

Výzkumný úkol v rámci výzkumného záměru NK ČR
Ing. Petra Vávrová, Ing. Martina Ohlídalová
(za rok 2006)

- Rozšíření rešerše na téma vakuové balení archiválií (viz. Příloha č. I).
- Měření propustnosti pro kyslík u vybraných fólií – Nezávislá obalová laboratoř VŠCHT Praha, Doc. Dobiáš.
- Měření teplotní závislosti permeabilit kyslíku u vybraných fólií (LDPE, NK EVOH, BRANOPACK III, ESCAL) – Ústav makromolekulární chemie, Praha – Petřiny, zpráva o analýzách je přiložena (viz. Příloha č. II).
- Na základě těchto analýz byl proveden výběr vhodných fólií pro další experimenty (charakterizace vlastností, umělé stárnutí).
- Byly také naplánovány podmínky umělého stárnutí fólií, papírového materiálu a systému papírového materiálu zavakuovaného ve fóliích.
- Průzkum trhu (Česká republika i zahraničí) a nákup vakuové baličky pro experimenty – zapojení a zprovoznění zakoupené vakuové baličky, nástřelové experimenty.
Parametry baliček, podle kterých jsme baličku vybíraly:
 - regulace teploty sváru
 - regulace doby působení zvýšené teploty (pokud je to nutné pro některé typy fólií)
 - možnost několikanásobného sváru
 - rozměrové možnosti např. pro balení velkoformátových novin
 - cenová relace baliček (včetně dopravy baličky do Národní knihovny ČR)
- Výběr a zajištění papírového materiálu (noviny a časopisy) z vyřazených fondů Národní knihovny České republiky (tento materiál byl volen z hlediska podobnosti s materiálem, který by se mohl v budoucnu touto metodou ukládat).
- Proměření a stanovení obecných, chemických, optických a mechanických vlastností papírového materiálu.
- Výběr vhodných fólií – průzkum trhu

Příloha č. I: Rozšířená rešerše.

Problematika ukládání archiválií do obalů ze speciálních folií bez přístupu vzduchu

Výzkumný úkol v rámci výzkumného záměru NK ČR

Petra Vávrová, Martina Ohlídálová

Úvod

Mezi vzácné knihovní sbírky řadíme nejen nejstarší historické fondy iluminovaných rukopisů zhotovených na papíře a pergamenu, ale může se jednat i o unikátní rukopisný, tištěný či obrazový materiál z relativně nedávné doby. Předměty tvořící knihovní sbírky jsou tvořeny z široké škály materiálů, kterým dominují hlavně papír, pergamen, useň, dřevo a další. Jedná se obecně o organické materiály, které velice snadno podléhají degradaci, pokud nejsou dodržovány optimální podmínky jejich uložení.

V současné době Národní knihovna ČR ukládá tyto vzácné rukopisy v nekyselých lepenkových krabicích o vhodných rozměrech pro každou skladovanou archiválii. Tento způsob uložení dostatečně a účinně chrání archiválie před prachem, mechanickým poškozením a přímým světlem. Problematickými otázkami ale zůstává ochrana před vzdušnými polutanty (řeší se dnes globálně v celé místnosti, kde jsou archiválie v krabicích uloženy) a ochrana před působením mikroorganismů. Tento způsob uložení také nijak nebrání plynulému oxidačnímu mechanismu degradace materiálů archiválií. V neposlední řadě nelze zapomenout ani na preventivní ochranu před povodněmi nebo havariemi vodovodního potrubí v místě uložení.

Uložení zejména mladých knihovných fondů v lepenkových krabicích je tedy vlivem jejich poměrně velké náchylosti k degradaci v některých případech nedostačující. Na základě této skutečnosti existuje snaha prozkoumat a zhodnotit některé alternativní způsoby uskladnění, které by mohly v budoucnu pomoci tuto problematiku vyřešit.

Vakuového balení

Při likvidaci následků povodní v Praze v roce 2002 se Národní knihovně ČR výborným způsobem osvědčila technologie vakuové balení jako rychlý způsob zakonzervování zasažených archivních materiálů. Tento způsob balení objektů do speciálních folií nepropouštějící kyslík je využívána především v potravinářském a elektrotechnickém průmyslu. V poslední době si ale tato technologie balení našla uplatnění také v konzervaci a lze ji využít také jako jednu z alternativních možností uložení archivních materiálů.

