu archivního papíru jsou obsaženy v mezinárodních normách ISO 9706 – Paper for documents a ISO 11108 – Archival paper (pro trvalé uchovávání)²⁰. U dodavatelů se často nerozlišuje mezi dokumentním a archivním papírem a označení „archivní“ se

²⁰ Archivní papír má být vyroben z bavlny, lnu, konopí nebo jejich směsí, případně se specifikovaným přídatkem bělené buničiny. Plošná hmotnost nejméně 70 g/m², pevnost v dotčení min. 350 mN, odolnost proti přehýbání min. 2,42 podle Schoppera, což odpovídá cca 260 dvojohybům, alkalická rezerva cca 20 g uhličitánu vápenatého na 1 kg hmoty papíru, pH studeného výluhu 7,5–10, číslo Kappa menší než 5. Takový papír odpovídá i normě ISO 9706 a může být označen průsvítkou s matematickým symbolem nekonečna v kroužku nad číslem normy.

pak vztahuje k normě ISO 9706. Pro fotoarchivní papír je požadován tzv. PAT test (test pro kontakt papíru s fotografickým materiálem) prováděný dle příslušných technických norem (ANSI IT 9.16 – ISO 14523, dále pak TAPPI T444 a DIN ISO 10214). Tento test je poměrně nákladný a provádí se např. v Image Permanence Institute v Rochester Institute of Technology, Rochester, NY.

Normy jsou nastavením určitého standardu z hlediska současné archivní praxe. Pro uložení historických archiválií a sbírkových předmětů to je ale minimální požadavek, který musí být splněn. Vlastnosti papíru bývají uváděny v technických listech či atestech výrobce.

Papír pro ukládání sbírkových předmětů by měl být vyroben z bělených buničin a rostlinných vláken, bez přídavku dřevoviny či recyklovaného papíru. Obsah chemických přísad musí být co nejnižší. Chemická reakce by měla být v podstatě neutrální (pH=7). V závislosti na druhu sbírkových předmětů a na charakteru okolního prostředí se pH papíru volí od slabě kyselých do slabě zásaditých hodnot. Z hlediska trvanlivosti a odolnosti papíru vůči kyselému prostředí je žádoucí, aby papír obsahoval tzv. alkalickou rezervu tvořenou obsahem uhličitánu vápenatého nebo hořečnatého. Takový papír je pak zásaditý (pH=7,5–10) a je schopen neutralizovat vliv kyselých látek ve své blízkosti, ať už se jedná o kyselé plyny z atmosféry nebo kyselé látky pocházející ze sbírkového materiálu (např. z nekvalitního papíru, ze dřeva, z botanického materiálu apod.). Pro přímý kontakt s fotografickým materiálem a pro ukládání vlněného a hedvábného textilu, jakož i dalších sbírkových předmětů obsahujících bílkoviny (např. kůže, kost), je naopak žádoucí, aby byl obalový papír pH neutrální, až velmi slabě kyselý (pH=7–6,5). Zásadité prostředí působí totiž na bílkoviny degradačně. Papír pro přímý kontakt se sbírkovým materiálem by také neměl obsahovat tzv. redukovatelnou síru (důležité především pro stříbro a fotomateriál), chloridy, sírany a těžké kovy, dále pak nevhodná klíždla, změkčovadla, barviva, nátěrové chemikálie, optické zjasňovací prostředky aj. Z hlediska koroze kovových materiálů nesmí být papír kyselý a nesmí obsahovat korozivní látky (např. chloridy, redukovatelnou síru, nevhodná klíždla aj).

Pro orientační posouzení pH papíru se používají tzv. pH-tužky, jejichž psací náplň reaguje na pH změnou barevnosti. Přesné stanovení pH je možné pouze pomocí pH-metru, kterým měříme buď pH na povrchu (dotykovou elektrodou) nebo z vodného výluhu získaného normovaným způsobem ze zkoušeného papíru.²¹

²¹ Tyto hodnoty je třeba rozlišovat.

POŠKOZENÍ PŘI UKLÁDÁNÍ, INSTALACI A MANIPULACI

Poškození způsobené nevhodným uložením nebo výstavní instalací předmětu

Při špatném způsobu uložení (v depozitáři) nebo výstavní instalace dochází k dlouhodobému mechanickému namáhání předmětu, které může vést až k jeho poškození. Použití nevhodných podkladních nebo balících materiálů může způsobit chemickou degradaci. Při přípravě výstav vzrůstá riziko poškození v souvislosti s častým přemísťováním předmětů z místa na místo, než dojde k jejich definitivní instalaci.

V následujícím textu jsou uvedeny některé příčiny takového poškození.

Nevhodná poloha

Tento způsob poškození se týká těžších předmětů, u kterých při nevhodné poloze může dojít k přetěžování slabší části (slabší z důvodu materiálového, konstrukčního, nebo části zeslabené např. působením červotoče) a následně k její deformaci nebo dokonce destrukci. U kamenných předmětů může dojít ke vzniku prasklin při špatné poloze vzhledem ke vnitřní tektonické struktuře kamene.

Nevhodné zavěšení

Při zavěšení předmětu dochází k jeho namáhání v místě závěsu (např. závěsná oka v zádech dřevěných soch). Hrozí zde nebezpečí vytržení závěsu a pád předmětu. K tomuto typu poškození můžeme také přiřadit otlučené rámy houpajících se obrazů nevhodně zavěšených na pojízdných roštích (je nutné zavěšovat na dva závěsy nebo používat fixační pomůcky – klemy, podpůrné lišty apod.). Dalším příkladem může být nevhodný způsob zavěšení textilních předmětů (těžkých šatů, goblénů apod.) na tenkých ramínkách či několika málo očkách.

Ještě dnes můžeme být občas svědky instalace textilních předmětů pomocí protaženého silonového vlasce bez řádné podložky nebo přibití praporu na výstavní panel pomocí hřebíčků.

Nedostatek místa

Při manipulaci může dojít snadno k poškození sousedních předmětů. Čím jsou předměty větší a těžší, tím více místa musí být kolem nich. Prostorové požadavky závisí také na způsobu uložení a na technice, kterou máme k dispozici (např. uložení na paletách a použití paletových vozíků).

Absence podložek

Citlivé části předmětu musí být podloženy nebo obaleny měkkým materiálem, aby nedošlo k jejich otlačení nebo odření. Dalším

příkladem poškození je vystavování silných knih v rozevřeném stavu. Pokud nejsou použity podkladové klíny, které umožňují rozevřít knihu pouze částečně, dochází ke zvýšené deformaci hřbetu nebo až k jeho prasknutí. Stejně podložky se musí používat také pro studijní účely (badatelské služby).

Nevhodné materiály

Používání nevhodných lepicích pásek a jiných lepidel může mít za následek mechanické poškození. Při neodborné snaze o jejich odstranění může dojít k odtržení dýhy, roztržení papíru apod. Kromě toho může docházet k penetraci lepidel, změkčovadel aj. látek z fixačního materiálu do sbírkového předmětu a k jejich chemickému působení. Jejich odstranění, zvláště po delší době, je často problematické, ne-li nemožné.

Poškození při badatelské službě

Zde je nutné si uvědomit, že s badatelskou službou souvisí přenesení předmětu z depozitáře do badatelny, jejíž mikroklima může být někdy dosti odlišné od podmínek v depozitáři. Podmínky v badatelně by měly být přizpůsobeny co nejvíce podmínkám depozitárním, aby nedocházelo ke klimatickým šokům. V některých případech (např. fotografie z chlazených depozitářů) je nutná postupná aklimatizace předmětu na podmínky v badatelně. Pro tyto účely se používají různé druhy termotašek, nebo tzv. klimabedny. Platí obecně, že badatel se musí přizpůsobit požadavkům na ochranu předmětů. Při vlastním studiu musí také používat rukavice, které chrání nejen předmět před lidským potem, ale i badatele před účinkem případných konzervačních látek. Zdravotní riziko pro personál a badatele hrozí také v případě předchozího napadení materiálu plísními. I když bylo provedeno fungicidní ošetření, v materiálu zůstávají produkty metabolismu plísní, které mohou být toxické.

