

KINETIKA DEGRADÁCIE CELULÓZY PRI URÝCHLENOM STARNUTÍ PAPIERA: VYHODNOTENIE MODIFIKÁCIE SUSPENZIOU MgO V PERFLUÓRALKÁNOCH

KINETICS OF CELLULOSE DEGRADATION AT ACCELERATED AGEING: EVALUATION OF TREATMENT BY MgO IN PERFLUORALKANES

Michal Jablonský – František Kačík – Jana Kazíková –

Iveta Čabalová – Jozef Sivák

ABSTRACT

Degradation profiles of aged cellulose can be studied through the chemistry of cellulose. The factors that degrade these cellulosic substrates during accelerated ageing can be resulting from oxidation, hydrolysis and physical stress that can cause disruptions in macrofibrillar structure to impact on mechanical stress and strain.

In this paper we evaluate the kinetic dependences of changes in degree of polymerisation (DP), number of scission of cellulose chain during accelerated ageing. A study of the accelerated ageing of newsprint paper was performed at 98 °C during 0, 1, 3, 5, 10, 20 and 30 days; and model books was treated by MgO in perfluoralkanes. The positive effect of MgO reagents was confirmed by accelerated ageing.

Keywords: ageing, cellulose, degree of polymerization, deacidification.

ÚVOD

Papier je historicky najdôležitejším nosičom informácií. Papier sa stáva kyslým účinkom rôznych vnútorných aj vonkajších vplyvov. Vlastnosti a životnosť dokumentov ovplyvňujú najmä tieto faktory: mechanické poškodzovanie pri sprístupňovaní kultúrneho dedičstva, teplo, svetlo, oxidácia/kyslík, biotické a chemické faktory. Medzi vnútorné faktory, ktoré vo výraznej miere prispievajú k degradácii patrí pH, kyslá alebo alkalická hydrolyza, depolymerizácia, prítomnosť prechodných kovov, karbonylov a karboxylov. Medzi hlavné príčiny kyslosti papiera patrí: prítomnosť síranu hlinitého $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (BARANSKI 2005, BASTA 2006), zvyškové chemikálie z procesu výroby buničiny a ich následného bielenia, oxidácia lignínu na kyslé produkty, migrácia kyslosti z uskladneného materiálu (CARTER 2000), vzdušné polutanty ako SO_2 a NO_x , ktoré sa rozpúšťajú vo vode kapilárneho systému papiera a ktoré tvoria silné minerálne kyseliny (GURNAGUL 1994), oxidácia a fotooxidácia vzniknutých karboxylové kyseliny (MALEŠIČ 2002), železodubienkové atramenty (KOLAR 2001, CALVINI 2002).

Degradáciou papiera dochádza k poklesu polymerizačného stupňa (DUPONT 2002, POTTHAST 2008), ktorý priamo vplyva na všetky mechanické vlastnosti. Odolnosť proti prehýbaniu je prvou mechanickou vlastnosťou, ktorá je vo výraznej miere ovplyvnená degradáciou celulózového reťazca. Predĺženie pri pretrhnutí a práca vykonaná pri pretrhnutí ťahom (TEA) spolu s pevnosťou v dotrhnutí sú menej citlivé na degradáciu ako odolnosť proti prehýbaniu, ale citlivejšie ako tržná dĺžka (BANSÁ 1999, ZERVOS 2010).

Zmena polymerizačného stupňa celulózy sa stala významným parametrom na sledovanie rýchlosti degradácie papiera a jednoduchá korelácia medzi počtom rozštiepených väzieb v celulózovom reťazci umožňuje hlbšie pochopenie kinetiku degradácie (KAČÍK 2008).

V literatúre je veľké množstvo jednotlivých degradačných modelov, hypotéz a teórií (EKENSTAM 1936, NEVELL 1985, EMSLEY 1994, 1997, 2000, HILL 1995, ZOU 1996a, 1996b, BARANSKI 2005, BERGGREN 2003, CALVINI 2005) o kinetike degradácie celulózy.