Využití této technologie balení archiválií jako alternativního přístupu pro uložení problematických archivních fondů je založeno na předpokladu, že eliminace kyslíku v podmínkách uložení je vhodnou cestou pro předcházení řady konzervátorských problémů. Touto cestou uložení archiválií lze předejít takovým problémům jako je např. likvidace biologických škůdců, konzervace a sušení povodní zasažených materiálů atd. Tento přístup také nabízí možnost vhodnějšího uložení dokumentů náchylných k oxidačnímu poškození a poškození světlem. Jedná se zejména o knihovní fondy na novodobých papírech, jako jsou noviny a periodika.

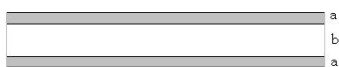
Technologie vakuového balení

K účelům balení archivního materiálu do obalů je nutné použít vhodné folie, které účinně zabrání průniku kyslíku dovnitř obalu k zabalené archiválii. K tomu se využívají speciální folie, zvané "high oxygen barrier film". Do těchto folií se archivní materiál hermeticky uzavře v prostředí vakua nebo bez něj. K tomu lze použít nejrůznější druhy baliček, které se liší nejen rozměrem komory, ale také používaným příkonem.

Aby folie mohla být použita pro uložení archiválií musí splňovat řadu parametrů. Nejdůležitější z nich jsou níže uvedeny:

- co nejnižší hodnota propustnosti pro kyslík, vlhkost a vzdušné polutanty
- transparentnost
- možnost tepelného svaření
- zvýšená odolnost proti mechanickému poškození
- co nejdelší životnost fólií
- vysoká chemická stabilita (bez uvolňování změkčovadel, apod.) = inertnost

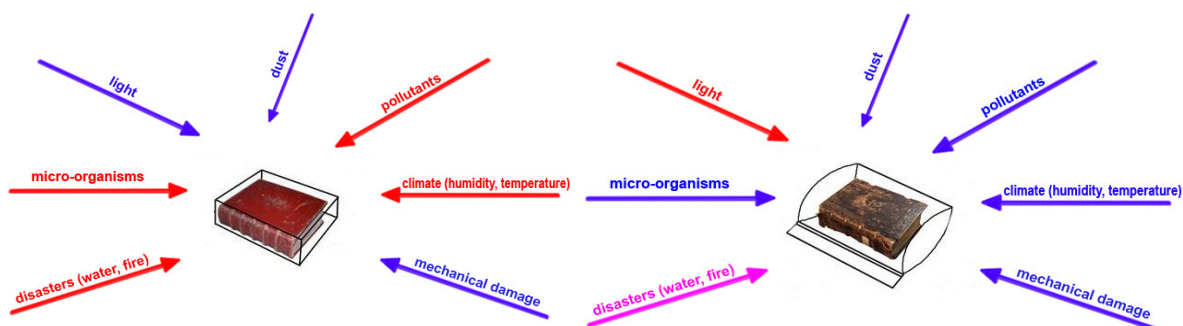
Na základě požadavku možnosti tepelného svařování jsou "high oxygen barrier film" nejčastěji vrstevnaté systémy – viz Obr. 1. Folií je tvořena vrstvou *b*, která splňuje požadavky nízké propustnosti pro kyslík, vlhkost, vzdušné polutanty. Tato vrstva je potom pokryta vrstvou polymeru *a*, který zabezpečí folii možnost tepelného svařování. Mezi tyto vhodné folie patří např. hliníkové folie potažené vrstvou PE nebo PP; PES folie potažené vrstvou PET nebo EVA; folie na bázi SiO₂ a PE/PP nejrůznější jejich kombinace.



Obr. 1 – vrstevnaté rozložení "high oxygen barrier film"

Výsledky vakuového balení

Při srovnání technologií uložení archivních materiálů ve speciálních foliích nepropouštějících kyslík s uložení archiválií ve vhodných lepenkových krabicích lze nalést u prvního systému několik výhod – viz Obr. 2.



Obr. 2 – srovnání systému uložení v lepenkových krabicích a v obalu nepropouštějícím kyslík (červená: uložení ochrání proti vnějším vlivům; modrá: uložení neochrání proti vnějším vlivům; fialová: uložení ochrání proti vnějším vlivům částečně)

První a největší skupinou výhod tohoto systému uložení archivních materiálů je jejich dostatečná ochrana před vlhkostí a vzdušnými polutanty; zvýšená ochrana před mechanickým poškozením, prachovými částicemi, škůdci, plísněmi, neopatrnému zacházení a poškození při transportu. Jedná se tedy přesně o ty degradační faktory, kterým uložení v lepenkových krabicích nedokáže zabránit nebo dostatečně předcházet.

