

1_Výzkum a vývoj preventivních opatření vedoucích k ochraně knihovních fondů (zlepšení klimatických podmínek a forem uložení fondů a jejich monitorování)

B_Zkvalitnění vlastností krabic pro ochranu písemných památek

Zkvalitnění vlastností krabic pro ochranu písemných památek	11
1 Pronikání vlhkosti z okolního prostředí do prázdných krabic	11
1.1 Postup	11
1.2 Výsledky a diskuse	11
2 Pronikání vlhkosti z okolního prostředí do krabic naplněných novinovým papírem.....	13
2.1 Postup	13
2.2 Výsledky a diskuse	14
3 Testování ochranné funkce krabice proti náhlému poklesu teploty	15
3.1 Postup	15
3.2 Výsledky a diskuse	16
4 Krabice jako ochrana proti polutantům	20
4.1 Pokus v přirozeně znečištěném prostředí	21
4.1.1 Použité materiály a postup.....	21
4.1.2 Senzory pro měření oxidů síry a dusíku.....	21
4.1.3 Stanovení ochranné účinnosti obalu	23
4.1.4 Výsledky a diskuse	23
4.2 Pokus v komoře s přívodem SO ₂ a NO ₂	26
4.2.1 Použité materiály a postup.....	26
4.2.2 Výsledky a diskuse	27
Závěry a doporučení.....	28

Zkvalitnění vlastností krabic pro ochranu písemných památek

Ing. Magda Součková

Skladování písemných památek v krabicích patří mezi tradiční způsoby jejich uchovávání. Ochranná funkce krabic je mnohostranná. Chrání před poškozením světlem, před prachem, na míru vyrobená krabice zabrání mechanickému poškození při manipulaci s památkou ve skladišti a studovně. Krabice památku do určité míry ochrání i při živelních katastrofách – povodních i mírném požáru.

V naší práci byla testována ochranná funkce krabic proti změnám relativní vlhkosti a teploty okolního prostředí a byla zjišťována prostupnost různých materiálů, užívaných na ochranné obaly, pro vzdušné polutanty [autorský abstrakt].

1 Pronikání vlhkosti z okolního prostředí do prázdných krabic

Zajištění stálosti optimálních hodnot relativní vlhkosti a teploty patří mezi základní podmínky bezpečného uložení knihovních materiálů. Obecně jsou respektovány jako nejvhodnější podmínky dlouhodobého uložení písemných památek 55 ± 5 % relativní vlhkosti a 15 ± 2 °C. Prudká změna klimatických podmínek (např. při přepravě) může fondy poškodit. Proto by tyto případné změny měly být pozvolné v rozmezí 13 – 21 °C a 40 – 60 % relativní vlhkosti. Denní změna relativní vlhkosti by neměla překročit 4 %.

1.1 Postup

Testovaná krabice s uvnitř vloženým termohygrometrem s pamětí byla umístěna pootevřená do klimatizační komory nastavené na počáteční hodnoty klimatu (20 °C, 20 %). Další termohygrometr s pamětí byl vložen volně do komory pro zjištění hodnot klimatu v klimatizační komoře. Krabice byla klimatizována 3 dny v komoře na požadované hodnoty klimatu (20 °C, 20 %). Poté byla krabice uzavřena a byla ponechána pro ustálení požadovaných hodnot klimatu uvnitř krabic (4 dny).

Potom byla změněna relativní vlhkost v klimatizační komoře na 80 % na dobu 7 dní. Po této době byla hodnota relativní vlhkosti v klimatizační komoře snížena zpět na 20 %.

1.2 Výsledky a diskuse

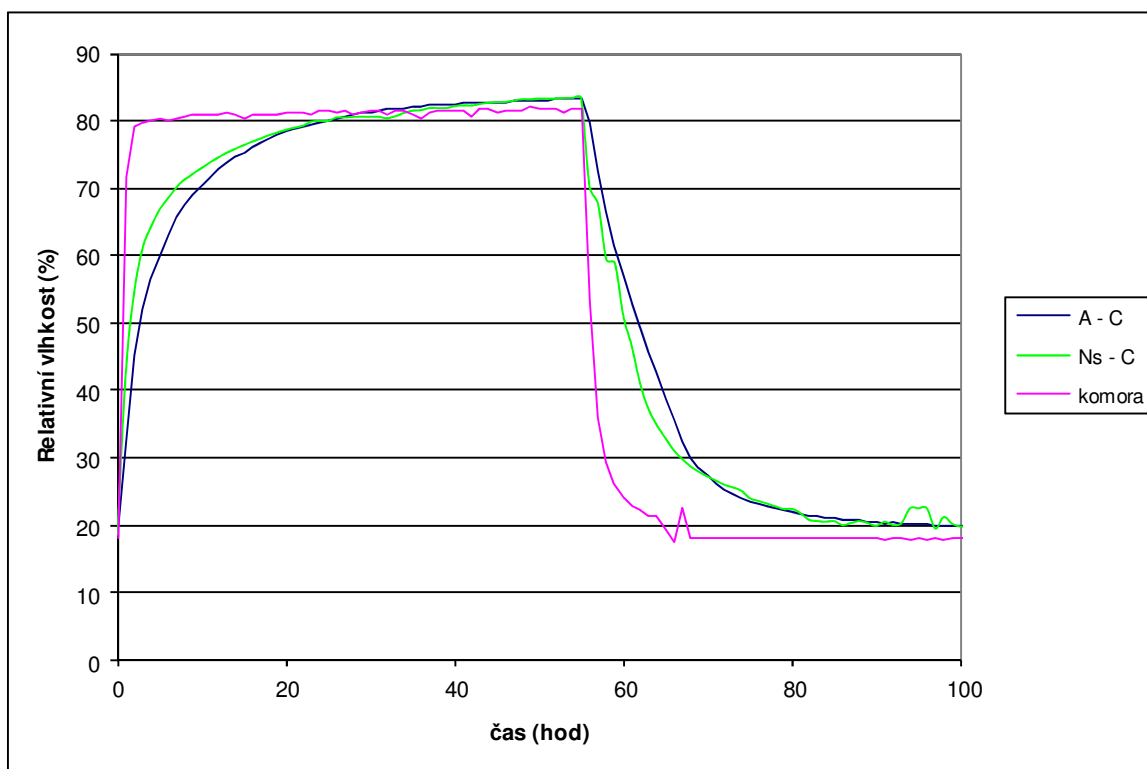
Pro porovnávání vlivu změny vlhkosti okolního prostředí na vlhkost uvnitř krabice byla zvolena lepenková krabice s dvojitými bočními stěnami, která projevila při testování lepenkových krabic největší odolnost proti změně relativní vlhkosti. Při změně relativní vlhkosti z 20 % na 80 %

při konstantní teplotě 20 °C došlo k dosažení požadovaných hodnot relativní vlhkosti uvnitř této krabice asi za 48 hodin, u ostatních typů krabic za 24-36 hodin.