Existujú rôzne matematické modely popisujúce degradáciu celulózového reťazca. Prvý model kinetiky štiepenia navrhol EKENSTAM (1936). HILL *a kol.* (1995) odvodil podobný model, pričom bral do úvahy príspevok nultého poriadku. V ďalších prácach sa autori pokúšali navrhnuť ďalšie modely a tvary regresných funkcií v závislosti od zvolených podmienok degradácie papiera (celulózy) (ZOU 1996a, 1996b, EMSLEY 2000, BARANSKI 2004, CALVINI 2007, DING 2007, 2008). Príspevok sa zaoberá vplyvom deacidifikácie modelových kníh suspenziou MgO v perfluórheptáne oproti kontrolnej nemodifikovanej vzorke. Analyzovaným parametrom je zmena polymerizačného stupňa celulózy, pričom na vyhodnotenie týchto zmien sa použili rôzne modely/rovnice, ktoré popisujú priebeh poklesu polymerizačného stupňa celulózy.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pre experimentálne práce bol použitý novinový papier, vyrobený v Jihočeských papírnách Větrní a.s.. Novinový papier bol drevitý, strojne hladený, neglejený, s plošnou hmotnosťou $45 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, so zložením: 55 % mechanickej bielennej drevoviny, 20 % bielennej sulfátovej buničiny, 15 % zachytených odpadových vlákien, 10 % kaolínu, pH výluhu 4,5–5.

Na deacidifikáciu sa použili modelové knihy papiera vo formáte A5 s 320 hárkami papiera, ktoré boli vákuovo predušené pri teplote $55 \text{ }^\circ\text{C}$ počas 4 hodín. Nasledovala deacidifikácia suspenziou MgO v perfluórheptáne (Bookkeeper, Preservation Technologies, L.P., Cranberry Township, PA, USA). Na zabezpečenie homogénnej distribúcie deacidifikačného činidla sa použila recirkulácia deacidifikačnej látky, ktorá bola nanášaná pomocou listovacej trysky. Po deacidifikácii sa modelové knihy vákuovo vysušili pri teplote $55 \text{ }^\circ\text{C}$ počas 4 hodín.

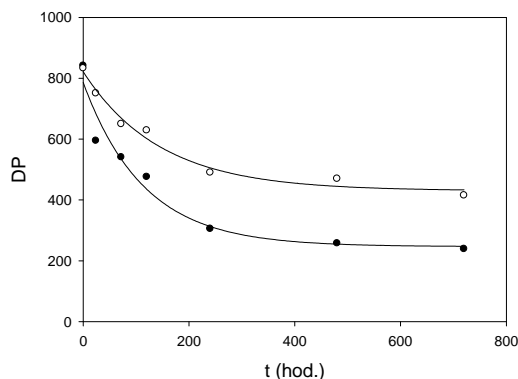
Urýchlené starnutie bolo vykonané podľa normy ASTM D6819-02, ktorá bola modifikovaná tak, že starnutie bolo uskutočnené pri teplote $98 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, pričom vzorky boli starnuté vo vrstvenej fólii s hliníkovou vrstvou Tenofan Al/116S, pričom vzorky formátu A4 boli zabalené do tejto fólie 3-krát. Čas urýchleného starnutia bol 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10, 15, 20 a 30 dní.

Polymerizačný stupeň bol stanovený pomocou gélovej permeačnej chromatografie trikarbanilátov celulózy (KAČÍK 2007a).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