Další významnou výhodou tohoto systému uložení archiválií je úspora skladovacího prostoru. Při vakuovém zabalení archiválie se ušetří oproti uložení v lepenkových krabicích o 40-50 % prostoru.

Poslední větší výhoda tohoto systému uložení vyplývá ze vzniku uzavřeného prostoru nepřístupného kyslíku. Kromě skutečnosti, že při vakuovém zabalení, je zpomalen přirozené stárnutí materiálů archiválií (především tedy oxidačního mechanismu degradace), lze tento postor využít k přidání dalšího vhodného materiálu pro ochranu materiálů. V úvahu přicházejí nejružnější lápače volných radikálů a absorbéry zbytkového kyslíku.

Prvotním problémem tohoto systému uložení archivního materiálu je komplikace vyplývající ze samotné technologie balení. Při jakékoliv potřebě práce s archivním materiálem, musí být obal archiválie porušen a potom opětovně zataven a revakuován. To samozřejmě zvyšuje požadavky na čas obsluhujícího personálu včetně finančních nákladů. Tento problém se týká zejména badatelské činnosti, ale také např. kontroly stavu archiválií. Dalším problémem je dosud nedostatečně prozkoumané mikroklima uzavřených archiválií v obalech. Jeden z předpokladů také je, že zabalením kyselých archiválií hrozí urychlení kyselé hydrolyzy materiálů. Tato skutečnost ale nebyla dosud potvrzena.

Závěr

Článek souhrnně prezentuje dostupné informace ohledně možnosti využití vakuového balení jako alternativní možnosti uložení archivních fondů. Pro konečné rozhodnutí, zda je tato technologie vhodná a využitelná jako nový způsob uložení archivního materiálu je nutné zvážit poměr výhod a nevýhod tohoto systému. Zmíněné nevýhody vakuového balení jako alternativního systému uložení je nutné nejprve důkladně prozkoumat a až na základě získaných výsledků vyhodnotit. Z potřeby revakuace obalu při práci s archivním materiálem lze tento systém uložení doporučit pouze na nepříliš využívané archivní fondy, spíše jako systém dlouhodobého uložení bez nutnosti častého otevírání obalů.

Na základě dobré zkušenosti s technologií vakuového balení z povodní v Praze v roce 2002 se Národní knihovna rozhodla prozkoumat možnosti a perspektivy vakuového balení jako jednoho ze způsobů bezpečného uložení knihovních fondů v rámci výzkumného záměru zabývajícího se výzkumem a vývojem preventivních opatření vedoucích k ochraně knihovních fondů.

Literatura

- Kolektiv autorů: Návrh grantu NK č. 0002322103, National Library, 27. 2. 2004.
- Web "Conservation by Design Limited": Oxygen Free Storage & Display, 20.9.2005, URL: <http://www.conservation-by-design.co.uk>
- Ing. Jiří Neuvirt - osobní sdělení, firma CHEMTECH.

Příloha č. II. Zpráva o proměření teplotní závislosti permeabilit kyslíku u dodaných fólií.

1. Úvod

Na základě objednávky Národní knihovny České republiky a osobního jednání s Ing. Jiřím Neuvirtem, CSc. byly změřeny teplotní závislosti permeabilit kyslíku u dodaných fólií. Měření byla prováděna v rámci výzkumného záměru G33. Cíl projektu byl výzkum fólií s nízkou propustností pro kyslík vhodných k uchovávání a ochraně archiválií.

2. Měření permeability O₂

2.1. Měření vzorky fólií

Teplotní závislost permeability kyslíku byla měřena na čtyřech typech fólií, které se lišily svým chemickým složením i strukturou.

Vzorek 1

LDPE – polyetylén s nízkou hustotou – jednovrstvá fólie tloušťky 94 μm

Vzorek 2

NK EVOH – dvojevrstvá fólie tloušťky 146 μm . První vrstva je tvořena polyetylenem (PE), který působí jako ochrana před vlhkostí a umožňuje svařování. Druhou vrstvu tvoří kopolymer polyetylenvinylkohol (EVOH, EVAL), který má vynikající barierové vlastnosti vůči kyslíku.