Poškození při manipulaci, transportu a instalaci

Při této činnosti hrozí hlavně riziko mechanického poškození odřením, nárazy, otřesy a poškození způsobené špatným uchopením či zavěšením předmětu. Před každou manipulací je nutné provést průzkum předmětu z hlediska mechanické pevnosti, která je dána materiálem, konstrukcí a jejich případným narušením. Důležitým kritériem je pochopitelně také celková velikost a hmotnost předmětu. Není např. možné při stěhování uchopit větší dřevěnou sochu za ruku. Končetiny jsou totiž u dřevěných soch většinou nasazeny k tělu pomocí čepů, ze kterých se mohou uvolnit nebo ulomit.

Dalším nebezpečím spojeným s manipulací je chemické působení lidského potu (pokud nejsou používány ochranné rukavice)

a působení nevhodných obalových materiálů. Rukavice mají chránit předmět před potem, ale nesmí omezovat jeho bezpečné uchopení. Bavlněné rukavice jsou vhodné pro většinu předmětů, ale u skla zvyšují riziko vyklouznutí. Zde je potřeba používat rukavice opatřené protiskluzovými body nebo rukavice kožené, latexové apod.

Během transportu jsou předměty často vystaveny působení nevhodných klimatických podmínek a jejich náhlým změnám. V nákladním prostoru kamionu může teplota dosahovat vysokých hodnot, nebo naopak klesat pod bod mrazu. Při letecké dopravě mohou být teploty v nákladním prostoru mnohem nižší než v částech pro cestující. Lodní, zejména námořní, doprava je pro transport sbírkových předmětů velmi nevhodná vzhledem k dlouhodobému působení vysoké vlhkosti. Nejde přitom jen o vlastní transport, ale také o proces nakládání a vykládání a o dočasné uložení ve skladu. U lodní a letecké dopravy je nebezpečí při nakládce a vykládce vyšší, v závislosti na kvalitě místního pomocného personálu, kterou nemůžeme ovlivnit.

Vždy by měla být zajištěna možnost přímého dohledu odborného pracovníka (konzervátora, kurýra, pracovníka odborné firmy) nejen při balení a vybalování předmětů, ale také při nakládání a vykládání.

Opatření pro bezpečný transport

Personální zajištění – transport musí být zajištěn jak vlastními, tak externími kvalifikovanými pracovníky (specializovaná firma nebo firma se zkušenostmi s transportem předmětů kulturní povahy). Ze strany muzea se přípravy i vlastní akce účastní registrátor, konzervátor-restaurátor, správce depozitáře a odborný správce sbírky. Celá akce by mohla být zajištěna následovně.

Registrátor – organizačně zajišťuje a koordinuje akci, shromažďuje potřebné podklady, eviduje balené předměty a transportní bedny a vyhotovuje příslušné seznamy.

Konzervátor-restaurátor – zná nejlépe stav předmětu, doporučuje vhodný obalový materiál, způsob manipulace a mikroklimatické podmínky a případně převážený předmět doprovází jako kurýr. Vypracovává zprávu o stavu předmětu (pokud ji nevypracuje odborný správce sbírky – kurátor).

Správce depozitáře – provádí zabalení předmětu a jeho uložení do transportní bedny dle pokynů konzervátora-restaurátora, nebo přitom spolupracuje s pracovníky transportní firmy (podle jejich profesionality).

Odborný správce sbírky (kurátor) – sleduje zajištění akce, vypracovává zprávu o stavu předmětu (pokud ji nevypracuje konzervátor-restaurátor), případně doprovází předmět jako kurýr.

Manipulační technika – vozíky (zdvižný, paletový, rudl apod.), stěhovací kurty, přísavky, podložky atd.

Obalová technika – vhodný balicí a výplňový materiál z hlediska chemického (působení na sbírkový předmět) a mechanického (tlumení otřesů), transportní bedny, klimabedny.

Indikátor otřesů – pro indikaci větších otřesů během transportu slouží indikátory, které mají podobu úzké krátké trubičky (cca 2 cm) připevněné na přepravní bednu. Trubička se při otřesu určité síly zbarví červeně.

Dopravní prostředky – nákladní automobily by měly mít, vedle spolehlivých provozních parametrů, dostatečné odpružení, vybavení pro bezpečné upevnění nákladu, zdvižné čelo, klimatizaci nákladového prostoru (včetně měření teploty a vlhkosti z kabiny vozu), zabezpečení proti vloupání. Pro uvedený účel jsou vyráběny speciální skříňové vozy.

Doprovod – dle charakteru převážených předmětů by měl být zajištěn odborný (kurýr) a bezpečnostní doprovod (ochranka). Kurýr ve významných případech doprovází transport, jindy se přepravuje do cíle po vlastní ose. Ochranka se používá při transportu velmi cenných předmětů. V každém případě by osádka vozu měla být alespoň dvojčlenná.

Administrativní zajištění – pokud se jedná o zápůjčku předmětu (např. jinému muzeu na výstavu), musí být potvrzena řádná výpůjční smlouva, která obsahuje vedle údajů o půjčitel, vypůjčitel, půjčovaných předmětech, účelu výpůjčky a majetkové odpovědnosti za půjčený předmět také podmínky výpůjčky. Sem náleží hlavně mikroklimatické podmínky (teplota, vlhkost a osvětlení), instalační podmínky (např. vystavovat pouze ve vitríně) a transportní podmínky (zajištění specializovanou firmou, doprovod kurýrem půjčitele, pojištění apod.). Důležitým dokumentem je také zpráva o stavu předmětu (Condition Report), kde je popsán stav předmětu a jeho případné poškození (např. natržený pravý horní roh grafického listu) dokumentované fotografií nebo nákresem. Při předávání předmětu vypůjčitel se kontroluje, případně doplňuje, Condition Report (většinou za účasti restaurátora) a podepisuje se předávací protokol. Condition Report je důležitý dokument také pro pojišťovnu v případě poškození předmětu během zápůjčky.

Poškození nevhodným ošetřováním

K tomuto poškození může dojít v souvislosti s běžnými úklidovými pracemi. Ohroženy tak mohou být sbírkové předměty, ale především umělecké a uměleckořemeslné součásti zařízení historických muzejních budov. Jiným případem je překročení kompetencí, když se muzejní pracovník – nekonzervátor, snaží v „dobrém úmyslu“ nějaký předmět svépomocí očistit.

Při otírání prachu z nábytku může snadno dojít k zatření prachovky o uvolněnou dýhu a k jejímu odtržení. K horším následkům dochází při použití vlhkého hadříku nebo při nevhodném použití různých prostředků určených pro údržbu nábytku v domácnosti (v minulosti např. nechvalně známá Diava) apod.

Jakékoliv přímé ošetřování sbírkových předmětů spadá do kompetence konzervátora-restaurátora, který jediný může stanovit, jaké předměty a jakým způsobem mohou být ošetřovány v rámci běžného úklidu. Úklidový personál, ale i ostatní pracovníci muzea musí být v tomto směru náležitě poučeni.