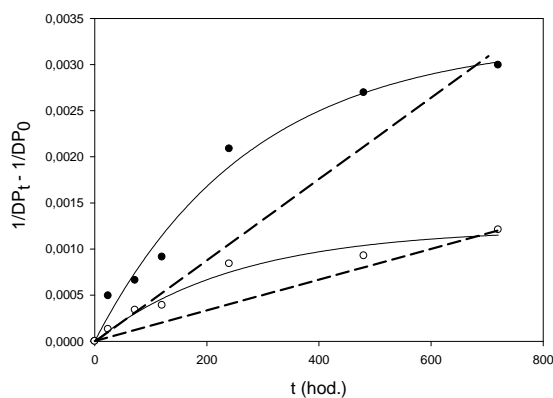
Počas procesu starnutia dochádza k poklesu polymerizačného stupňa (DP) (KAČÍK 2007b, 2009). Aby sa zabránilo výraznému poklesu DP je potrebné stabilizovať celulózu, pričom jednou z možností stabilizácie je proces deacidifikácie (BUCHANAN 1994, BANIK 2006, HANUS 2008). Na obr. 1 je zobrazená zmena polymerizačného stupňa počas urýchleného starnutia pri $98 \text{ }^\circ\text{C}$. Počas procesu starnutia došlo k výraznému poklesu polymerizačného stupňa už v čase starnutia 24 hodín, pričom pokles DP bol až 29,3 % oproti pôvodnej kontrolnej vzorke. Po 720 hodín (30 dní) sa dosiahlo zníženie DP o 71,6 % (DP = 239). Ako vidno na obr. 1, vplyvom deacidifikácie suspenziou MgO došlo k poklesu degradačných reakcií na reťazci celulózy, čo odzrkadľuje priebeh poklesu polymerizačného stupňa celulózy. Po deacidifikácii disperziou MgO sa dosiahlo zníženie poklesu DP a v čase starnutia 720 dní bol DP = 415. Pokles oproti deacidifikovanej vzorke v čase 0 predstavuje 50,2 %. Zmiernenie poklesu polymerizačného stupňa indikuje, že deacidifikácia pomocou mikročastíc MgO má pozitívny vplyv na zabránenie degradačných reakcií na reťazci celulózy. Zmiernenie poklesu polymerizačného stupňa celulózy je spôsobené hlavne zmenou priebehu charakteru degradačných reakcií, vzhľadom k tomu, že

došlo k zmene kyslého prostredia u nemodifikovanej vzorky na alkalickú u modifikovanej vzorky.



Obr. 1 Zmena stupňa polymerizácie počas urýchljeného starnutia pri 98°C. ● – kontrolná vzorka, ○ – deacidifikovaná vzorka disperziou MgO.

Fig. 1 Degree of polymerization change during accelerated ageing at 98°C. ● – control sample, ○ – deacidificated sample by disperzion of MgO.



Obr. 2 Závislosť pomeru rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci od času starnutia pri 98 °C. ● – kontrolná vzorka, ○ – deacidifikovaná vzorka disperziou MgO, — kalkulované krivky podľa rovnice 4, ---- kalkulované krivky podľa rovnice 2.

Fig. 2 Dependence of the ratio of broken glucose units to the total glucose units of a cellulose chain in dependence of accelerate ageing at 98 °C. ● – control sample, ○ – deacidificated sample by disperzion of MgO, — fitting curves by equation 4, ---- fitting curves by equation 2.

Na popis kinetiky degradácie celulózy sa väčšinou používa Ekenstanmova rovnica (EKENSTAM 1936, EMSLEY 1994):

$$\ln(1 - 1/DP_0) - \ln(1 - 1/DP_t) = kt \quad (1)$$

V prípade že DP_0 a DP_t nadobudajú vysoké hodnoty je možné túto rovnicu zjednodušiť na tvar (Rov. 2):

$$SFCU = 1/DP_t - 1/DP_0 = kt \quad (2)$$

SFCU – vyjadruje pomer rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci. Pričom pre heterogénny systém je táto rovnica (Rov. 2) upravená a nadobúda tvar:

$$1/DP_t - 1/DP_0 = \alpha kt \quad (3)$$

Rovnica 3 bola v širokom rozsahu použitá pri popise rôznych procesov degradácie ako je kyslá degradácia, svetelná, suché alebo vlhké starnutie a podobne (ZOU 1994, 1996a, TESTA 1994).