Vzorek 3

BRANOPACK III – třívrstvá fólie tloušťky 110 μm . Vnější vrstvu tvoří polyethyléntereftalát (PET), který je barierovým polymerem pro kyslík, střední vrstvou je hliníková (Al) fólie, která je pro plyny nepropustná a vnitřní vrstvou je polyetylén (PE).

Vzorek 4

ESCAL – keramická vícevrstvá transparentní fólie s barierovým efektem pro kyslík a vodní páru. Je tvořena vrstvou polypropylénu (PP), vrstvou SiO₂ na polyvinylalkoholu (PVA) a vrstvou polyetylénu (PE). Tloušťka fólie - 120 μm .

2.2. Použité zařízení

Transportní vlastnosti fólií byly měřeny na laboratorní vysokovakuové permeační aparatuře se statickou permeační celou. Studovaná fólie oddělovala nástřikový a produktový prostor aparatury. Po dosažení vysokého vakua v celé aparatuře byl do nástřikové části přiveden měřený plyn pod konstantním tlakem p_i , který byl vyšší než atmosferický. Permeabilita plynu byla zjišťována z nárůstu tlaku Δp_p plynu prošlého fólií do kalibrovaného objemu V_p v produktové části aparatury za časový interval Δt . Permeabilita plynu byla vypočítána podle následujícího vzorce

$$P = \frac{\Delta p_p}{\Delta t} \cdot \frac{V_p l}{S p_i} \cdot \frac{1}{RT} \quad (1)$$

kde l je tloušťka fólie, S je plocha fólie, T je teplota a R plynová konstanta.

Měření byla prováděna při teplotách 30, 40 a 50°C pro každou fólii. Transportní vlastnosti fólií byly studovány pro kyslík. Čistota plynu byla 99,95 %.

2.3. Výpočty

Z naměřených dat byla vypočítána permeabilita P [mol/(m.s.Pa)] podle rovnice (1) a z ní propustnost fólií pro kyslík L [cm³/(den.m²)] vztažená na parciální tlak kyslíku ve vzduchu. Dále byl změřen time lag Θ [s] a z něho vypočítán difusní koeficient D podle vzorce

$$D = \frac{l^2}{6\Theta} \quad (2)$$

kde l je tloušťka fólie v metrech.

Rozpustnost kyslíku S [mol/m³.Pa] ve fólii byla vypočítána podle následující rovnice

$$S = \frac{P}{D} \quad (3)$$

Z ln závislosti koeficientu permeability (P), difusního koeficientu (D), rozpustnosti (S) a propustnosti (L) na $1/T$ byly vypočítány hodnoty jejich aktivačních energií a preexponenciálních faktorů podle následujících rovnic:

$$P = P_0 \times \exp(-E_{AP}/RT) \quad (4)$$

$$D = D_0 \times \exp(-E_{AD}/RT) \quad (5)$$

$$S = S_0 \times \exp(-E_{AS}/RT) \quad (6)$$

$$L = L_0 \times \exp(-E_{AL}/RT) \quad (7)$$

kde P_0 , D_0 , S_0 a L_0 jsou preexponenciální faktory; E_{AP} , E_{AD} , E_{AS} a E_{AL} jsou aktivační energie; R je plynová konstanta (8,314 J/ [deg . mol]) a T je teplota v K.

2.4. Výsledky

Naměřené a vypočítané hodnoty transportních vlastností fólií pro kyslík v závislosti na teplotě v rozmezí 30 – 50°C jsou uvedeny v tabulkách 1 - 3. U fólie ESCAL nebylo možné při teplotě 30°C získat hodnoty difusního koeficientu a rozpustnosti, protože hodnoty transportních veličin se pohybovaly na hranici měřitelnosti. Zároveň byla u fólie ESCAL zjištěna nejstrmější závislost permeability kyslíku na teplotě viz. obr. 1.

Fólie BRANOPAC byla pro plyny prakticky nepropustná a lze konstatovat, že její permeabilita pro kyslík při 50°C je nižší než $1 \cdot 10^{-20}$ [mol/(m².s.Pa)] a tedy propustnost je menší než 0,0037 ml/(m². den).