Poškození sbírkových předmětů může nastat také při jejich evidenci. Při popisování inventárními čísly je třeba používat popisovací látky sice trvanlivé, ale také odstranitelné bez poškození předmětu. Popisovací látka nesmí chemicky narušovat materiál předmětu a nesmí pronikat do jeho struktury (např. vsáknutím do dřeva), odkud je těžko odstranitelná. Před popisem by mělo být dotyčné místo nejprve opatřeno izolačním nátěrem (např. trvale rozpustným akrylátovým lakem), na který pak bude napsáno inventární číslo. Další hrozbou je používání samolepicích štítků. Lepivé látky mohou chemicky narušovat povrch předmětu, nebo při jejich strhávání dochází k odtržení povrchové vrstvy (např. poškození politury na nábytku). Jiným příkladem poškození je označení papírových předmětů (knihy, grafické listy apod.) razítkem muzea. Můžeme se setkat i s případy, kdy bylo razítko bezohledně obtištěno přímo do obrazového pole grafického listu.

Poškození stavební činností

Se stavební činností, ať již probíhá venku nebo uvnitř objektu, souvisí zvýšená prašnost. Stavební prach je ostrý a obsahuje zásadité látky (omítka, cement, vápno). Hrozí tedy poškrábání předmětů a za zvýšené vlhkosti také jeho chemické působení. Tento prach je také poměrně jemný a dobře proniká i do vzdálenějších částí budovy. Je tedy nezbytné prachotěsně oddělit prostory se stavební činností od prostor se sbírkovými předměty a sbírkové předměty přikrýt vhodnými obaly. V praxi to znamená oddělení části budovy pomocí dobře utěsněných příček. Pokud ovšem má být taková zábrana průchozí, její účinnost se prudce snižuje. Vlivem proudění vzduchu dochází k rychlému průniku prachu netěsnostmi nebo při

otevření dveří. Z tohoto důvodu jsou téměř neúčinné různé závěsy. Nebezpečí při manipulaci s lešením, transportem stavebnin apod. není jistě třeba blíže popisovat.

Během stavebních prací se také zvyšuje riziko bezpečnostní (nebezpečí krádeže).

Živelné pohromy a další rizika²²

Mezi škody způsobené živlem („vyšší mocí“) řadíme poškození vzniklé následkem požáru, působení vody, větru, zemětřesení apod. Klasifikace je podrobně zpracována, mimo jiné, v pojistných podmínkách pojišťoven. Extrémními mimořádnými událostmi jsou válečné konflikty.

Souhrn opatření pro případ mimořádné události je obsahem krizového plánu muzea, který je zpracován na základě vyhodnocení všech rizik pro dané muzeum a jeho jednotlivé objekty. Tato rizika jsou vnitřní a vnější. Mezi ta vnitřní zahrnujeme stavební stav budovy, stav vodo- a elektroinstalace, provoz se zvýšeným požárním nebezpečím (např. konzervátorské pracoviště), soustředění hořlavých sbírek apod. Mezi ta vnější patří blízkost velkých vodních nádrží (rybník, přehrada) a toků, průmyslových podniků (např. chemických provozů), zvýšený dopravní provoz, obtížná dostupnost pro hasičský sbor atd.

Ve vztahu k preventivní konzervaci je třeba uvést, že krizové plány musejí být vypracovány s ohledem na konkrétní sbírkové předměty – sbírky a na podmínky jejich uložení. Jejich součástí by měly být také pokyny pro okamžité ošetření předmětů postižených vodou apod. Podle míry rizika musí být muzeum vybaveno prostředky pro včasné zjištění mimořádné události a pro minimalizaci následných škod. Z hlediska konzervace patří k takovému vybavení balicí materiál (PE fólie, fixační fólie apod.), přepravky, speciální bedny pro vybrané sbírkové předměty, protiplísňové prostředky atd.

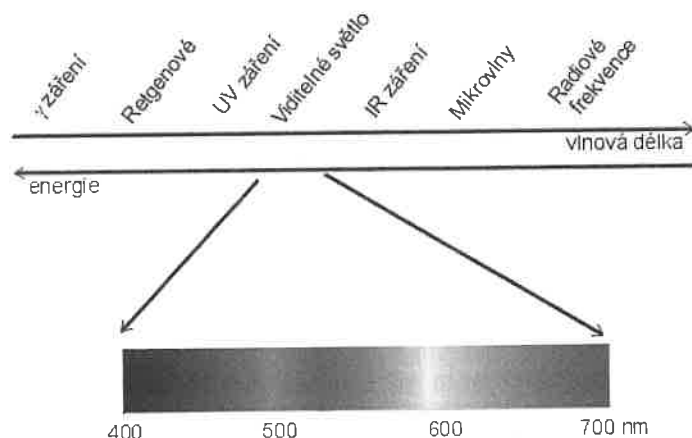
SVĚTLO

V této kapitole se budeme zabývat působením jak viditelného světla, tak i ultrafialového a infračerveného záření na sbírkové předměty. Ve všech zmíněných případech se jedná o elektromagnetické vlnění, přičemž světlem většinou nazýváme pouze viditelnou část elektromagnetického spektra (obr. 11). Pro ultrafialovou a infračervenou část spektra se ve fyzice používá všeobecný termín záření.

Jednotlivé druhy vlnění se vyznačují odlišnou vlnovou délkou, respektive frekvencí (obr. 11). Čím má záření vyšší frekvenci (kratší vlnovou délku), tím větší má energii a tím více je schopno poškodit citlivý sbírkový materiál.

²² Krizový management, požární a bezpečnostní ochrana sbírek je obsahem jiného předmětu.

Obr. 11 – Spektrum elektromagnetického vlnění.



Bílé světlo je tvořeno spektrem barevných světél.²³ Podle zastoupení těchto barevných světél má pak bílé světlo teplejší (vyšší podíl červeného a žlutého světla), nebo studenější (vyšší podíl modrého a fialového světla) odstín. Barva bílého světla je dobře popsána tzv. teplotou chromatičnosti. Čím vyšší je teplota chromatičnosti, tím studenější odstín má bílé světlo a tím blíže je světlu dennímu, které má teplotu chromatičnosti nad 5 000 K (Kelvinů). Teple bílé světlo má teplotu chromatičnosti pod 3 300 K, chladně bílé má 3 300 až 5 000 K. Z hlediska výstavního je světelné spektrum důležité pro správné podání (vnímání) barevnosti exponátu. Z hlediska ochrany exponátů preferujeme ovšem osvětlení „teplejší“, tedy to s menším podílem energeticky silného fialového či modrého světla.

Vedle viditelného záření/světla (380 nm – 780 nm) emitují světelné zdroje také neviditelné záření ultrafialové (100 nm – 380 nm) a infračervené (780 nm – 1 mm), která se dále rozdělují do několika podskupin.

Účinky záření na materiál

V muzejní praxi se setkáváme s předměty, jejichž barva časem vybledla, papír zežloutl a zkřehnul, hedvábné prapory se rozsyývají apod. To vše jsou důsledky působení světla a neviditelného ultrafialového (UV) a infračerveného (IČ) záření. Ultrafialové i infra-

²³ Přesvědčit se o tom můžeme rozkladem světla pomocí optického hranolu.

červené záření je součástí slunečního spektra, ale i spektra některých světelných zdrojů (např. i obyčejné žárovky).

Je třeba zdůraznit, že poškození způsobená optickým zářením jsou v naprosté většině případů nevratná.

Účinek světla

Hlavním účinkem světla je blednutí barev.

Účinek ultrafialového záření

Fotochemické degradační reakce (žloutnutí, křídovatění, snížení pevnosti – praskání až rozpad materiálu, apod.).

Fialová část světelného spektra má podobné účinky jako UV záření, ale mnohem pomalejší a pouze na některé materiály.