EMSLEY (1997) vyslovil teóriu, že reakčná rýchlosť v rovnici 2 by nemala byť konštantná, lebo sa počas procesu starnutia znižuje. Namerané dáta DP sú lepšie popísané podľa rovnice (Rov. 4):

$$1/DP_t - 1/DP_0 = k_{10}/k_2(1 - e^{-k_2 t}) \quad (4)$$

kde k_{10} a k_2 sú rýchlostné konštanty.

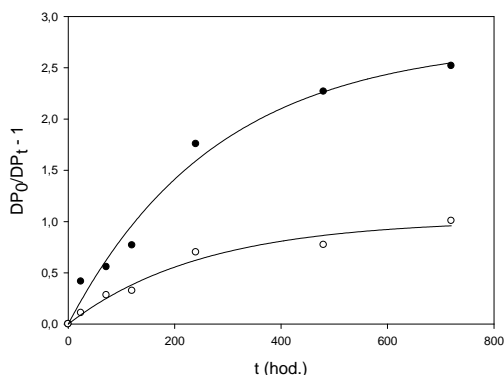
Na obr. 2 je zobrazená závislosť pomeru rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci od času starnutia pri 98 °C.

Pri nemodifikovanej vzorke je počet rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci SFCU = $3 \cdot 10^{-3}$ v čase starnutia 30 dní. Po deacidifikácii došlo k zníženiu tohto pomeru, pre disperziu MgO je SFCU = $1,21 \cdot 10^{-3}$. Na základe týchto výsledkov možno konštatovať, že vplyvom deacidifikácie disperziou MgO v perfluórheptáne sa približne 2,5 krát zníži pomer rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci v čase urýchleného starnutia 30 dní. Odhadované hodnoty parametrov pre jednotlivé krivky sú uvedené v tabuľke 1. Podľa rovnice 2 dosahuje rýchlostná konštanta hodnotu $0,498 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$ pre kontrolnú vzorku a pre deacidifikovanú vzorku nadobúda hodnotu $0,193 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$. Pomer rýchlostných konštánt degradácie kontrolnej vzorky k modifikovanej MgO je rovný 2,6. Pre rovnicu 2 sú hodnoty všetkých regresných koeficientov $R^2 > 0,79$. Použitá rovnica 2 však nie je najvhodnejšia na popis priebehu dregadácie počas urýchleného starnutia pri 98 °C. Priebeh degradácie je vhodnejšie popísať podľa rovnice 4, pričom hodnoty regresných $R^2 > 0,97$. Podľa rovnice 4 nadobúda pomer rýchlostných konštánt ($k_{10 \text{ kontrola}} / k_{10 \text{ MgO}}$) hodnotu 2,5. Pri porovnaní pomeru rýchlostných konštánt degradácie vyjadrených rovnicou 2 a 4 je na porovnanie účinku vplyvu zníženia degradačných reakcií možné použiť obe rovnice. Vyplýva to z toho, že pomer rýchlostných konštánt je približne rovnaký, i napriek tomu, že rovnica 2 nepopisuje najvhodnejšie priebeh zmien polymerizačného stupňa v čase urýchleného starnutia.

Tab. 1 Kalkulované parametre z rovnice 2 a 4 údaje v obr. 2.

Tab 1 Calculated parameters for fitting equations 2 and 4 to the data in Fig. 2.

Vzorka	Rovnica 2		Rovnica 4		
	$k \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$	R^2	$k_{10} \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$	$k_2 \text{ (h}^{-1}\text{)}$	R^2
kontrola	0,498	0,81	1,18	0,0036	0,982
MgO	0,193	0,796	0,48	0,0039	0,974



Obr. 3 Závislosť počtu rozštiepených väzieb celulózy od času starnutia pri 98 °C. ● – kontrolná vzorka, ○ – deacidifikovaná vzorka disperziou MgO.

Fig. 3 Dependence of number of cleaved bonds in dependence of accelerate ageing at 98 °C. ● – control sample, ○ – deacidificated sample by disperzion of MgO.