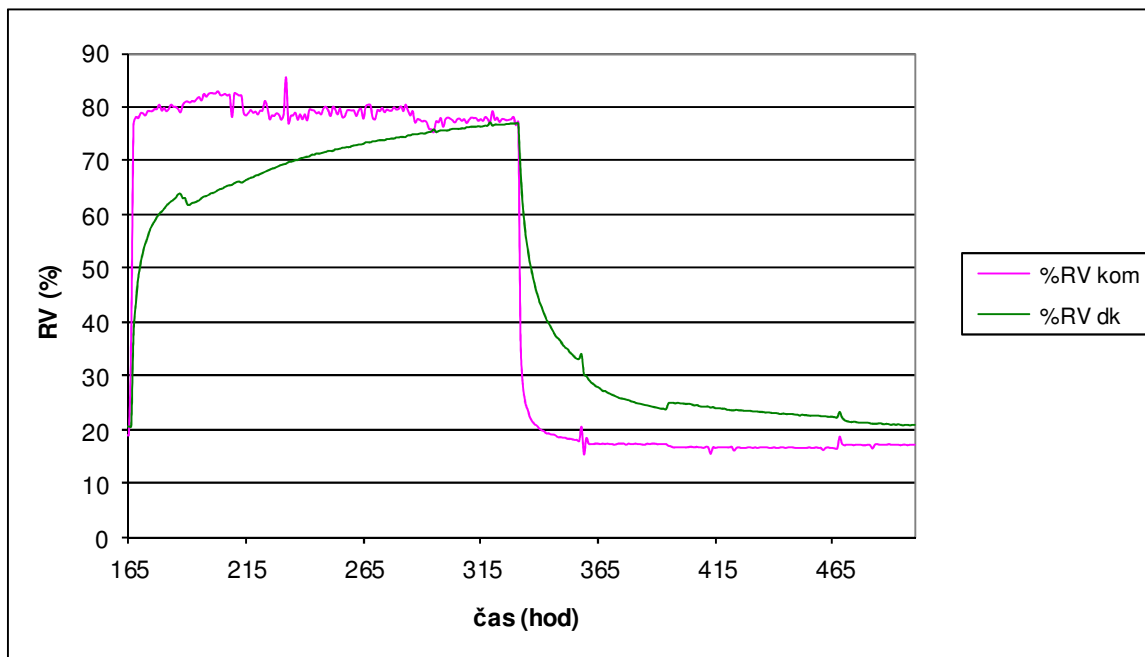
Byly testovány krabice ze dvou typů lepenek: A – anglická lepenka, N – česká lepenka z Novosedlic. Obě lepenky měly stejnou tloušťku 1 mm (viz *Graf 1*).

V dřevěné krabici bylo vlhkosti 80 % při teplotě 20 °C dosaženo za 164 hodin po změně vlhkosti prostředí (viz *Graf 2*). Při porovnání grafů na *Grafu 10 a 11* je patrné, že u krabic z obou typů materiálů dochází k prudkému zvýšení vlhkosti zhruba za 11 hodin, a to u lepenkových krabic z 20 % na 70 % relativní vlhkosti a u dřevěné krabice z 20 % na 60 % relativní vlhkosti. Tato změna relativní vlhkosti uvnitř krabic je zřejmě způsobena pronikáním vlhkosti do krabice škvírami a netěsnostmi. Další volnější zvyšování vlhkosti je patrně ovlivněno absorpcí vlhkosti materiálem krabic, kdy lepenka váže a i uvolňuje vlhkost rychleji než dřevo.

Při opětovné změně vlhkosti v komoře z 80 % na 20 % byly v lepenkových krabicích vlhkosti vyrovnány za 48 hodin (N) resp. 36 hodin (A). Podobně v dřevěné krabici došlo k výraznému poklesu vlhkosti po 50 hodinách (na 25 % RV) a dalších 90 hodin klesala relativní vlhkost na hodnotu 21 %.



Graf 1 Změna vlhkosti v lepenkové krabici v závislosti na vlhkosti prostředí



Graf 2 Vliv změny relativní vlhkosti prostředí na relativní vlhkost v dřevěné krabici

2 Pronikání vlhkosti z okolního prostředí do krabic naplněných novinovým papírem

2.1 Postup

V roce 2006 byly porovnávány dva typy krabic – dřevěná krabice a krabice lepenková. Stejná dřevěná krabice byla použita i pro následující pokus pro zjišťování změn vlhkosti v krabici naplněné papírovým obsahem.

K porovnání byla vyrobena krabice z lepenky z Novosedlic o tloušťce 1 mm. Pro dosažení stejného vnitřního objemu obou krabic byla lepenková krabice vyrobena ze dvou částí (faktorem určujícím podobu krabice byl rozměr lepenkového archu).

Obě krabice byly naplněny stejným množstvím novinového papíru (13,4 kg) a byla do nich vložena čidla měřící vlhkost a teplotu. Pro měření změn vlhkosti byla použita následující čidla:

Dřevěná krabice

- H1 - umístěno 3,5 cm od okraje novinového bloku
- H2 - umístěno uprostřed novinového bloku
- H3 - umístěno mimo novinový blok

- **Lepenková krabice**
- H4 - umístěno 3,5 cm od okraje novinového bloku
- H5 - umístěno uprostřed novinového bloku
- H6 - umístěno mimo novinový blok

Jako čidla H1, H2, H4, H5 byla užitá plochá čidla firmy Papouch. Čidla H3 a H6 představují datalogery Comet S3120.

Uzavřené naplněné krabice s čidly byly umístěny do klimatizační komory Binder KBWF do prostředí 25 °C a 20 % relativní vlhkosti (RV) a průběžně byl sledován stav relativní vlhkosti v novinovém bloku (čidla H1, H2, H4, H5). Po 47 dnech byla relativní vlhkost v klimatizační komoře změněna na 80 % a dále byly sledovány průběžné hodnoty relativní vlhkosti v krabicích. Po dalších 63 dnech byla komora vypnuta, byly otevřeny dveře a krabice byly ponechány v prostoru komory nyní již při podmínkách okolního prostředí (cca 40 % RV, 20 °C).

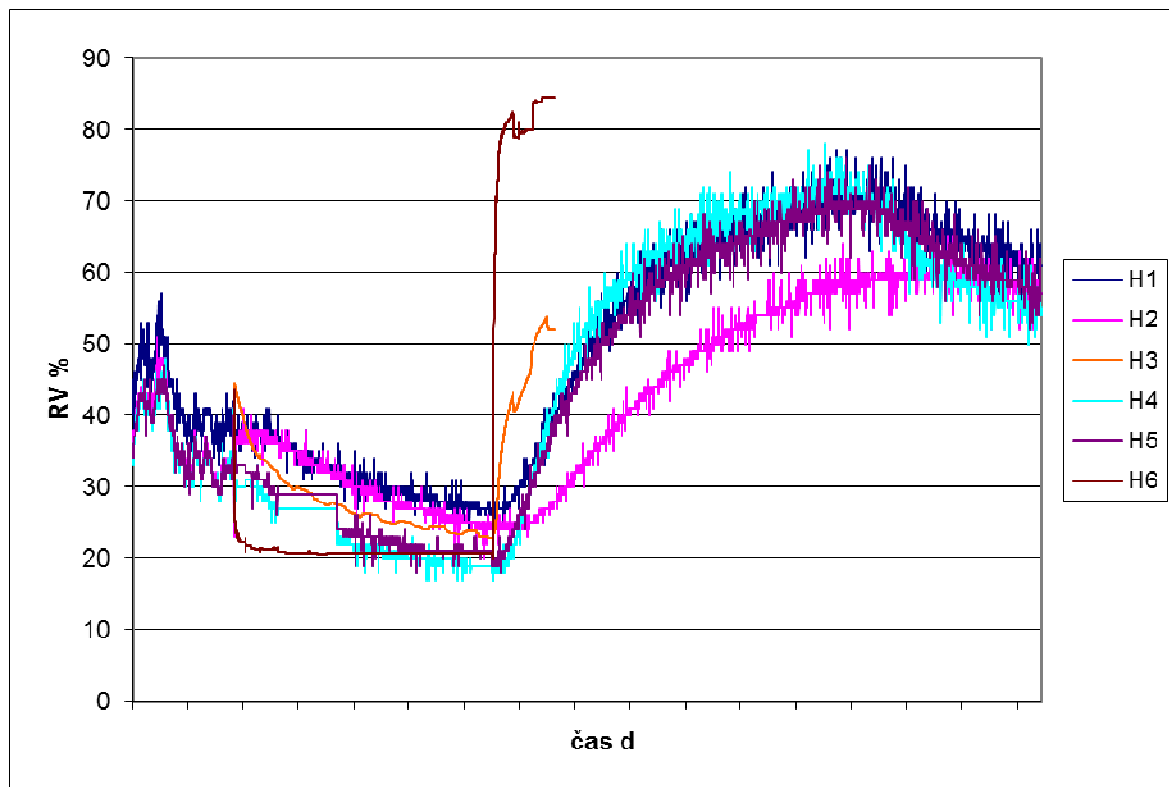
2.2 Výsledky a diskuse

Výsledky měření čidel relativní vlhkosti byly zakresleny do *Grafu 3*. Čidla H3 a H4 – datalogery Comet S3120 nestačily svou kapacitou na časové pokrytí celého pokusu, protože dostatečně přesné zachycení změny RV vyžaduje nastavení kratšího časového intervalu snímání hodnot. Přesto je patrné, že vlhkost do dřevěné krabice (H3) proniká pomaleji než do lepenkové (H6), resp. po počátečním prudším nárůstu vlhkosti způsobeném zřejmě průnikem vlhkosti netěsnostmi dřevěné krabice se zvyšování vlhkosti v dřevěné krabici v porovnání s lepenkovou silně zpomaluje. Svou roli tu zřejmě hraje sorpce vlhkosti materiálem krabice: tloušťka stěny lepenkové krabice je 1 mm, tloušťka stěny dřevěné krabice 8 mm. Také rovnovážná vlhkost dřeva je vyšší než papíru: při 20 °C a 80 % RV činí pro dřevo 15 % vlhkosti, pro sulfitovou buničinu 12 %.