Fólie NK EVOH má při nižších hodnotách teploty (do 50°C) vyšší hodnoty permeability ve srovnání s fólií ESCAL. Při vyšších teplotách však vzhledem k strmé závislosti permeability na teplotě u fólie ESCAL může dojít k vyrovnání permeabilit u obou fólií nebo dokonce fólie ESCAL bude dosahovat vyšších hodnot permeabilit než fólie NK EVOH. Dále je nutné upozornit, že u fólie NK EVOH dochází při vyšších teplotách k uvolňování OH skupin, což bylo dokázáno měřením diferenciálních IČ spekter fólie tepelně zatížené při 50°C po dobu 24 hodin a fólie tepelně nezatížené. Tyto uvolněné OH skupiny mohou chemicky ovlivňovat materiál chráněný touto fólií.

Nejvyšší hodnoty permeability pro kyslík byly naměřeny u PE fólie. U fólií obsahujících PE bylo dokázáno měřením diferenciálních IČ spekter, že dochází při dlouhodobém zatížení při vyšších teplotách k částečné krystalizaci PE a tedy k mírné změně jeho transportních vlastností.

V tabulce 4 jsou uvedeny vypočítané hodnoty preexponenciálních faktorů a aktivačních energií pro jednotlivé fólie. Dosazením těchto hodnot do rovnic (4) až (7) je možné vypočítat hodnoty jednotlivých veličin při požadované teplotě. Je nutné podotknout, že tyto hodnoty jsou spolehlivé v intervalu teplot 30 – 50°C a mimo toto rozmezí vyhovují pro teplotní interval omezený teplotou skelného přechodu jednotlivých polymerů. Při překročení této teploty směrem nahoru respektive dolů se zcela mění transportní vlastnosti polymeru a tedy i hodnoty preexponenciálního faktoru a aktivační energie. Pro upřesnění jsou hodnoty skelného přechodu T_g a teploty tání T_m všech použitých polymerů uvedeny v tabulce 5 [1]. Polymery PE a PP jsou při běžných pokojových podmínkách nad svou teplotou T_g a tedy v tzv. kaučukovitém stavu. Ostatní polymery jsou při těchto podmínkách pod hodnotou T_g , tedy v tzv. skelném stavu. Vzhledem k hodnotám T_g a T_m jednotlivých polymerů lze doporučit provádění pokusů s obalovými fóliemi PE, BRANOPAC a ESCAL od teploty 0°C do maximálně 70°C a u fólie NK EVOH pouze do 50°C a to z těch důvodů, že není znám přesný obsah polyethylenu ve fólii.

Pro usnadnění práce jsou na konci této zprávy přiloženy tabulky, kde jsou vypočítány všechny transportní vlastnosti jednotlivých fólií v rozmezí 0 až 70°C, členěno po 5°C. Pro fólii ESCAL jsou uvedeny pouze hodnoty permeability a propustnosti.

Tabulka 1 Teplotní závislost transportních vlastností pro kyslík u fólie PE

Transportní vlastnost	Teplota [°C]		
	30	40	50
Permeabilita [mol/(m.s.Pa)]	$3,30 \cdot 10^{-17}$	$6,86 \cdot 10^{-17}$	$1,29 \cdot 10^{-16}$
Propustnost [ml/(den.m ²)]	14,26	29,70	55,00
Difusní koeficient [m ² /s]	$9,40 \cdot 10^{-12}$	$1,66 \cdot 10^{-11}$	$2,45 \cdot 10^{-11}$
Rozpustnost [mol/(m ³ .Pa)]	$3,51 \cdot 10^{-6}$	$4,14 \cdot 10^{-6}$	$5,27 \cdot 10^{-7}$

Tabulka 2 Teplotní závislost transportních vlastností pro kyslík u fólie NK EVOH

Transportní vlastnost	Teplota [°C]		
	30	40	50
Permeabilita [mol/(m.s.Pa)]	$2,56 \cdot 10^{-18}$	$4,92 \cdot 10^{-18}$	$8,29 \cdot 10^{-18}$
Propustnost [ml/(den.m ²)]	0,71	1,37	2,31
Difusní koeficient [m ² /s]	$1,44 \cdot 10^{-12}$	$4,10 \cdot 10^{-12}$	$2,28 \cdot 10^{-11}$
Rozpustnost [mol/(m ³ .Pa)]	$1,79 \cdot 10^{-6}$	$1,20 \cdot 10^{-6}$	$3,64 \cdot 10^{-7}$