Pri sledovaní degradačných zmien sa používajú a hľadajú rôzne parametre na vyjadrenie priebehu štiepenia glykozidických väzieb, lepšie povedané na vyjadrenie zmien, ktoré nastávajú na reťazci. V praxi sa stretávame najčastejšie s termínom počet rozštiepených väzieb (CALVINI 2006, DING 2008).

$$CSN = DP_0 / DP_t - 1 \quad (5)$$

kde DP_0 a DP_t je stupeň polymerizácie pôvodnej vzorky a hodnota polymerizačného stupňa po starnutí.

Podľa CALVINIHO (2006) je potrebné v heterogénnom prostredí použiť rovnicu:

$$CSN = n_0(1 - e^{-k \cdot t}) \quad (6)$$

kde CSN je počet rozštiepených glykozidických väzieb a n_0 je počet väzieb prístupných pre degradáciu.

Na obr. 3 je zobrazená závislosť počtu rozštiepenia väzieb celulózy od urýchleného času starnutia pri 98 °C pre kontrolnú a deacidifikovanú modelovú vzorku. Na základe experimentálnych údajov sa vyjadrili koeficienty regresnej rovnice $CSN = n_0(1 - e^{-k \cdot t})$. Pre kontrolnú nemodifikovanú vzorku nadobúda rýchlostná konštanta hodnotu $k = 0,0036 \text{ h}^{-1}$, a počet prístupných väzieb pre degradáciu je $n_0 = 2,75$. Po deacidifikácii disperziou MgO došlo k miernemu zníženiu rýchlostnej konštanty degradácie $k = 0,0039 \text{ h}^{-1}$ a k zníženiu počtu väzieb, ktoré sú prístupné pre degradačný proces $n_0 = 1,02$. Účinkom deacidifikácie sa dosahuje zníženie počtu väzieb, ktoré sú prístupné degradačnému procesu. Oproti nemodifikovanej kontrolnej vzorke sa po aplikácii MgO dosahuje 2,7 krát zníženie počtu väzieb prístupných pre degradáciu. Výsledky jednoznačne hovoria o tom, že deacidifikáciou došlo k zmierneniu degradačného procesu a znížil sa počet väzieb, ktoré sú prístupné pre degradačný proces.

ZÁVER

Pri urýchlenom starnutí dochádza k degradácii celulózy a deacidifikáciou suspenziou MgO sa dosahuje zníženie degradácie. Na sledovanie degradačných zmien sa použili rôzne modely/rovnice, ktoré popisujú priebeh degradačných reakcií. Na základe pomeru rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci možno konštatovať, že vplyvom deacidifikácie disperziou MgO v perfluórheptáne sa približne 2,5 krát zníži pomer rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci v čase urýchleného starnutia 30 dní. Účinkom deacidifikácie sa dosahuje zníženie počtu väzieb, ktoré sú prístupné degradačnému procesu. Oproti nemodifikovanej kontrolnej vzorke sa po aplikácii MgO dosahuje 2,7 krát zníženie počtu väzieb prístupných pre degradáciu. Pokles pomeru rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci počas urýchleného starnutia pri 98 °C lepšie popisuje rovnica $CSFU = 1/DP_t - 1/DP_0 = k_1/k_2(1 - e^{-k_2 t})$ ako rovnica $1/DP_t - 1/DP_0 = kt$.

LITERATÚRA

- BANIK, G., DOERING, T., HÄHNER, U. 2006. Current efforts to establish an effective quality management for mass deacidification. In *Save Paper!: Mass Deacidification: Today's Experiences – Tomorrow's Perspectives*. Bern: Swiss National Library, 2006, s. 94–109.
- BANSA, H., ISHI, R. 1999. What fibre for paper strengthening? *Restaurator*, 1999, 20(3–4): 198–224.
- BARANSKI, A., LAGAN, J.M., LOJEWSKI, T., SAWOSZCZUK, T. 2004. Experimental verification of Zou, useka and gurnagul formalism, based on kinetic data obtained for various kinds of paper. In *Durability of paper and writing*. Ljubljana: National and University Library, 2004, s. 76.
- BARANSKI, A., LAGAN, J.M., LOJEWSKI, T. 2005. Acid-catalysed degradation In: ed. STRLIČ, M., KOLAR, J. *Ageing and stabilization of paper*. Ljubljana: National and University Library, 2005. 211 s. ISBN 961-6551-03-5.