UV záření přispívá k blednutí zejména těch barev, které jsou odolné vůči světlu. U barev citlivých na světlo se UV podílí na blednutí většinou pouze z poloviny, v některých případech dokonce jen z desetiny (11)!

Účinek infračerveného záření

Zvýšení teploty a dehydratace materiálu (tvrdnutí a praskání povrchu, změna barvy).

Některé druhy degradace materiálu mohou být způsobeny jak UV zářením, tak i působením tepelného záření (i ve tmě). V některých případech, když je UV záření dostatečně odstíněno, může termická reakce převážet.

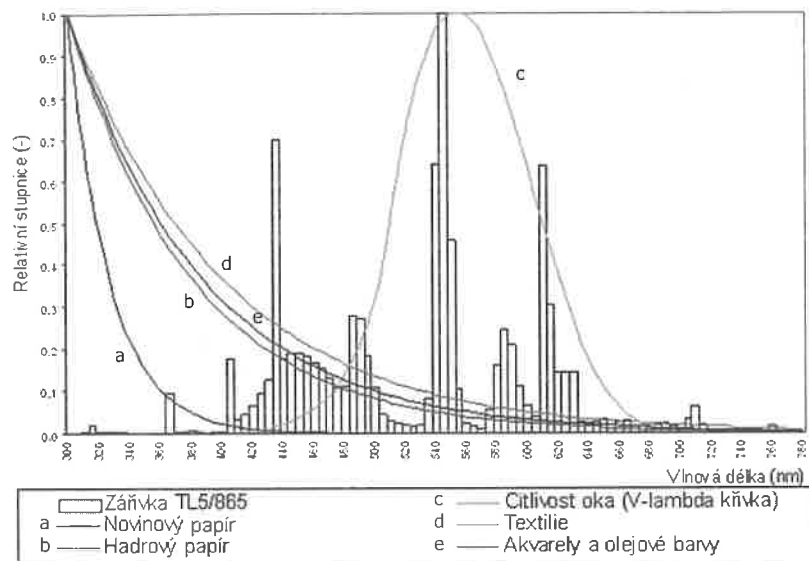
Posouzení škodlivosti světla – záření na sbírkové předměty

Abychom mohli exaktně posoudit účinek záření na konkrétní sbírkové předměty, musíme znát následující parametry:

- 1) Materiálové složení předmětu.
- 2) Stav – stupeň degradace materiálu, jeho světelnou historii.
- 3) Spektrální složení dopadajícího světla – záření (vlnové délky).
- 4) Světelnou (spektrální) citlivost materiálů, ze kterých je předmět složen (viz obr. 12).
- 5) Absorpci záření předmětem (škodí energie, která je předmětem absorbována).
- 6) Intenzitu tohoto záření (tedy osvětlenost/ozářenost předmětu), která závisí na svítivosti/zářivosti světelného zdroje, na vzdálenosti od zdroje a na poloze předmětu vůči směru dopadajících paprsků.
- 7) Dobu, po kterou je předmět vystaven účinkům záření.

Účinek optického záření na materiál má kumulativní charakter. To znamená, že se sčítají všechny dávky záření, které předmět během své existence obdržel.

Obr. 12 – Grafické znázornění citlivosti různých materiálů na světlo a porovnání se spektrální citlivostí oka a světelným spektrem zářivky (9).



Citlivost každého předmětu je třeba zvážit individuálně na základě jeho materiálového průzkumu. Všeobecně jsou na světlo citlivé organické materiály. K těm nejcitlivějším patří přírodní organická barviva, která se v minulosti používala pro barvení textilu, dřeva, nebo k výrobě tzv. lakových pigmentů (srážením barviva na částicích hydroxidu hlinitého apod.). Ovšem i zde jsou odlišnosti. Mezi odolnější patří v této kategorii např. mořenové a indigové barvivo na vlně. Vedle přírodních barviv se slabou odolností vyznačují také některá barviva syntetická, která se používala v 19. a 20. století pro výrobu inkoustů či razítkových barev.²⁴

U barev rozlišujeme citlivost pojiva a barevné složky (pigmentu nebo barviva),²⁵ přičemž nejcitlivější součástí jsou většinou organická barviva a organická pojiva (přírodní polysacharidy/gumy, oleje, pryskyřice) na rozdíl od anorganických pigmentů. Degradace pojiva má za následek tzv. křídovatění nátěru (barvy), které se projevuje uvolněním částic pigmentů a jejich spráskáváním s povrchem (nezaměňovat s blednutím pigmentu!). Projevem degradace pojiva barev, ale i jiných materiálů, je také vznik povrchových prasklin (krakelování).

²⁴ Světlocitlivost jednotlivých archivních materiálů je dobře zpracována Národním archivem v „Zásadách pro vystavování archiválií“ (12).

²⁵ Pigment je v daném pojivu nerozpustný, barvivo je rozpustné.

Patřičnou pozornost musíme ovšem věnovat také zdánlivě necitlivým materiálům anorganickým, jako jsou např. některá skla a minerály. Známým jevem spojeným s působením UV záření je tzv. solarizace skla, která se projevuje vznikem růžového zbarvení.²⁶

Z uvedených příkladů je zřejmé, že není možné stanovit citlivost sbírkového předmětu pouze odhadem dle tabulky. Ta slouží pouze pro orientaci. V případě, kdy nelze citlivost předmětu spolehlivě určit, je nutné se přiklonit k vyšší citlivosti, a tím také k přísnějšímu požadavku na jeho ochranu. U předmětů složených z různých materiálů se samozřejmě ochrana předmětu navrhuje podle nejcitlivějšího materiálu.

Stanovení citlivosti ke světlu

Citlivost barev na světlo se stanovuje porovnáním s tzv. standardem modré vlny (BS 1006 – British Blue Wool Standard, ISO 105).²⁷ Zjednodušením osmistupňové škály tohoto standardu byly vytvořeny tři kategorie citlivosti pro muzejní sbírky. Tyto kategorie byly následně zahrnuty do směrnice pro muzejní osvětlení (CIE 157/2004 „Control of Damage to Museum Objects by Optical Radiation“). Kritériem pro zařazení do příslušné kategorie je světelná dávka (v megaluxhodinách – Mlxh), která způsobí tzv. „právé zjištělné vyblednutí“ (JNF – Just Noticeable Fade).²⁸ K této změně by nemělo dojít dříve než za sto let. Dle tohoto požadavku se pak pro jednotlivé kategorie předmětů vypočítají maximální přípustné roční světelné dávky (většinou se uvádí v luxhodinách – lxh). Desetinásobek dávky JNF způsobí nepřijatelnou změnu barevnosti, třicetinásobek vede k téměř úplnému vyblednutí.²⁹

Tab. 5 – Osm stupňů Modré vlny a tři kategorie citlivosti (11).

	Světelná dávka (Mlx h), která způsobí JNF standardů modré vlny							
Stupeň Modré vlny	8	7	6	5	4	3	2	1
Dávka způsobující JNF za přítomnosti UV záření	120	50	20	8	3.5	1.5	0.6	0.22
Dávka způsobující JNF bez UV záření	1000	300	100	30	10	3	1	0.3
Zvolená dávka pro praktické výpočty (bez UV záření)	300		10			1.2		
Kategorie citlivosti	nízká		střední			vysoká		

²⁶ Jedná se o skla s obsahem např. manganu.

²⁷ Standard je tvořen osmi modře obarvenými proužky vlněné látky, které blednou různou rychlostí, přičemž proužek č. 1 je na světlo nejvíce citlivý.

²⁸ Tato změna se stanovuje kolorimetricky.