Tabulka 3 Teplotní závislost transportních vlastností pro kyslík u fólie ESCAL

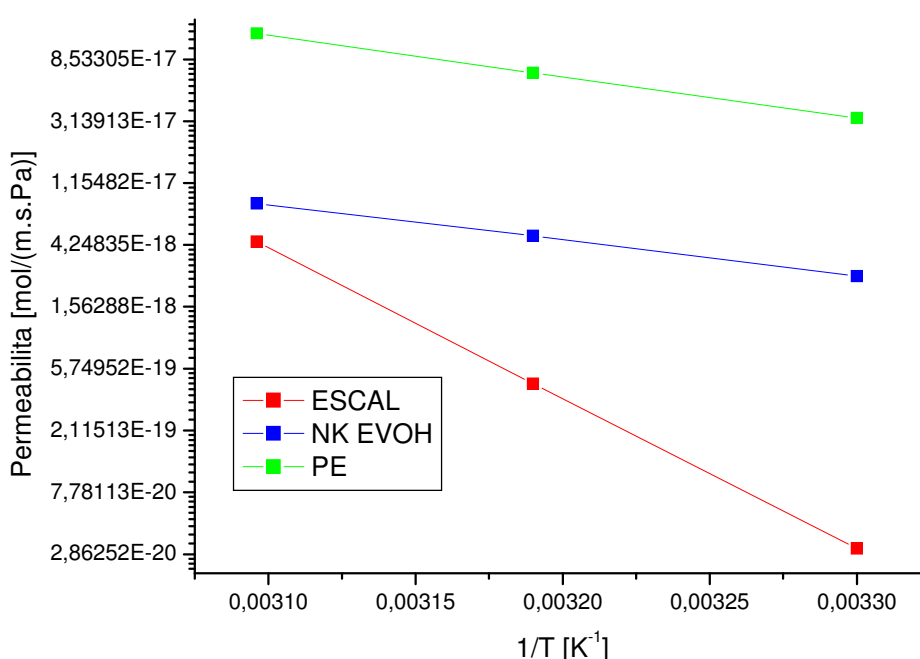
Transportní vlastnost	Teplota [°C]		
	30	40	50
Permeabilita [mol/(m.s.Pa)]	$3,14 \cdot 10^{-20}$	$4,52 \cdot 10^{-19}$	$4,48 \cdot 10^{-18}$
Propustnost [ml/(den.m ²)]	0,01	0,15	1,52
Difusní koeficient [m ² /s]	neměřitelné	$3,89 \cdot 10^{-13}$	$5,91 \cdot 10^{-11}$
Rozpustnost [mol/(m ³ .Pa)]	neměřitelné	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$7,58 \cdot 10^{-8}$

Tabulka 4 Hodnoty preexponenciálních faktorů a aktivačních energií fólie PE, NK EVOH a ESCAL

Vzorek Veličina	PE	NK EVOH	ESCAL
P_0 [mol/(m.s.Pa)]	$1,31 \cdot 10^{-7}$	$4,55 \cdot 10^{-10}$	$2,21 \cdot 10^{15}$
E_P [kJ/mol]	55,69	47,84	202,16
D_0 [m ² /s]	$5,49 \cdot 10^{-5}$	$2,23 \cdot 10^7$	
E_D [kJ/mol]	39,22	111,67	
S_0 [mol/(m ³ .Pa)]	$2,37 \cdot 10^{-3}$	$2,03 \cdot 10^{-17}$	
E_S [kJ/mol]	16,46	-63,85	
L_0 [ml/(den.m ²)]	$4,37 \cdot 10^{10}$	$1,29 \cdot 10^{13}$	$1,93 \cdot 10^{33}$
E_L [kJ/mol]	55,03	47,88	204,68

Tabulka 5 Teplota skelného přechodu a teplota tání jednotlivých polymerů

Polymer	T_g [°C]	T_m [°C]	Poznámka
Polyetylén (PE)	-36	108 - 120	Záleží na typu PE
Polypropylén (PP)	-3	187	
Polyvinylalkohol (PVA)	85	265	
Polyetylénterteftalát (PET)	69	280	
Polyetylénvinylalkohol (EVOH, EVAL)	27% PE	72	Záleží na obsahu polyethylenu
	48% PE	48	