Lepenková krabice nechrání významně svůj obsah proti pronikání vzduchu z okolního prostředí, který dovnitř proniká neomezeně. Po zvýšení vlhkosti v klimatizační komoře z 20 % na 80 % RV se po čtyřech minutách začala zvyšovat i vlhkost v lepenkové krabici (v dřevěné krabici za 10 minut po zvýšení). 80 % relativní vlhkosti bylo v lepenkové krabici (mimo novinový blok) dosaženo za 18 hodin 20 minut od změny v komoře. Relativní vlhkost v dřevěné krabici za tuto dobu vystoupila pouze na 37 %.

Relativní vlhkost v novinovém bloku ve vzdálenosti 3,5 cm od povrchu se začala měnit až po dvou dnech od změny vlhkosti v komoře a to zhruba o 0,5-1 % RV za den v lepenkové i dřevěné krabici a podobně i uprostřed novinového bloku v lepenkové krabici. Vlhkost uprostřed

novinového bloku v dřevěné krabici se začala měnit uvedeným způsobem (o 1% RV za den) až po sedmi dnech zvýšení RV v komoře.



Graf 3 Změna relativní vlhkosti v krabici naplněné papírovým materiálem v závislosti na změně relativní vlhkosti prostředí (celková doba pokusu na ose x - 164 dnů)

3 Testování ochranné funkce krabice proti náhlému poklesu teploty

Hlavní depozitář Národní knihovny je umístěn v Hostivaři a odtud jsou dvakrát denně převáženy svazky požadované čtenáři do hlavní budovy NK Klementina v Praze 1. Cesta vozem trvá asi půl hodiny. K převozu dochází za každého počasí i v zimě, proto bylo sledováno, jak krabice chrání knihy proti poklesu teploty.

3.1 Postup

Pro pokus byly zvoleny dvě velikosti krabic stejného typu:

velká krabice (vk) o vnějších rozměrech 190 x 310 x 155 mm

malá krabice (mk) o vnějších rozměrech 130 x 210 x 100 mm.

Od obou velikostí byly vyrobeny dva kusy z lepenky Novosedlice o tloušťce 1 mm. Jedna krabice byla ponechána prázdná, druhá byla zcela naplněna novinovým papírem. Uprostřed novinové masy byl vyříznut otvor pro čidlo datalogger Comet. Hmotnost novin v malé krabici činila

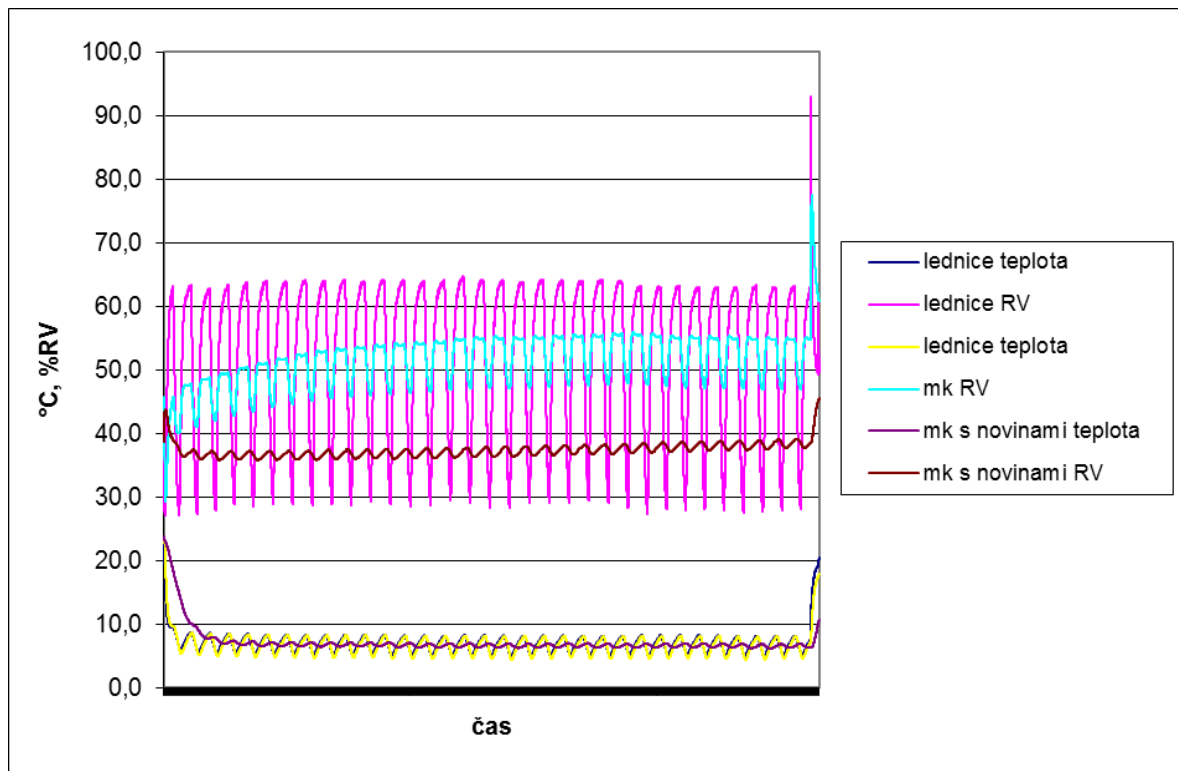
1519 g (při 40 % RV) a ve velké krabici 4200 g. Do prostoru prázdné krabice byl též umístěn datalogger Comet.

Krabice byly umístěny do lednice (8 °C, 78 %RV). S ohledem na kapacitu lednice byly testovány obě velikosti krabic zvlášť. Stejně probíhal pokus, kdy krabice byly uloženy do mrazničky (-29 °C, 29 % RV).