- BASTA, A. H., EL-SAIED, H., MOHAMED, S.H., EL-SHERBINY, S. 2006. The role of neutral rosin-alum size in the production of permanent paper. *Restaurator*, 2006, 27(2): 67–80.
- BERGGREN, R., MOLIN, U., BERTHOLD, F., LENNHOLM, H., LINDSTRÖM, M. 2003. Alkaline degradation of birch and spruce: influence of degradation conditions on molecular mass distributions and fibre strength. *Carbohydrate Polymers*, 2003, 51(3): 255–264.
- BUCHANAN, S., BENNET, W., DOMACH, M. 1994. An evaluation of the Bookkeeper mass deacidification process. Pittsburgh, USA: Library of Congress, 1994.
- CALVINI, P. 2002. The degrading action of iron and copper on paper. A FTIR – Deconvolution analysis. *Restaurator*, 2002, 23(4): 205–221.
- CALVINI, P. 2005. The influence of levelling-off degree of polymerisation on the kinetics of cellulose degradation. *Cellulose*, 2005, 12(4): 445–447.
- CALVINI, P., GORASSINI, A. 2006. On the rate of paper degradation: lessons from the past. *Restaurator*, 2006, 27(4): 245–290.
- CALVINI, P., GORASSINI, A., METLAMI, A.L. 2007. Autocatalytic degradation of Cellulose Paper in Sealed Vessels. *Restaurator*, 2007, 28(1): 47–54.
- CARTER, H., BÉGIN, P., GRATAN, D. 2000. Migration of volatile compounds through stacked sheets of paper during accelerated aging. Part 1: Acid Migration at 90 °C. *Restaurator*, 2000, 21(2): 77–84.
- DING, H.Z., WANG, Z.D. 2007. Time–temperature superposition method for predicting the permanence of paper by extrapolating accelerated ageing data to ambient conditions. *Cellulose*, 2007, 14(3): 171–181.
- DING, H.Z., WANG, Z.D. 2008. On the degradation evolution equations of cellulose. *Cellulose*, 2008, 15(2): 205–224.
- DUPONT, A.L. 2002. Study of the degradation of gelatin in paper upon aging using aqueous size-exclusion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 2002, 950(1–2): 113–124.
- ĐUROVIČ, M. 2000. Zaverčná správa grantového úkolu „Hromadné odkyslovaní papírových archiválií“. Praha, 2000.
- EKENSTAM, A. 1936. Behaviour of cellulose in solutions of mineral acids. Part II: A kinetic study of cellulose degradation in acid solutions. *Berichte der Deutschen Chemischen Gessellschaft*, 1936, 69: 553–559.
- EMSLEY, A. M., STEVENS, G. C. 1994. Kinetics and mechanisms of the low-temperature degradation of cellulose. *Cellulose*, 1994, 1(1): 26–56.
- EMSLEY, A.M., HEYWOOD, R.J., ALI, C.M.M., ELEY, C.M. 1997. On the kinetics of degradation of cellulose. *Cellulose*, 1997, 4(1): 1–5.
- EMSLEY, A.M., ALI, M., HEYWOOD, R.J. 2000. A size exclusion chromatography study of cellulose degradation. *Polymer*, 2000, 41: 8513–8521.
- GURNAGUL, N., ZOU, X. 1994. The effect of atmospheric pollutants on paper permanence. *Tappi*, 1994, 77: 199–204.
- HANUS, J., BAKOŠ, D., VRŠKA, M., JABLONSKÝ, M., KATUŠČÁK, S., HOLÚBKOVÁ, S., BAJZÍKOVÁ, M., BUKOVSKÝ, V., RYCHLÝ, J. 2008. The Kniha Project in Slovakia. In *Durability of Paper and Writing*, 2nd Int. Symp. and Workshops. Ljubljana, Slovenia: National and University Library of Ljubljana, Faculty of Chemistry and Chemical Technology, 2008, p. 17–19.
- HILL, D.J., LE, T.T., DARVENIZA, M., SAHA, T. 1995. A study of degradation of cellulosic insulation materials in a power transformer. Part 1. Molecular weight study of cellulose insulation paper. *Polymer Degradation and Stability*, 1995, 48: 79–87.
- KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, D. 2007a. Charakteristika a analýza celulózy a jej derivátov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. 93 s. ISBN 978-80-1819-3.
- KAČÍK, F., KUČEROVÁ, V., VÝBOHOVÁ, E., KIRSCHNEROVÁ, S. 2007b. Hodnotenie starnutia papiera metódou gélovej permeačnej chromatografie. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2007, XLIX(1): 27–34.
- KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, D., VACEK, V. 2008. Kinetics of cellulose degradation at accelerated paper ageing. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2008, L(1): 83–90.
- KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, D., JABLONSKÝ, M., KATUŠČÁK, S. 2009. Cellulose Degradation in the Process of Newsprint Paper Ageing. *Polymer Degradation and Stability*, 2009, 94(9): 1509–1514.
- KOLAR, J., STRLIČ, M. 2001. Stabilisation of Ink Corrosion, Postprints of the Iron Gall Ink Meeting, The University of Northumbria, Newcastle, UK, 135–140.
- MALEŠIČ, J., KOLAR, J., STRLIČ, M. 2002. Effect of pH and Carbonyls on the Degradation of Alkaline Paper. *Restaurator*, 2002, 23: 145–153.
- NEVELL, T.P. 1985. Degradation of cellulose by acids, alkalis, and mechanical means. ed. T. P. Nevell and S. H. Zeronian, *Cellulose chemistry and its applications*. West Sussex: Ellis Horwood Limited, 1985, s. 223–242. ISBN 0-85312-463-9.