Obr.1 Závislost permeability kyslíku na teplotě pro fólie ESCAL, NK EVOH a PE

3. Závěry

- Pořadí od nejméně propustné fólie po nejvíce propustnou v rozmezí teplot 30 až 50°C je následující: BRANOPAC III < ESCAL < NK EVOH < PE.
- Nejméně propustnou fólií pro kyslík je BRANOPAC III, kde barierovou vrstvou je hliníková fólie. Zároveň je BRANOPAC III, díky Al fólii, neprůhledný.
- Z průhledných fólií byla nejnižší propustnost pro kyslík naměřena u třívrstvé fólie ESCAL, kde barierová vrstva je tvořena keramikou vázanou na PVA.
- U fólie ESCAL byla naměřena nejstrmější závislost permeability na teplotě.
- Nejvyšší permeabilita kyslíku byla naměřena u PE fólie, která zároveň při dlouhodobé teplotní zátěži mění svou krystalinitu.

- Fólie NK EVOH uvolňuje při vyšších hodnotách teploty OH⁻ skupiny, které mohou chemicky ovlivňovat materiál chráněný touto fólií.
- Použití všech fólií je omezeno teplotou skelného přechodu a teplotou měknutí jejich teplotně nejcitlivější složky.

Literatura

[1] Brandrup, J., Polymer Handbook, 1999

Poznámka: Hodnoty transportních veličin v následujících tabulkách jsou spolehlivé v rozmezí teplot 30 – 50°C. Mimo tento interval se jedná o extrapolace.

Teplotní závislost transportních veličin pro fólii PE

Teplota [°C]	Permeabilita [mol/(m.s.Pa)]	Difusní koeficient [m ² /s]	Propustnost [ml/(den.m ²)]	Rozpustnost [mol/(m ³ .Pa)]
0	2,90E-18	1,72E-12	1,29	1,68E-06
5	4,50E-18	2,35E-12	2,00	1,92E-06
10	6,89E-18	3,17E-12	3,05	2,17E-06
15	1,04E-17	4,23E-12	4,57	2,45E-06
20	1,55E-17	5,60E-12	6,76	2,76E-06
25	2,27E-17	7,33E-12	9,88	3,09E-06
30	3,29E-17	9,52E-12	14,26	3,45E-06
35	4,70E-17	1,23E-11	20,32	3,84E-06
40	6,66E-17	1,57E-11	28,65	4,25E-06
45	9,32E-17	1,98E-11	39,95	4,69E-06
50	1,29E-16	2,50E-11	55,13	5,17E-06
55	1,77E-16	3,12E-11	75,35	5,68E-06
60	2,41E-16	3,87E-11	102,01	6,21E-06
65	3,24E-16	4,77E-11	136,88	6,79E-06
70	4,33E-16	5,85E-11	182,09	7,39E-06

Teplotní závislost transportních veličin pro fólii NK EVOH

Teplota [°C]	Permeabilita [mol/(m.s.Pa)]	Difusní koeficient [m ² /s]	Propustnost [ml/(den.m ²)]	Rozpustnost [mol/(m ³ .Pa)]
0	3,19E-19	9,57E-15	0,09	3,34E-05
5	4,66E-19	2,32E-14	0,13	2,01E-05
10	6,72E-19	5,44E-14	0,19	1,24E-05
15	9,57E-19	1,24E-13	0,27	7,72E-06
20	1,35E-18	2,75E-13	0,37	4,90E-06
25	1,87E-18	5,94E-13	0,52	3,15E-06
30	2,57E-18	1,25E-12	0,72	2,06E-06
35	3,50E-18	2,56E-12	0,98	1,37E-06
40	4,72E-18	5,15E-12	1,31	9,17E-07
45	6,30E-18	1,01E-11	1,76	6,24E-07
50	8,34E-18	1,94E-11	2,32	4,29E-07
55	1,09E-17	3,66E-11	3,05	2,99E-07
60	1,42E-17	6,78E-11	3,97	2,10E-07
65	1,84E-17	1,23E-10	5,13	1,49E-07
70	2,36E-17	2,20E-10	6,57	1,07E-07

Rozsah použití této tabulky závisí na obsahu PE v EVOH. V oblasti teplot nad 50°C se EVOH již může nacházet nad jeho hodnotou T_g.