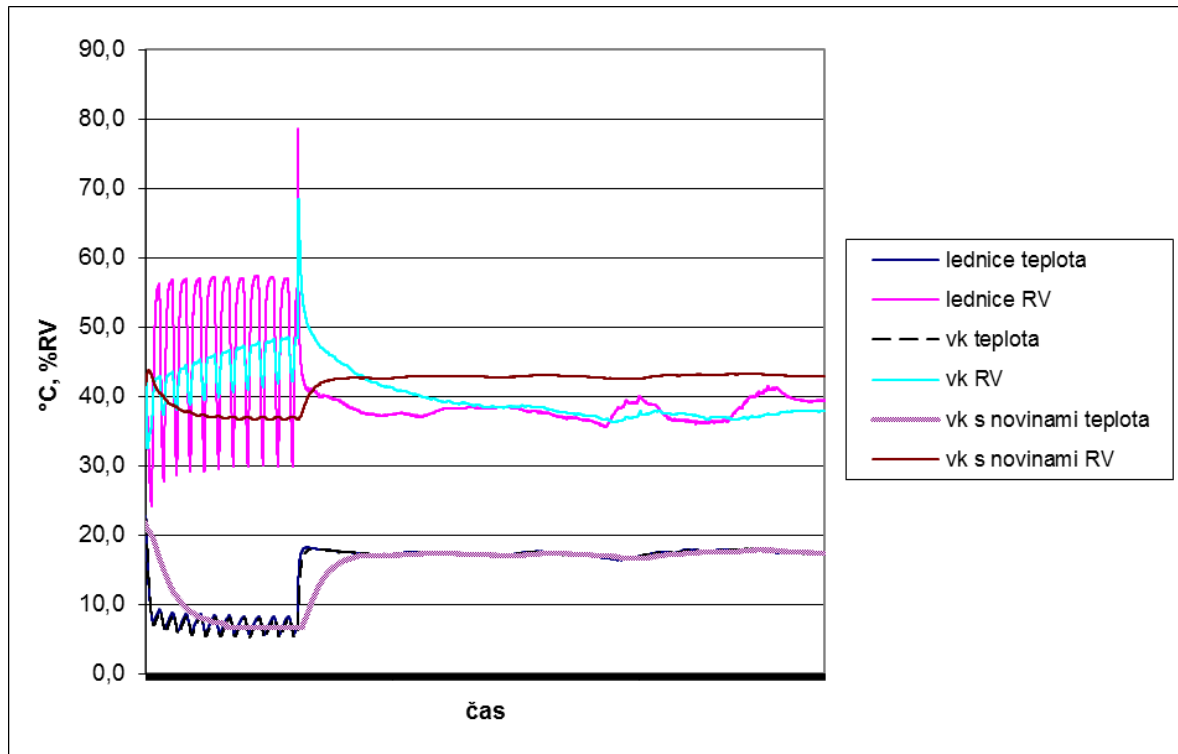
3.2 Výsledky a diskuse

Výsledky měření jsou zobrazeny na *Grafu 4, 5, 6, 7*. Každý graf obsahuje šest záznamů: teplotu a relativní vlhkost v chladícím zařízení, teplotu a relativní vlhkost v prázdné uzavřené krabici a teplotu a relativní vlhkost uprostřed uzavřené krabice naplněné novinami.

Snížení teploty na 8 °C (lednice)



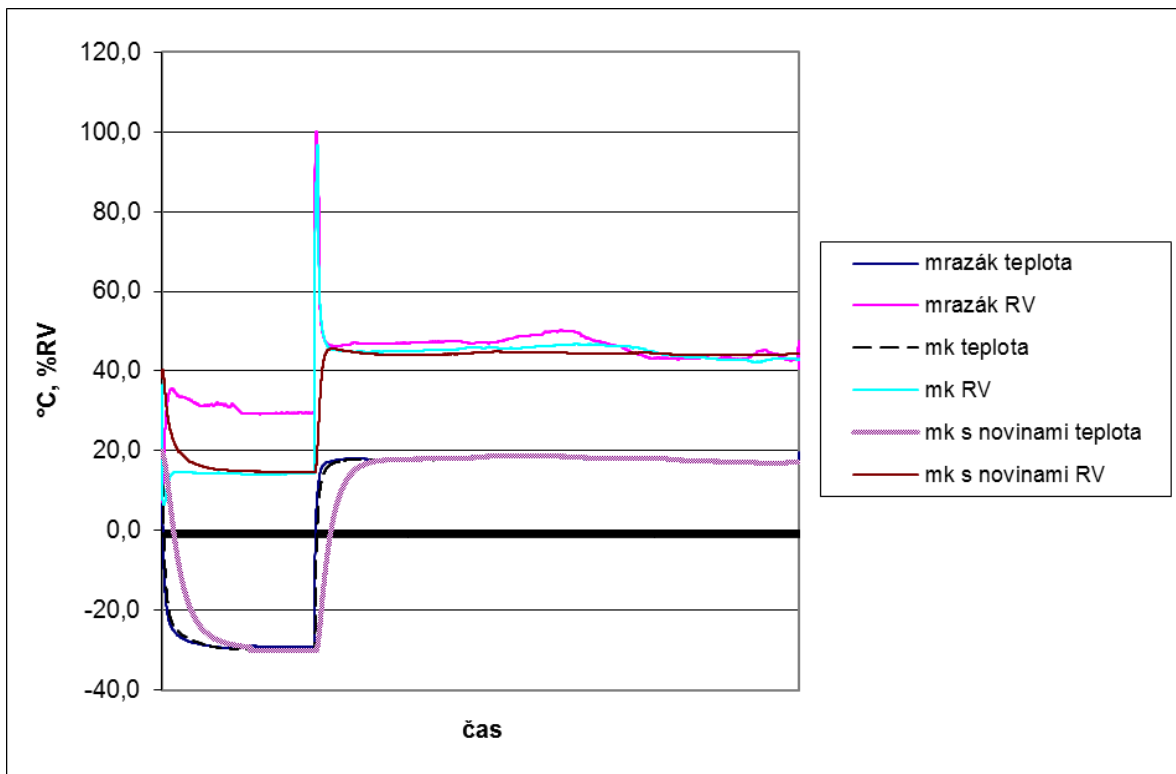
Graf 4 Vliv snížení teploty prostředí 8 °C na teplotu uvnitř malé lepenkové krabice



Graf 5 Vliv snížení teploty prostředí (8 °C) na teplotu uvnitř velké lepenkové krabice

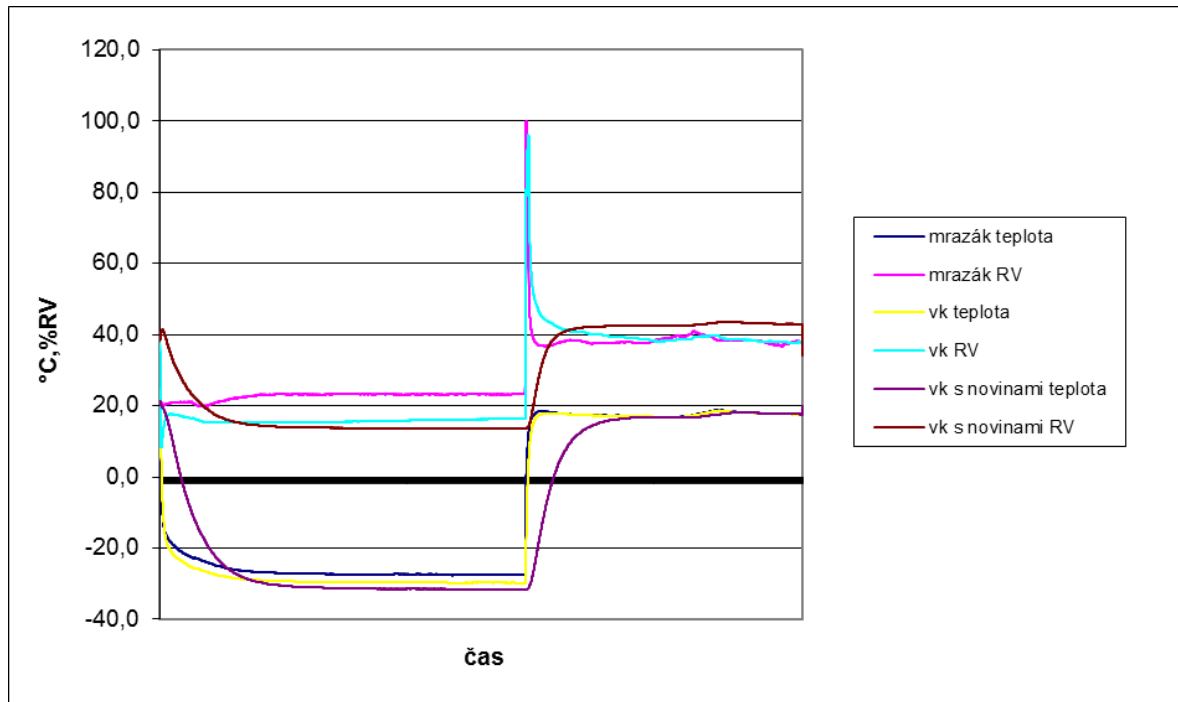
Po vložení malých krabic do lednice trvalo dvě hodiny (v případě velkých krabic zhruba hodinu a čtvrt), než bylo dosaženo chladicí teploty 8 °C. Za prakticky stejnou dobu bylo dosaženo téže teploty v prázdných krabicích. Do středu krabic naplněných novinami pronikla nízká teplota 8 °C za zhruba šest hodin u malé krabice a za 11 a půl hodiny u velké krabice. Po vyjmutí krabic s čidly z lednice došlo k ustavení teplotní rovnováhy s okolím na samostatném čidlu po 1 hodině 20 minutách (změna z 8,3 °C na 20 °C), V prázdné malé krabici byla teplota vyrovnána za dalších 7 minut (ve velké za hodinu a půl). V malé krabici naplněné novinami byla v téže době dosažena teplota 11,3 °C, potom se naplnila kapacita čidla a nebylo možno získat další hodnoty. Ve velké krabici naplněné novinami došlo k vyrovnání teploty s okolním prostředím za 48 hodin po vyjmutí krabic z lednice.