²⁹ Vzhledem k tomu, že proces blednutí se postupně zpomaluje, dochází u mnoha barev k téměř úplnému vyblednutí až při stonásobku JNF.

Tab. 6 – Zařazení materiálů do kategorií podle citlivosti vůči světlu (11). Spodní hranice časového intervalu pro dosažení JNF je vypočtena z nejnižší světelné dávky (nejrychlejší degradace za přítomnosti UV záření), horní hranice je vypočtena z nejvyšší světelné dávky v dané kategorii (bez přítomnosti UV) na základě předchozí tabulky č. 5. Pro výpočet se předpokládá 3 000 hodin osvětlení za rok (8 hodin denně).

Kategorie (stupně ISO Blue Wool)	Materiály	Doba potřebná k dosažení JNF při osvětlenosti 50 lx
Necitlivé	Materiály, které nemění barvu vlivem světla (mohou však měnit barvu vlivem stárnutí nebo vlivem polutantů). Většina minerálních pigmentů, freskové pigmenty (odolné v alkalickém prostředí). Barvy smaltů, keramiky. Mnohé jednobarevné obrazy na papíře (např. uhlíkové inkousty, ale barviva papíru nebo barviva přimísená k uhlíkovému inkoustu jsou často vysoce citlivá, papír samotný se považuje za nízko citlivý). Mnohé vysoce kvalitní pigmenty vyvinuté pro venkovní použití, pro automobily apod.	
Nízko citlivé (7, 8)	Umělecké barvy klasifikované jako „permanentní“ (směs skutečně permanentních a nízko citlivých, např. ASTM D4303-kat. I, Winsor&Newton AA). Strukturální barvy v hmyzu (pokud je blokováno UV). Některá historická rostlinná barviva (zvláště indigo na vlně). Stříbro želatinové ČB fotografie (ne RC papíry) pokud je blokováno UV. Mnohé vysoce kvalitní pigmenty vyvinuté pro venkovní použití, pro automobily apod. Rumělka (na světle černá).	300–7000 roků
Středně citlivé (4, 5, 6)	Alizarinová barviva a laky. Některá historická rostlinná barviva (konkrétně červená barviva mořenového typu obsahující primárně alizarin, jako barviva na vlnu nebo jako lakové pigmenty ve všech pojivech, v závislosti na způsobu použití může být citlivost i nižší). Barvy většiny kožesin a peří. Většina barevných fotografií se slovem „chrome“ v názvu (např. Cibachrome, Kodachrome).	20–700 roků
Vysoce citlivé (1, 2, 3)	Většina rostlinných barviv (většina historických jasných barviv a lakových pigmentů ve všech pojivech: žluté, oranžové, zelené, purpury, mnohé červené a modře). Barviva produkovaná hmyzem (např. šelakové barvivo, košenila – karmín) ve všech pojivech. Většina prvotních syntetických barviv (např. anilínových). Mnoho levných syntetických barviv. Většina barviv ve značkových („fixech“) včetně černí. Většina červených a modrých inkoustů do kuličkových per. Většina barviv používaných pro tónování papíru v 20. století. Většina barevných fotografií se jménem „colour“ ve svém názvu (např. Kodacolor, Fujicolor).	1,5–20 roků

Stanovení citlivosti vůči UV záření

Z praktických důvodů byly materiály zhruba rozděleny podle své citlivosti k ultrafialovému záření do několika následujících kategorií (11).

Podobné účinky, jako má UV záření (žloutnutí, snižování pevnosti, praskání), mohou být způsobeny také termickým stárnutím materiálu. Jedná se o chemický rozklad, který může probíhat i ve tmě při pokojové teplotě.³⁰ Při 20 °C dojde k výše uvedenému poškození za cca 100 až 1 000 let, zatímco při 40 °C za cca 5 až 50 let (tedy 20x rychleji).³¹ U velmi vysoce citlivých materiálů za 30 let, respektive za 2 roky.

Hodnoty ozáření (viz kapitulu o světelných a zářivých veličinách) v tab. 8 byly vypočteny z uvedených hodnot osvětlenosti a zářivého výkonu (vtaženého na světelný tok).

Tab. 7 – Přibližné rozdělení materiálů dle citlivosti k ultrafialovému záření.

UV citlivost	Materiály – poškození
Necitlivé	Anorganické materiály: kovy, kámen, keramika, sklo. (Ošetřené nebo natřené objekty tohoto typu mohou obsahovat pryskyřice nebo nátěry vyšší citlivosti.)
Nízko citlivé	Praskání, křídování moderních plastů, gumových předmětů a nátěrů, které obsahují UV stabilizátory a jsou navrženy pro venkovní expozici.
Středně citlivé	Šedivění a eroze dřeva. Praskání – krakelování většiny plastů, pryskyřic, laků, gumy. Křídování většiny vnitřních a uměleckých barev – nátěrů, slonoviny, kosti. Snižování pevnosti a případná fragmentace většiny vlněných, bavlněných, hedvábných a papírových materiálů.
Vysoce citlivé	Křídovatění olejových barev obsahující fotosenzibilizující pigmenty (zinkovou bělobu, starší druhy titanové běloby). Žloutnutí světlých druhů dřeva. Snižování pevnosti a případná fragmentace vlny, bavlny, hedvábí, papíru za přítomnosti fotosenzibilizujících barviv.
Velmi vysoce citlivé	Žloutnutí nekvalitního papíru (novin apod.).

³⁰ Může, ale nemusí, být iniciován UV zářením.

³¹ Při vystavení předmětu slunečnímu záření může jeho povrchová teplota dosahovat 40 °C i více.

Tab. 8 – Přibližná doba působící poškození vlivem UV záření při expozici 3 000 hodin za rok (8 hodin za den).

	Přibližná doba expozice působící poškození uvedená v tabulce č. 7					
Světlo a podíl UV	Denní světlo + UV filtr ~ 75 µW/lm a méně		Denní světlo přes okení sklo ~ 400-500 µW/lm		Denní spektrum ~ 600-1000 µW/lm	
Osvětlenost	50 lux	Plné denní světlo 30 000 lux	50 lux	Plné denní světlo 30 000 lux	50 lux	Plné denní světlo 30 000 lux
Ozáření (mW/m ²)	~ 3,75	~2 250	~ 20 – 25	~12 000 – 15 000	~ 30 – 50	~ 18 000 – 30 000
Nízko citlivé materiály	několik tisíc let	~300 let a více	~20 000 let a více	~30 let a více	~5 000 let a více	~10 let
Středně citlivé materiály	několik tisíc let	~30 let a více	~2 000 let a více	~3 roky a více	~500 let	~1 rok (eroze dřeva: 50 µm z povrchu za rok)
Vysoce citlivé materiály	několik tisíc let	~2 let a více	~100 let a více	~2 měsíce a více	~50 let	~1 měsíc
Velmi vysoce citlivé materiály	Blednutí působené drým světlem převažuje nad žloutnutím způsobeným UV zářením (případně může převážit termální žloutnutí)		~50 let a více	~1 měsíc a více	~5 let	~3 dny

Fyzikální veličiny

Při popisu záření rozlišujeme veličiny světelné (fotometrické) a veličiny zářivé (radiometrické). Světelné veličiny jsou vztaženy k elektromagnetickému záření, které je viditelné lidským okem (tedy ke světlu), a kvantitativně hodnotí toto záření z hlediska působení zrakového vjemu. Proto se také vyjadřují pomocí specifických jednotek (např. lux), na rozdíl od veličin radiometrických. Jejich fyzikální rozměr je však stejný. Tyto optické veličiny se mohou dále vztahovat k celé oblasti zářivého spektra (např. na celou oblast světla) nebo na jednotlivé vlnové délky.