Teplotní závislost transportních veličin pro fólii ESCAL

Teplota [°C]	Permeabilita [mol/(m.s.Pa)]	Propustnost [ml/(den.m ²)]
0	4,60E-24	0,0000
5	2,28E-23	0,0000
10	1,07E-22	0,0000
15	4,76E-22	0,0001
20	2,01E-21	0,0006
25	8,09E-21	0,0026
30	3,11E-20	0,010
35	1,14E-19	0,037
40	4,04E-19	0,13
45	1,37E-18	0,46
50	4,47E-18	1,53
55	1,41E-17	4,88
60	4,29E-17	15,07
65	1,26E-16	44,99
70	3,61E-16	130,08

Vzhledem k velice nízkým hodnotám permeability kyslíku, která se pohybovala při 30°C na hranici měřitelnosti, nebylo možné odečíst time lag a tedy spočítat hodnoty difusního koeficientu a rozpustnosti.

Dodatek:

Některé současné poznatky (Ing. Neuvirt)

Firmy produkující bariérové folie:

- Barmag AG (Germany) - Layer Combinations, Applications And Line Concepts For Blown Barrier Films
- Leybold AG (Germany) - Food Pkg Films Utilising non-metallic, glass-like barriers
- Cobelplast S.A. (Belgium) - *High Barrier Coextruded Sheets: a Need Today, a Must Tomorrow*
- BXL Plastics Limited (U.K.) - *New Developments in High Barrier Coextruded EVOH Packaging Films*
- Sterling Europe (Belgium) - *Coextruded Barrier Film - A Comparison of Cast and Blown Systems*
- BOC Coating Technology (U.K.) - *Plasma Deposited SiO_x Clear Barrier Films - Properties + Appl.*
- EVAL Europe – Kuraray Group (Belgium) - *New Generation EVAL® Grades a také: Results and Applications of New Orientable EVAL? (EVOH) Barrier Resins*
- Nippon Gohsei Europe GmbH (Germany) - *Development of EVOH for Barrier Film and Sheet Application*
- Kureha Chemical Industry Co. Ltd. (Japan) - *Besela™ - Abuse Resistant, Transparent, Ultra High Gas Barrier Coated PET, PA, OPP Films for Lamination Applications*
- Mitsubishi Chemical Corp. (Japan) - *Gas Barrier bi-axially oriented Polyamide Film, SUPERNYL*
- General Vacuum Equipment - *QLF-A Convertible High Barrier Transparent Coating for Packaging Films*
- Mitsubishi Polyester Film GmbH (Germany) - *New PET Film for Ultra High Barrier after Coating with Vacuum Deposited Layers*
- Cryovac Europe (Switzerland) - *Recent Development in Thin Barrier Polyolefin films*
- Kuraray Europe GmbH (Germany) - *EVOH Resins and Films Applications*

Firmy v České republice

- ochotné jednat o maloobjemových dodávkách bariérové folie a poskytly vzorky fólií

- INVOS s.r.o. Svárov 83, 687 13 Březolupy
- BRANOPAC CZ s.r.o. Vnorovy

Odstranění zbytkového kyslíku

V posledních letech zejména v oblasti balení potravin dochází k intenzivnímu vývoji materiálů pohlcujících zbytkový kyslík v ochranné atmosféře balených produktů. Tyto materiály uzavřené v prodyšných pytlíčcích lze přidávat do obalů k baleným předmětům. Tím lze dlouhodobě zajistit eliminaci kyslíku, který do obalu vnikne difúzí skrz materiál obalu. Forma aplikace pohlcovačů kyslíku v poslední době se stala natolik sofistikovanou, že jsou vkomponovány přímo do materiálu obalové folie a jejich činnost se aktivuje až při zabalení. Také jsou aplikovány ve formě samolepicí etikety, která se aplikuje na vhodné místo dovnitř obalu. (Cryovac - Packaging Digest 2004 (09), 60).

Anglická firma Conservation by Design inzeruje folie a způsoby balení do bezkyslíkového prostředí (<http://www.conservation-by-design.co.uk/oxyfree/oxyfree2.html>). Pod názvem AGELESS dodává pytlíčky s pohlcovačem kyslíku a korozivních plynů, v případě potřeby i vlhkosti, které se vkládají do obalu. Tyto jsou schopny udržet obsah kyslíku v zataveném obalu pod hodnotou 0,01 % (100 ppm) prakticky po neomezenou dobu (dáno permeabilitou použité fólie).