Snížení teploty na -30 °C (mraznička)



Graf 6 Vliv snížení teploty prostředí (-30 °C) na teplotu uvnitř malé lepenkové krabice

Po vložení malých krabic do mrazničky byla mrazící teplota -26 °C v zařízení dosažena za 2 hodiny 20 minut, maximální mrazící teplota -29 °C pak za celkem 11 hodin (viz *Graf 4*). V prázdné krabici byla teplota -26 °C zaznamenána za 3 hodiny, teplota -29 °C také za 11 hodin. Ve středu novinového bloku se teplota -26 °C zjistila po 7 hodinách od vložení do mrazničky a teplota -29 °C po celkové době 21 hodin. Po vyjmutí krabic s čidly z lednice došlo k ustavení teplotní rovnováhy s okolím na samostatném čidlu po 5 hodinách 20 minutách (změna z -29 °C na 18 °C), V prázdné krabici byla teplota vyrovnána prakticky za stejnou dobu. V malé krabici naplněné novinami byla v téže době dosažena teplota 13,5 °C. K vyrovnání s teplotou okolí (18,8 °C) došlo ve středu malé krabice naplněné novinami za dobu 18 hodin po vyjmutí z mrazničky.



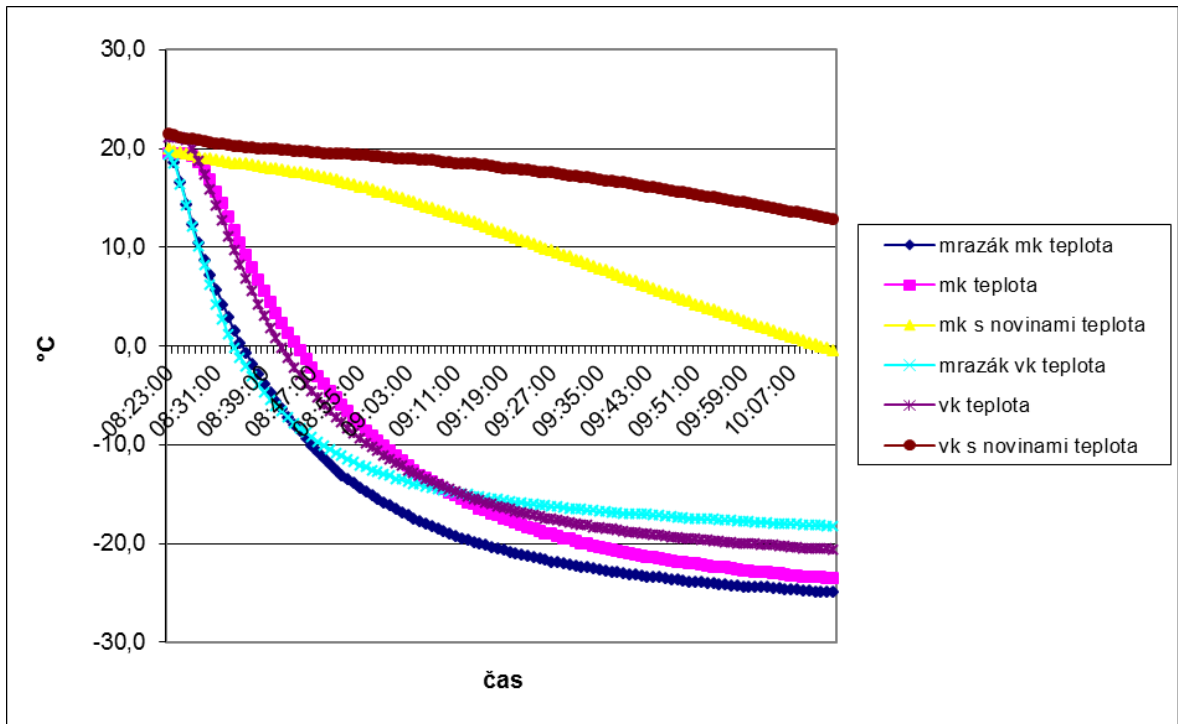
Graf 7 Vliv snížení teploty prostředí (-30 °C) na teplotu uvnitř velké lepenkové krabice

Pokud se týká velkých krabic, po jejich vložení do mrazničky trvalo 12 hodin, to je o deset hodin více než u malých krabic, než bylo v prostoru mrazničky dosaženo teploty -26 °C (viz Graf 7, 8). V prázdné krabici byla dosažena teplota -26 °C za sedm hodin, v krabici s novinami za 12 hodin. Po vyjmutí krabic s čidly z mrazničky se teplotní rovnováha s okolím ustavila na samostatném čidlu po 2 a půl hodinách (změna z -27 °C na 18 °C), V prázdné krabici byla teplota vyrovnána prakticky za stejnou dobu (z -29 °C na 17,4 °C). V krabici naplněné novinami byla v téže době dosažena teplota -17,5 °C. K vyrovnání s teplotou okolí (18 °C) došlo ve středu velké krabice naplněné novinami za 36 hodin po vyjmutí z mrazničky.

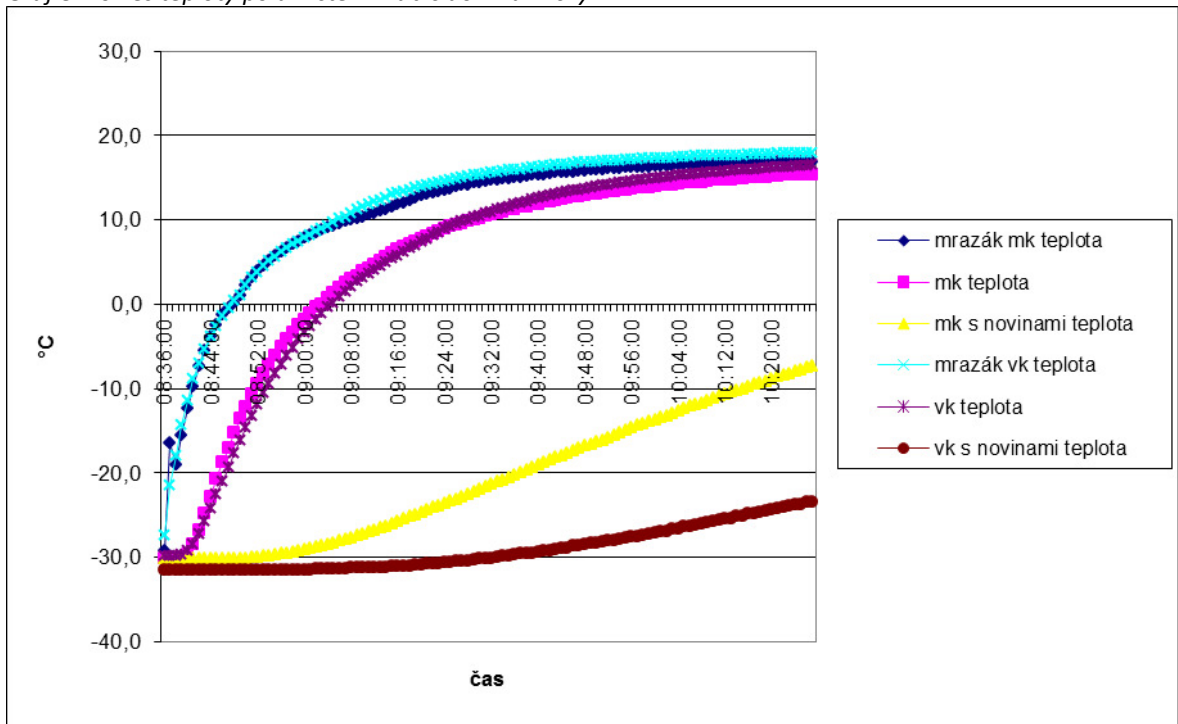
Na Grafu 8 a 9 je zobrazeno srovnání změny teploty u malých a velkých krabic po vložení resp. vyjmutí z mrazničky.