Světelný tok

Jednotka: lumen (lm), kandela x steradián (cd·sr)³².

Světelný tok Φ udává celkové množství světla (světelné energie), které světelný zdroj vyzařuje do všech směrů za jednotku času (1 s). Je to vlastně světelný výkon, který je posuzován z hlediska citlivosti lidského oka (schopnosti působit zrakový vjem).

Zářivý tok

Jednotka: watt (W)

Zářivý tok Φ udává celkové množství zářivé energie, které zdroj vyzařuje do všech směrů za jednotku času. Zářivý výkon.

Svítivost

Jednotka: kandela (cd)

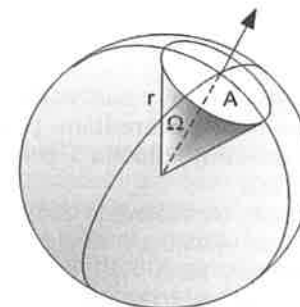
Svítivost I bodového zdroje v daném směru je podíl světelného toku vyzářeného zdrojem v tomto směru do kužele s nekonečně malým prostorovým úhlem Ω a tohoto úhlu. Svítivost zdroje bývá v různých směrech odlišná (zdroj má směrovou/prostorovou charakteristiku).

Zářivost

Jednotka: watt na steradián (W/sr)

Zářivost I bodového zdroje v daném směru je podíl zářivého toku vyzářeného zdrojem v tomto směru do kužele s nekonečně malým prostorovým úhlem Ω a tohoto úhlu.

Obr. 13 – Geometrické znázornění vyzářování bodového zdroje do kulového prostoru.



Intenzita osvětlení (osvětlenost)

Jednotka: lux (lx), lumen na metr čtvereční (1 lx = 1 lm/m²)

Intenzita osvětlení E je definovaná jako podíl světelného toku dopadajícího na plošný prvek a velikosti tohoto prvku.

³² Steradián je jednotka prostorového úhlu. Její maximální hodnota je 4π .

Intenzita osvětlení je 1 lux, když světelný tok 1 lumen dopadá rovnoměrně na plochu 1 m².

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

V případě bodového zdroje o svítivosti **I** a paprsků dopadajících pod úhlem **α** k normále (kolmici) plochy, vzdálené od zdroje **r**, platí následující výraz.

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

Osvětlení je tedy nepřímo úměrné čtverci vzdálenosti a je tím slabší, čím šikměji paprsky dopadají na osvětlovanou plochu.

Běžná hodnota osvětlenosti ve vnitřních prostorách se pohybuje v rozmezí cca 100–5 000 lx. Na volném prostranství ve slunečný letní den lze naměřit hodnoty dosahující cca 100 000 lx (v zeměpisné šířce ČR).

Intenzita ozáření

Jednotka: watt na metr čtvereční (W/m²).

Intenzita ozáření **E** je definovaná jako podíl zářivého toku dopadajícího na plošný prvek a velikosti tohoto prvku.

Intenzita osvětlení či ozáření nám udává množství energie dopadající na plochu předmětu za jednu sekundu. Pro posouzení nebezpečnosti záření je tedy jednou z nejdůležitějších veličin, a proto se udávají její maximálně přípustné hodnoty pro jednotlivé skupiny sbírkových předmětů.

Vzájemný vztah výše uvedených veličin lze vyjádřit následující větou:

Bodový světelný zdroj o svítivosti 1 kandely (cd) vysílá do prostorového úhlu 1 steradiánu (sr) světelný tok 1 lumen (lm), který osvětluje plochu 1 čtverečního metru (m²) intenzitou 1 luxu (lx).

Při měření podílu ultrafialového záření světelných zdrojů se setkáváme s jednotkou výkonu UV záření vztaženého na 1 lumen světelného toku (μW/lm), která vyjadřuje poměr intenzity ozáření (μW/m²) k intenzitě osvětlení (lx). Intenzitu ozáření získáme po změření intenzity osvětlení (v luxech) výpočtem podle následujícího vztahu. Když výsledek vydělíme tisícem, dostaneme jednotku v miliwattech na metr čtvereční (mW/m²), která se v praxi používá častěji.

$$\mu W/m^2 = lx \cdot (\mu W/lm)$$

Světelná dávka

Pro posouzení světelného účinku na exponáty a úrovně jejich ochrany je rozhodující celková energie, která byla předmětem během vystavení absorbována. Jelikož je tato hodnota těžko zjištělná, používá se hodnota celkové energie, která na předmět dopadla. Vyjadřuje se v luxhodinách (lx·h) a lze ji buď přímo měřit speciálním přístrojem nebo vypočítat z průměrné osvětlenosti a počtu hodin světelné expozice. Pro jednotlivé skupiny sbírkových předmětů jsou pak stanoveny maximální přípustné hodnoty světelné energie, kterým může být předmět vystaven během jednoho roku (lx·h/rok).

Měření světelných veličin

Ze světelných (zářivých) veličin měříme v muzejní praxi především intenzitu osvětlení (osvětlenost) pomocí luxmetrů a intenzitu ultrafialového záření pomocí UV metrů. Nejlépe, když máme k dispozici kombinovaný přístroj, který měří viditelné světlo i UV záření. Podobně jako v případě měření teploty a vlhkosti, existují také datalogery pro dlouhodobé monitorování světelných podmínek. Pro výstavní činnost jsou vhodné přístroje, které přímo měří obdrženou dávku záření. Při měření velmi záleží na úhlu, pod kterým světlo dopadá na snímač přístroje. Malé naklonění způsobí relativně velkou změnu měřené hodnoty, zvláště když je světelný zdroj poměrně blízko (např. ve vitríně). Proto dbáme na to, aby plocha snímače byla situována v rovině exponátu. Jelikož má na měření vliv také světelná odrazivost okolních materiálů, používá se pro přesná měření černý oděv.

Vedle přímého měření světelných/zářivých dávek lze použít také nepřímé metody založené na měření změny barevného standardu. K tomuto účelu slouží indikátorové papírky nebo roztoky, jejichž barevná změna (vyblednutí) se změří pomocí spektrofotometru. Pro orientační stanovení světelné dávky je možné exponovaný indikátor porovnat vizuálně se srovnávací škálou. Velmi známým barevným standardem tohoto typu je Britský standard modré vlny (viz dále).

Zásady správného osvětlování exponátů

Základním předpokladem pro optimální ochranu je rozdělení exponátů podle jejich citlivosti a stanovení maximální světelné dávky, kterou mohou během výstavy obdržet. Na základě této hodnoty se s ohledem na konkrétní výstavní možnosti navrhne hladina osvětlenosti, respektive doba možného vystavení (délky světelné expozice). Maximální pozornost je věnována eliminaci UV záření. Vystavování velmi citlivých exponátů je třeba omezit na co nejkratší dobu a po zbytek výstavy je případně nahradit reprodukcemi. Další možností je náhrada za podobný originál. Je třeba zdůraznit, že dosažení uspokojivé viditelnosti exponátu při co nejnižší intenzitě osvětlení souvisí s kvalitou projektu výstavy (vhodné světelné zdroje, jejich umístění, způsob nasvícení apod.).

Světelné podmínky je nutno během vystavení kontrolovat a po skončení výstavy zaznamenat do karty předmětu obdrženou světelnou dávku (světelnou historii).