Rychlost snižování teploty v mrazničce je značně ovlivněna mírou zaplnění prostoru. Rychlost změny teploty uvnitř prázdných krabic (snižování i zvyšování) vlivem teploty prostředí nezávisí na velikosti krabic.

V případě krabic naplněných papírovým obsahem je změna teploty ve větších krabicích pomalejší (přestup tepla zpomalován papírovým obsahem: tepelná vodivost papíru je zhruba 5-7x vyšší než tepelná vodivost vzduchu).



Graf 8 Pokles teploty po umístění krabic do mrazničky



Graf 9 Nárůst teploty po vyjmutí krabic z mrazničky

4 Krabice jako ochrana proti polutantům

Krabice, do kterých se ukládají knihovní a archivní materiály, jsou obecně známy a používány jako ochrana před prašným znečištěním a před následky nešetrné manipulace. Nutnou podmínkou z hlediska bezpečného uložení zpomalujícího chemické poškození knihovních materiálů je použití nekyselé lepenky s dostatečnou alkalickou rezervou pro výrobu obalů.

Cílem této práce je zjistit, do jaké míry brání vybrané obalové materiály průchodu polutantů ke skladovanému materiálu.

4.1 Pokus v přirozeně znečištěném prostředí

4.1.1 Použité materiály a postup

Použité obalové materiály:

- LN – lepenka dodavatel Novosedlice
- LK – lepenka dodavatel Klug
- LN - lepenka dodavatel Nielsen (Alphamat Artcare)
- MC – Microchamber Bond MC02 (Conservation by Design Limited)
- PN – papír nekyselý
- PC – filtrační papír Canson

Obalové materiály byly vybrány tak, aby zahrnovaly jak kartony, tak lepenky. Byla stanovena jejich tloušťka, kyselost (pH vodného výluhu za studena podle ČSN ISO 65 88) a alkalická rezerva (ČSN ISO 10716) – *Tabulka 1*.

Tabulka 1 Charakteristika použitých obalových materiálů

obalový materiál	tloušťka (mm)	pH	alkalická rezerva (% CaCO ₃)
LN lepenka dodavatel Novosedlice	0,93	8,26	2,9
LK lepenka dodavatel Klug	1,63	8,95	3,8
LAN lepenka dodavatel Nielsen	1,55	8,32	2,6
PC filtrační papír Canson	0,54	8,13	0
PN nekyselý karton	0,08	8,43	10,3
MC Microchamber Bond	0,09	8,32	2,5

Z obalových materiálů byly vytvořeny krabice o rozměrech 180 x 250x 120 mm a do nich byly uzavřeny stojánky, na které byly umístěny senzory pro měření oxidů síry a dusíku. Hrany krabic byly zalepeny tak, aby nepropouštěly vzduch, tedy jediný přístup polutantů do krabic byl vlastním obalovým materiálem.

4.1.2 Senzory pro měření oxidů síry a dusíku

Při plánování této práce v roce 2004 bylo uvažováno, že pro měření koncentrací oxidů dusíku a síry budou užity indikační kupony AAF (Air Quality Analysis). Stejně indikační kupony byly použity pro měření hladiny polutantů ve vybraných prostorách budov Národní knihovny Klementina (střed Prahy) a Centrálního depozitáře Hostivař (okraj Prahy). Zkušenosti získané při těchto měřeních a při dodatkovém měření polutantů pasivními vzorkovači (SVUOM), jejichž výhodou je rychlejší

a spolehlivější vyhodnocení výsledků a vyjádření výsledků v konkrétních hodnotách SO_2 a NO_x v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, rozhodly, že jsme pro měření obsahu polutantů v krabicích zvolili tyto vzorkovače od SVUOM. Tyto vzorkovače jsou umísťovány do lokalit s měřenou kvalitou ovzduší ve speciálních stojácích a po určené expoziční době (obvykle 1 měsíc) jsou jednorázově vyhodnocovány v laboratořích SVUOM.

Stanovení SO_2 pasivním senzorem (metodika SVUOM)

Stanovení se provádí dle ČSN ISO 9225 Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosfér. Měření znečištění metodou pasivní sorpce do alkalického materiálu (speciálně připravované nasycené filtražtové desky napuštěné uhličitánem sodným).

Po expozici, během které se v alkalickém prostředí destiček zachycují kyselý reagující složky ovzduší, především tedy SO_2 , se provede oxidace vznikajícího siřičitanu sodného na síran a stanoví se celkové množství síranů. Tímto stanovením se podchytí celková úroveň znečištění ovzduší sloučeninami síry. Největší podíl tohoto znečištění je tvořen právě oxidem siřičitým, a protože ostatní jmenované složky v něm mají svůj původ, vyjadřuje se výsledná hodnota jako SO_2 . Vzhledem ke způsobu sorpce se získá výsledek, vyjádřený jako „rychlost depozice“, tj. množství SO_2 , zachycené na jednotce plochy za jednotku času. Empirickým vztahem lze tuto veličinu přepočítat na objemovou koncentraci.

Stanovení NO_x pasivním senzorem (metodika SVUOM)

Stanovení se provádí dle ČSN ISO 9225 Koroze kovů a slitin. Korozní agresivita atmosfér. Měření znečištění. Jednoduchá technika měření pasivními vzorkovače je založená na Palmesových difusních trubicích. Metoda je založená na ustavení koncentračního spádu (gradientu) v trubici, mezi reprezentativním bodem v ovzduší a místech adsorpce na protilehlé straně v trubici.

Chemický princip procesu absorpce a analytický postup

Trietanolamin (TEA) váže všechny NO_2 , se kterým přijde do styku, a proto se používá pro zachycení atmosférického oxidu dusičitého. Při absorpci NO_2 přechází TEA na nitrosodietanolamin a při analýze se tato sloučenina hydrolyzuje zpět na dusitan. Následně je možné koncentraci této poslední sloučeniny stanovit spektrofotometrickou metodou. Při této reakci se diazsole vzniklé reakcí s N-1-naftyletylendiamin dihydrochloridem (NEDA) přeměňují ve fialové azobarvivo.

Z měření obsahu polutantů v prostorách Klementina a Centrálního depozitáře Hostivař, které SVUOM prováděl v letech 2007 – 2008 je zřejmé, že obsah SO_2 v lokalitách Národní knihovny

je relativně nízký (nejvyšší zjištěná průměrná hodnota $10,1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), proto bylo rozhodnuto vytvořit dvě sady krabic z testovaných materiálů, jednu s pasivními senzory pro měření SO_2 a druhou se senzory pro měření NO_x . Krabice se senzory pro měření NO_x byly umístěny v budově Klementina v přízemí u pootevřeného okna vedoucího na nádvoří za průchodem na Křížovnické náměstí (zjištěná průměrná hodnota NO_x v prvním patře Klementina v Křížovnické ulici činí $58,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Krabice se senzory pro měření SO_2 byly umístěny do kůlny na pracovišti SVUOM v Mostu-Kopisty, kde je znečištění SO_2 vyšší než v Praze.

Do třetí sady krabic byly vloženy stojánky s oběma typy senzorů a krabice byly postaveny do skladiště knih v Centrálním depozitáři Hostivař, kde jsou koncentrace polutantů velmi nízké ($3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \text{SO}_2$ a $7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3} \text{NO}_x$). Na všechna tři stanoviště byl umístěn i stojánek se senzory bez obalu pro určení množství měřených polutantů v prostředí obklopujícím krabice.

4.1.3 Stanovení ochranné účinnosti obalu

K jejímu stanovení byl použit vzorec

$$U_r = (c_o - c_p) / c_o \cdot 100, \text{ kde}$$

U_r ochranná účinnost obalového materiálu v %

c_o koncentrace plynné složky znečištění okolního prostředí v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

c_p koncentrace plynné složky znečištění v testovaném obalu v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

4.1.4 Výsledky a diskuse

Měření průniku SO_2 obalovými materiály

Obaly byly umístěny v žaluziové budce v atmosférické zkušební stanici SVUOM v Kopistech u Mostu ve dnech 29.8.2008 – 6.5.2009. V tomto období byla průměrná koncentrace SO_2 ve vnějším prostředí $13,6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Další sada obalů byla umístěna v klimatizovaném centrálním depozitáři NK v Hostivaři ve dnech 8.9.2008 – 28.4.2009. Z výsledků měření z roku 2007 – 2008 byla předpokládaná koncentrace SO_2 vně depozitáře cca $6,5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ve vnější atmosféře a cca $4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ uvnitř depozitáře.

Naměřené hodnoty a vypočítaná účinnost obalových materiálů jsou uvedeny v *Tabulce 2*.

Tabulka 2 Účinnost obalových materiálů proti pronikání SO₂

Lokalita	Obalový materiál	SO ₂ µg.m ⁻³	Účinnost %
Hostivař	Kontrolní senzor	1,35	-
	Filtr. Canson	0,93	31,1
	Nielsen	0,26	80,7
	Klug	0,35	74,1
	Novosedlice	0,28	79,3
	Nekyselý karton	0,2	85,2
	Microchamber	0,32	76,3
Kopisty	Kontrolní senzor	4,06	-
	Filtr. Canson	0,31	92,4
	Nielsen	0,28	93,1
	Klug	0,54	86,7
	Novosedlice	0,11	97,3
	Microchamber I.	0,49	87,9
	Microchamber II.	0,2	95,1

Koncentrace SO₂ v prostředí Centrálního depozitáře Hostivař je velmi nízká a ještě nižší jsou koncentrace zjištěné uvnitř jednotlivých krabic. Jejich vzájemné rozdíly jsou minimální, vyšší průnik SO₂ do obalu byl zjištěn pouze u filtračního papíru Canson. Vzhledem k tomu, že nižší účinnost tohoto materiálu při ochraně proti SO₂ nebyla potvrzena u krabice umístěné ve více znečištěném prostředí v Kopistech, mohlo se jednat o netěsnost zalepeného spoje krabice. V Kopistech byl omylem testován místo obalu z nekyselého kartonu další obal z Microchamber.

Porovnáním účinností jednotlivých obalových materiálů lze konstatovat, že nejlepší ochranu proti průniku SO₂ poskytla lepenka dodavatel Nielsen, lepenka z Novosedlic, případně nekyselý karton. Nejnižší účinnost byla zjištěna u vlnité lepenky Klug.

Měření průniku NO_x obalovými materiály

Obaly byly umístěny v Klementinu v prostoru mezi okny v průchodu do Křížovnické ulice ke Karlovu mostu, vnější okno bylo pootevřené, ve dnech 8.9.2008 – 28.4.2009. Z výsledků měření z roku 2007 – 2008 byla předpokládaná koncentrace NO_x vně budovy cca 65 µg.m⁻³ ve vnější atmosféře a cca 20 µg.m⁻³ uvnitř budovy.

Další sada obalů byla umístěna v klimatizovaném centrálním depozitáři NK v Hostivaři ve dnech 8.9.2008 – 28.4.2009. Z výsledků měření z roku 2007 – 2008 byla předpokládaná koncentrace NO_x vně depozitáře cca 30 µg.m⁻³ ve vnější atmosféře a cca 10 µg.m⁻³ uvnitř depozitáře.

Naměřené hodnoty a vypočítaná účinnost obalových materiálů jsou uvedeny v *Tabulce 3*.

Tabulka 3 Účinnost obalových materiálů proti pronikání NO_x

Lokalita	Obalový materiál	NO _x µg.m ⁻³	Účinnost %
Hostivař	Kontrolní senzor	2,4	-
	Filtr. Canson	1,8	25
	Nielsen	1,5	37,5
	Klug	2	16,7
	Novosedlice	1,3	45,8
	Nekyselý karton	1,8	25
	Microchamber	1,7	29,2
Klementinum	Kontrolní senzor	74,1	-
	Filtr. Canson	143,7	-
	Nielsen	59,2	20,1
	Klug	129,2	-
	Novosedlice	6,5	91,2
	Nekyselý karton	138	-
	Microchamber	71,7	3,2

V některých obalech umístěných v Klementinu (filtrační papír Canson, nekyselý karton, lepenka Klug) byly zjištěny vyšší koncentrace NO_x než u kontrolního vzorku. To mohlo být způsobeno průnikem plynného znečištění do obalu a omezením odvětrávání z obalu (rychlá depoziční reakce s aktivní chemickou sloučeninou pasivního vzorkovače). Nejvyšší ochranná účinnost proti NO_x byla tedy zjištěna u lepenky z Novosedlic, lepenky Nielsen a u obalu z Microchamber. Nejnižší účinnost byla opět zjištěna u lepenky Klug.

Změna pH a alkalické rezervy obalových materiálů po působení polutantů

Po otevření obalů a vyjmutí měřících senzorů byla u obalových materiálů stanovena jejich kyselost (pH vodného výluhu za studena podle ČSN ISO 65 88-Tabulka 4) a alkalická rezerva (ČSN ISO 10716-Tabulka 5) a porovnána s hodnotami před umístěním obalů na stanoviště.

Tabulka 4 Změna kyselosti obalových materiálů po působení polutantů

	pH	ΔpH		
	původní	SO ₂	NO _x	SO ₂ ,NO _x
Novosedlice	8,3	0,1	0,2	0,3
Klug	9	-0,5	-0,5	-0,2
Nielsen	8,3	-0,2	-0,2	0,3
filtr.Canson	8,1	-2,1	-0,9	-0,6
nekyselý karton	8,4	n	0,1	0,4
Microchamber	8,3	-0,6	-0,2	-0,2

(n – vzork neměřen)

K zřetelnému zvýšení kyselosti došlo pouze u filtračního papíru Canson, na kyselost ostatních materiálů neměly použité koncentrace polutantů vliv.

Tabulka 5 Změna alkalické rezervy obalových materiálů po působení polutantů

	Δ alkalická rezerva % CaCO_3			
	původní	SO_2	NO_x	SO_2, NO_x
Novosedlice	2,9	2,4	1,3	1,4
Klug	3,8	0,3	-0,1	0,2
Nielsen	2,6	1,1	1,1	0,9
filtr.Canson	0	0	0	0,1
nekyselý karton	10,3	n	-0,1	0,2
Microchamber	2,5	2,9	3,7	4,1

(n – vzork neměřen)

U některých obalových materiálů (lepenka Novosedlice a zvláště Microchamber) bylo zjištěno významné zvýšení alkalické rezervy (viz Tabulka 5). Vzhledem k tomuto zjištění a k dalším nejednoznačným výsledkům (zvýšení koncentrace NO_x uvnitř některých obalových materiálů) pokračovalo testování obalových materiálů v roce 2011 v klimatizační komoře s přívodem polutantů.

4.2 Pokus v komoře s přívodem SO_2 a NO_2

4.2.1 Použité materiály a postup

Na doporučení oponenta výzkumného záměru byly do pokusu zahrnuty i archivnické lepenky z EMBY, spol. s r.o. Laurent a Prolux s charakteristickými hodnotami viz příložené certifikáty (viz Příloha 1 a 2).

Krabice z testovaných materiálů byly připraveny stejným způsobem jako u pokusu v přirozeně znečištěném prostředí: byly vytvořeny krabice o rozměrech 180 x 250 x 120 mm a do nich byly uzavřeny stojánky, na které byly umístěny senzory pro měření oxidů síry a dusíku (SVÚOM). Hrany krabic byly zalepeny tak, aby nepropouštěly vzduch, tedy jediný přístup polutantů do krabic byl vlastním obalovým materiálem. V případě krabice 1 byl stojánek se senzory zabalen do materiálu Microchamber, a potom vložen do krabice z lepenky Novosedlice. Krabice byly umístěny do zkušební komory CTS s možností přívodu plyných polutantů při podmínkách 30 °C, 50 % RV, koncentrace plyných polutantů 10 ppm NO_2 a 10 ppm SO_2 . Volně do komory byl umístěn další stojánek se senzory tentokrát bez obalu bez obalu a další kontrolní stojánek bez obalu byl umístěn do laboratoře mimo komoru.