Účinek optického záření na materiál má kumulativní charakter. To znamená, že se sčítají všechny dávky záření, které předmět během své existence obdržel. Proto se u citlivých předmětů snižuje intenzita osvětlení a/nebo se zkracuje doba vystavení, aby nedošlo k překročení doporučené dávky záření. Pokud chceme předmět osvětlovat větší intenzitou, musíme zkrátit dobu vystavení. Nezáleží na tom, zda osvětlujeme silněji a zkrátíme dobu vystavení, nebo naopak snížíme intenzitu a prodloužíme expozici. Přitom je třeba zvolit správný kompromis mezi ochranou předmětu a jeho smysluplnou prezentací. Pro stanovení možné doby vystavení/osvětlení je třeba vycházet z charakteru a stavu předmětu, z jeho světelné historie (předchozí vystavení, obdržená světelná dávka), stávajících možností osvětlení a z požadavků na případnou další výstavní prezentaci. Je tedy možné, např. v případě nějaké významné výstavní akce, zvýšit intenzitu osvětlení nebo prodloužit dobu vystavení za předpokladu, že v následujícím roce či několika letech nebude předmět vystavován. Také záleží na míře dosavadní barevné degradace (pokud je zjištělná). Nejcitlivější jsou nepoškozené barvy, u kterých stejná světelná dávka způsobí obvykle mnohem větší změnu než u barev degradovaných (vybledlých).

Z hlediska ochrany před optickým zářením je významná digitalizace sbírkových předmětů, která umožní pořízení kvalitních reprodukcí pro výstavní a publikační účely. Možnost studia digitálního záznamu také sníží světelné exponování předmětu při badatelských službách. Jinak je nutné při pořizování kopií papírových předmětů používat reprodukční stroje s bezpečným osvětlením a co nejkratší dobou osvit.

Aby mohlo být dosaženo optimálního kompromisu mezi ochranou exponátů a jejich výstavní prezentací, je nutné věnovat maximální pozornost také výběru světelných zdrojů a způsobu nasvícení. Světelné zdroje musí splňovat požadavek na co nejnižší intenzitu ultrafialového (UV) a infračerveného záření (IR). Pokud obsahuje světelný zdroj nepřipustný podíl UV nebo IR záření, je nutné použít příslušné filtry buď přímo na osvětlovadlech, nebo mezi světelným zdrojem a exponátem (fólie na vitrínách, obrazových paspartách apod.). Tepelné vyzařování světelných zdrojů se velmi často podceňuje a dochází tak ke zbytečnému a škodlivému přehřívání výstavních prostorů. Také by měla být omezena intenzita fialové a modré části jejich světelného spektra.³³ Dalším požadavkem na světelný

³³ Tím ovšem může být ovlivněn barevný tón světla, a tudíž i barevné podání exponátu.

zdroj je nízká spotřeba elektrické energie (ekonomická úspornost). Intenzitu osvětlení je možné regulovat volbou světelného zdroje (např. žárovka o vhodném výkonu), pomocí elektronických stmívačů (jen u některých zdrojů) nebo opět pomocí fólií. U stropního osvětlení vitrín lze použít tzv. stmívací fólie, které mají na svém povrchu tmavé pruhy. Přesunování dvou takových fólií přes sebe lze velmi dobře regulovat osvětlenost exponátů. Další možností je samozřejmě úprava vzdálenosti exponátu od osvětlovadla (intenzita klesá se čtvercem vzdálenosti).

Osvětlení má být zásadně rozptýlené, bodové zdroje je možné používat pouze u necitlivých materiálů (např. kamenných soch). I zde je však třeba dbát na to, aby nedocházelo k přílišnému lokálnímu zahřívání předmětu. Vhodné umístění a způsob osvětlení citlivých exponátů ve výstavním prostoru je nutné zohlednit již při projektování výstavy.

Pokud je třeba dodržet požadavek velmi nízké osvětlenosti (např. 50 lx), je nutné upravit výstavní instalaci tak, aby se návštěvník mohl postupně zrakově adaptovat.

Pro vystavování plošných citlivých exponátů je možné použít zásuvkové skříně (se samočinným vracečem), u větších exponátů ve vitrínách se instalují časové spínače osvětlení ovládané fotobuňkou, dotykovým spínačem apod. Tradičním způsobem ochrany je zakrývání vitrín lepenkovými deskami. Tento způsob předpokládá kázeň návštěvníků a spolehlivý dozor.

Při osvětlování vitrín se dává přednost vnějšímu osvětlení. Uvnitř lze použít pouze tzv. studené světelné zdroje (LED, světlovedy), nebo stropní osvětlení se zajištěným odvodem tepla mimo vitrínu.

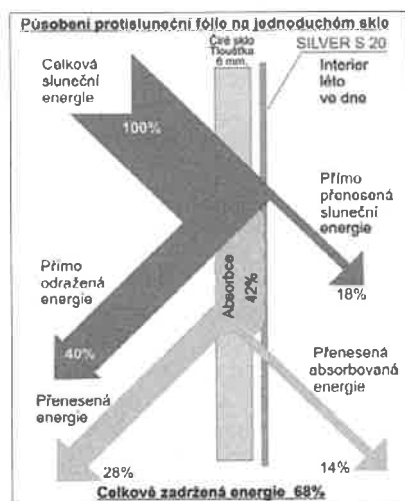
Regulace denního světla

Intenzitu denního (slunečního) světla a jeho ultrafialové i infračervené složky omezujeme pomocí markýz, okenic, žaluzií a stínících fólií. Pro omezení tepelného (infračerveného) záření, které je třeba odrazit ještě před průnikem okny, jsou nejúčinnější externí stínící prvky (okenice, markýzy). Pro stínění UV záření a viditelného světla se používají spíše vnitřní žaluzie, záclony a fólie. Část UV záření pohltí také samotné sklo. Pokud se pořizují nová okna, je vhodné je opatřit již speciálním sklem (druhem skla nebo lepeným sklem s fólií uvnitř). Fólie vybíráme s ohledem na převažující požadavek na stínění. Každá fólie je charakterizována řadou veličin, podle nichž poznáme, do jaké míry odráží, absorbuje a propouští tepelné záření, UV záření a viditelné světlo (obr. 14). UV záření pohlcují do jisté míry všechny fólie (i tzv. bezpečnostní), protože je nutné je chránit před vlastní degradací včetně lepidla, kterým jsou přilepeny na sklo. Často se ovšem používají speciální UV fólie, jejichž absorpční schop-

nost je ještě vyšší. Při posuzování jejich účinnosti je třeba si uvědomit, že procentuální údaj o absorpci nebo propustnosti UV záření je vztažen na celkový zářivý tok (respektive intenzitu). Při vysoké intenzitě např. slunečního záření může být prošlé procento UV záření velmi významné. Zde je třeba také upozornit na skutečnost, že schopnost fólií absorbovat UV záření se časem snižuje.

U fólií, které se vyznačují vysokou schopností absorbovat tepelné záření, je nutno dát pozor na jejich správný výběr (externí, interní) a správnou aplikaci (na správnou stranu skla). U větších skleněných tabulí může totiž vlivem absorpce tepla docházet k jejich přehřátí a někdy až k prasknutí. Jinak se většinou fólie aplikují na vnější nebo vnitřní stranu vnitřního okenního skla. Výběr správné fólie a způsob instalace je vhodné konzultovat s renomovanou firmou. O kvalitě fólií může vypovídat také délka záruky. Některé fólie mají deklarovanou životnost 5 let, jiné např. 10 let. Skutečná životnost fólie bývá delší a závisí samozřejmě na její expozici slunečnímu záření a povětrnosti vůbec. Co se týká vzhledu fólie, měla by svojí barevností a leskem odpovídat charakteru budovy. Na historické budovy se nehodí fólie se zrcadlovým leskem. Barevnost se většinou volí v neutrální šedé. Pokud volíme jinou barevnost, musíme si uvědomit, že také modrá část viditelného světelného spektra má škodlivé účinky na citlivý materiál a že barevnost fólie zkresluje barvené vnímání vystavených exponátů. Pokud jde o výrobní technologii fólií, dává se přednost tzv. „sputtered“ fóliím, které jsou trvanlivější.