Po šesti dnech pokusu došlo k poruše komory a krabice se zalepenými senzory pak stály v laboratorním prostředí dalších 110 dnů. Potom byly krabice otevřeny a senzory zaslány na vyhodnocení. Stejně jako v předchozím pokusu byla stanovena ochranná účinnost krabice v %.

4.2.2 Výsledky a diskuse

Ochranná účinnost obalových materiálů

Naměřené koncentrace polutantů a vypočítaná ochranná účinnost jednotlivých obalových materiálů jsou zaneseny v *Tabulce 6*. Nejlepší ochranná účinnost proti pronikání SO₂ do obalu byla zjištěna u lepenky Nielsen (98 %), srovnatelné s ní jsou lepenka Novosedlice (94,3 %) a obě lepenky z EMBY s.r.o. Laurent (95,3 %) a Prolux (94,3 %). Nejhorší ochrannou účinnost proti pronikání SO₂ z lepenek opět prokázala lepenka Klug (90 %).

Tabulka 6 Účinnost obalových materiálů proti pronikání plynných polutantů v klimatické komoře CTS

vzorek	materiál	SO ₂ μg.m ⁻³	Účinnost %	NO ₂ μg.m ⁻³	Účinnost %
krabice 1	Novosedlice + Microchamber	1,6	94,7	7	96,6
krabice 2	Novosedlice	1,7	94,3	11,5	94,4
krabice 3	Nielsen	0,6	98	94,1	54
krabice 4	Klug	2,9	90,4	160,3	21,6
krabice 5	Prolux	1,7	94,3	84,6	58,6
krabice 6	Laurent	1,4	95,3	114,9	43,8
krabice 7	nekyselý karton	7,2	76,1	174	14,9
krabice 8	Microchamber	10,6	64,8	207,4	-
komora	bez obalu	30,1		204,5	
laboratoř	mimo komoru	1,5		16,7	

Pokud se týká ochranné účinnosti testovaných obalových materiálů proti pronikání NO₂, jako nejúčinnější se ukázala lepenka Novosedlice (94 %), a s účinností menší o 40 % lepenka Nielsen (54 %) a s ní srovnatelná lepenka Prolux (58,6 %). Nejhorší hodnoty z lepenek měla opět lepenka Klug (21,6 %). V obalu z Microchamber se zopakoval jev pozorovaný při pokusu v přirozených podmínkách, kdy koncentrace NO₂ zjištěná v obalu byla vyšší než koncentrace NO₂ v prostoru komory. Vzhledem k tomu, že i ochranná účinnost proti SO₂ byla zjištěna na nižší úrovni (64,8 %), došlo zřejmě vlivem netěsnosti některého spoje k vyššímu průniku testovaných plynů dovnitř obalu a senzory na měření NO₂ patrně reagují citlivěji než senzory na měření SO₂.

Změna pH a alkalické rezervy obalových materiálů vlivem plynných polutantů

Po otevření obalů a vyjmutí měřících senzorů byla také u těchto obalových materiálů stanovena jejich kyselost (pH vodného výluhu za studena podle ČSN ISO 65 88) a alkalická rezerva (ČSN ISO 10716) a porovnána s hodnotami před umístěním obalů do komory (viz *Tabulka 7*).

Tabulka 7 Změna kyselosti a alkalické rezervy obalových materiálů působením plynných polutantů NO₂ a SO₂

	Δ pH	Δ alkal.rezerva % CaCO ₃
Novosedlice	-0,1	0
Nielsen	0,2	0,1
Klug	-0,5	0
Prolux	-1,1	0,4
Laurent	-0,3	0,4
nekyselý karton	-0,3	0
Microchamber	-0,5	-0,1
Novosedlice nad Microchamber	-0,3	0
Microchamber v Novosedlice	-0,2	0,1

U většiny testovaných materiálů byl zjištěn malý pokles pH, který se u lepenky Klug a Microchamber blížil poklesu pH zjištěnému při pokusu v přirozeném prostředí. Vyšší pokles pH byl zjištěn pouze u lepenky Prolux (1,1). Alkalická rezerva se během pokusu prakticky nezměnila, nebyl potvrzen nárůst zjištěný při pokusu v přirozených podmínkách.

Závěry a doporučení

Krabice jsou vhodné pro ukládání vzácnějších fondů. Poskytují svému obsahu ochranu před světlem, prachem, mechanickým poškozením při manipulaci v depozitáři i ve studovnách, a v neposlední řadě i před poškozením vodou či ohněm.

Krabice pomáhají i vyrovnávat změny vlhkosti okolního prostředí. Lepenková krabice poskytuje ochranu svému obsahu proti změnám vlhkosti po dobu několika minut. Dřevěná krabice po dobu 10 minut chrání obsah absolutně a i po této době je změna vlhkosti v krabici pomalá. Z měření uvnitř papírového bloku vyplývá, že ke změně vlhkosti dochází postupně (v případě testovaných krabic rychlostí 1 % RV/den). Tato změna neohrožuje chemickou stabilitu materiálu. Většímu náporu je vystavena vazba (desky), která kryje povrch bloku, případně ořízka. Lze předpokládat, že u materiálů volně uložených v krabici (svitky a pod.) dojde k většímu ovlivnění materiálu změnou vlhkosti okolního prostředí.

Dřevěná krabice poskytuje při kolísání vlhkosti vnějšího prostředí daleko významnější ochranu objektům uloženým uvnitř než krabice lepenková, proto je výhodnější pro nejzácnější dokumenty nebo při transportu na větší vzdálenost.

Ochranu proti poklesu teploty zabezpečuje lepenková krabice jen po velmi omezenou dobu (jedná se spíše o sekundy). Nízká teplota opět primárně působí na povrch (vazbu) uloženého materiálu. Proto se doporučuje používat pro přepravu knih v zimních měsících auto vybavené alespoň regulací teploty (vytápěním).

Lepenky Nielsen a Novosedlice prokázaly dobrou ochrannou funkci proti pronikání oxidů síry a dusíku do ochranných obalů, zvláště vynikající je schopnost lepenky Novosedlice chránit obsah před průnikem NO_2 . Schopnost vlnité lepenky (Klug) chránit obsah obalu před plynnými polutanty je nižší než lepenek vrstvených, proto se jako materiál pro výrobu ochranných obalů v oblastech znečištěných polutanty nedoporučuje používat vlnitou lepenku.



CERTIFIKÁT

Výrobek :

Archivnická lepenka LAURENT

Objemová hmotnost: 0,92 – 1,01 kg/dm³

Pevnost v tahu podél: min. 30 MPa

Pevnost v tahu napříč: min. 12 MPa

Vlhkost: 5 – 8 %

pH vodného výluhu: min. 7,5

Cobb 60 : max. 25 g/m²

Alkalická rezerva: min. 0,4 mol/kg

Kappa: < 5

Světlocitlivost: stupeň 6 – 7

Krvácivost: nekrvácí

Lepenka odpovídá normě: ČSN ISO 16245

Datum: 4. 1. 2010

Vystavil: Libišová

EMBA, spol. s r.o. Paseky nad Jizerou

IČO 15044572

Tel. : +420 481 553 111

Email : prodej@emba.cz

DIČ CZ-15044572

Fax : +420 481 553 163

www.emba.cz



CERTIFIKÁT

Výrobek :

Archivnická lepenka PROLUX

Objemová hmotnost: 0,92 – 1,01 kg/dm³

Pevnost v tahu podél: min. 18 MPa

Pevnost v tahu napříč: min. 10 MPa

Vlhkost: 5 – 8 %

pH vodného výluhu: min. 7,5

Alkalická rezerva: min. 0,4 mol/kg

Datum: 20.8.2008

Vystavil: Libišová

EMBA, spol. s r.o. Paseky nad Jizerou

ICO 15044572

DIC CZ-15044572

Tel. : +420 481 553 111

Fax : +420 481 553 163

Email : prodej@emba.cz

www.emba.cz