Obr. 14 – Znázornění odrazu, absorpce a prostupu sluneční energie sklem opatřeným vnitřní fólií.³⁴



³⁴ Vyobrazení převzato z <http://www.pucalka.cz>.

Pravidla pro zajištění ochrany (11)

Únik před světlem

- Stanovit pravidla pro světelné úrovně, úrovně UV a světelné zdroje.
- Přemístit venkovní exponáty dovnitř.
- Vypínat elektrická světla při nepřítomnosti návštěvníků.
- V historických budovách vybrat v jednotlivých místnostech místa s nízkou světelnou intenzitou během celého dne. Pokud nejsou na oknech UV fólie, umístit exponáty mimo přímý dosah denního světla.

Snížení intenzity

- Používat UV filtry na světelných zdrojích s vysokým podílem UV záření.
- Venku používat stínící prostředky a severní stranu budov.
- V interiéru používat stínící prostředky na okna.
- Oddělit silně osvětlené vstupní zóny od výstavních zón a mezi nimi vytvořit adaptační koridory.
- Zatáhnout závěsy, žaluzie apod., když je muzeum uzavřeno. Zakrývat vybrané vitríny při nepřítomnosti návštěvníků.

Měření

- Vyhledávat v muzeu známky poškození předmětů světlem a UV zářením.
- Používat luxmetry a pasivní světelné dozimetry.
- Používat UV metry.
- Používat teploměry, kde je podezření na mimořádné působení IČ – tepelného záření.

Vyhodnocení

- V případě zjištění vybledlých objektů stanovit příčiny a možné řešení.
- V případě naměření nečekaně vysokých lokálních světelných hodnot stanovit příčiny a možné řešení.

Strategie ochrany

Optimalizace ochrany a uspokojivé viditelnosti exponátu lze dosáhnout jedině volbou správné ochranné strategie. Následující strategie jsou seřazeny dle stoupající efektivity společně s rostoucí náročností jejich realizace (11).

- Několik základních opatření pro vyloučení extrémů světelné expozice.
- Jednoduché pravidlo založené na minimální světelné intenzitě zajišťující viditelnost (např. 50 lux).
- Několik složitějších pravidel pro dosažení minimálního poškození při maximální možné viditelnosti exponátu.

Základní strategie s vyloučením extrémů je vhodná pouze pro exponáty velmi málo citlivé na působení světla. Nezajišťuje ochranu citlivějších materiálů.

Druhá strategie je založena na osvětlování pevně stanovenou nízkou intenzitou.

Tradiční muzejní pravidla³⁵ stanovují tři úrovně osvětlení pro předměty s různou citlivostí, např. takto:

- 50 lux pro textil, díla na papíru, vodové / akvarelové barvy, fotografie, peří atd.
- 150–200 lux pro všechny olejové a akrylové barvy, polychromii, nábytek atd.
- 300–1 000 lux pro kámen, kov atd., primárně pro vyloučení kontrastního osvětlení.

Objekty složené z materiálů o různé citlivosti byly zařazeny podle nejslabší součásti.

Tradiční maximální limit pro ultrafialové záření byl na základě zkušenosti stanoven 75 $\mu\text{W}/\text{lm}$ (hodnota pro běžnou žárovku). Hodnota 50 lux byla stanovena jako nejnižší hodnota pro zajištění viditelnosti exponátu.

Ani tato strategie však nezabránila vyblednutí některých materiálů (např. lakových červení používaných v olejomalbách). Na druhou stranu řada méně citlivých materiálů byla zařazena mezi citlivější a nebyla tudíž dobře viditelná (např. papírové objekty s málo nebo téměř necitlivými uhlíkovými černěmi, okry atd.)

Novějším příkladem tohoto typu ochranné strategie jsou podmínky stanovené pro oblast knihoven uvedené v tab. 9.

Tab. 9 – Doporučené maximálně přípustné světelné hodnoty pro knihovní sbírky (10).

Materiál	Osvětlenost, max.	Podíl UV záření, max.	Roční světelná dávka, max.
Směšené knihovní sbírky, barevné fotomateriály a magnetická média	50 lx (krátkodobě 2500 lx)	10 $\mu\text{W}/\text{lm}$	12 000 lx·h/rok
Černobílé fotomateriály	100 lx (krátkodobě 2500 lx)	10 $\mu\text{W}/\text{lm}$	84 000 lx·h/rok

³⁵ Jsou obsažena v mnoha publikacích ze 70. a 80. let 20. století. Zařazení materiálů do skupin se u různých autorů odlišuje.

Třetí strategie je založena na managementu rizika, na optimalizaci ochrany a viditelnosti:

- 1) **Stanovení kritéria pro přijatelnou rychlost blednutí (akceptovatelné riziko).** To je obvykle vyjádřeno jako doba osvětlení, za kterou dojde k právě zjistitelnému vyblednutí (JNF). Toto období může být zvoleno jako 100 let, nebo také 30 či 300 let apod.
- 2) **Stanovení citlivosti.** Sestavení skupin předmětů, nikoliv jako u předchozí strategie (např. akvarelové barvy), ale na základě průzkumu a mnohem podrobnějšího rozdělení na podskupiny, určité žánry, nebo konkrétní předměty velké hodnoty, podle informací uvedených v tab. 6. Nalezené nebo předpokládané nejcitlivější barvivo charakterizuje pak celou skupinu.
- 3) **Stanovení požadavku viditelnosti.** Začíná se na předpokladu 50 lux, pokud ale neobsahuje kolekce exponátů žádná vysoce nebo středně citlivá barviva, může být hladina osvětlení zvýšena podle tmavosti povrchu, kontrastu, viditelnosti detailů apod. Je také možné střídát kratší období s vyšší hladinou osvětlenosti (pro staré lidi, zvláštní prohlídky apod.) s delším obdobím s nízkou osvětleností.
- 4) **Stanovení prakticky dostupné hladiny osvětlení** na základě daného osvětlovacího vybavení.
- 5) **Stanovení doby vystavení.** Výsledek výpočtu na základě hodnot stanovených v předchozích bodech.

Důsledné uplatnění této strategie vyžaduje exaktní znalosti o složení sbírkových předmětů a citlivosti různých materiálů.

Při stanovování světelných požadavků na ochranu předmětů je také třeba objektivně posoudit, zda není v daném případě významnější nějaký jiný degradační činitel (např. působení polutantů), který se pak stane při stanovování doby expozice řídicím faktorem.

Pro výstavní praxi v oblasti archivních materiálů byla zpracována následující tabulka, ve které jsou uvedeny doporučené doby vystavení archivních materiálů různých kategorií citlivosti během jednoho roku (12). Pro výpočet byl použit předpoklad 42 osvitových hodin v týdnu při osvětlenosti 75 luxů (pro kategorii 1), respektive 100 luxů (pro kategorie 2 a 3) a doba pro vyvolání právě zjistitelného vyblednutí barvy (JNF) při uvedeném způsobu/době vystavování (např. 4 týdny v každém roce). Výpočet platí za předpokladu filtrace UV záření. Pokud není předmět v jednom roce vystaven, může se v dalším roce vystavovat dvakrát déle (při zachování druhu a intenzity osvětlení). A naopak, pokud se v jednom roce vystavuje dvakrát delší dobu, další rok se předmět nevystaví vůbec. Doporučuje se však, aby doba vystavování v jednom roce nepřekročila 20 týdnů.