- POTTHAST, A., HENNIGES, U., BANIK, G. 2008. Iron gall ink-induced corrosion of cellulose: aging, degradation and stabilization. Part 1: model paper studies. *Cellulose*, 2008, 15(6): 849–859.
- TESTA, G., SARDELLA, A., ROSSI, E., BOZZI, C., SEVES, A. 1994. The kinetics of cellulose fiber degradation and correlation with some tensile properties. *Acta Polymer*, 1994, 45: 47–49.
- ZERVOS, S. 2010. Natural and accelerated ageing of cellulose and paper: A literature review. In: ed. Lejeune, A., Deprez, T., *Cellulose: Structure and Properties, Derivatives and Industrial Uses*. New York : Nova Publishing, 2010. 528 s. ISBN: 1608763889.
- ZOU, X., GURNAGUL, N., UESAKA, T., BOUCHARD, J. 1994. Accelerated ageing of papers of pure cellulose: mechanism of cellulose degradation and paper embrittlement. *Polym Deg Stab*, 1994, 43: 393–402.
- ZOU, X., UESAKA, T., GURNAGUL, N. 1996a. Prediction of paper permanence by accelerated aging. 1. Kinetic analysis of the aging process. *Cellulose*, 1996, 3(4): 243–267.
- ZOU, X., UESAKA, T., GURNAGUL, N. 1996b. Prediction of paper permanence by accelerated aging. 2. Comparison of the predictions with natural aging results. *Cellulose*, 1996, 3(4): 269–279.

Pod'akovanie

Práca vznikla v rámci riešenia projektu ConsBook: Posúdenie účinku konzervovania reálnych objektov kultúrneho dedičstva pomocou chromatografických metód, projektu VEGA č. 1/0800/08: Štúdium vlastností farebných a záznamových vrstiev objektov kultúrneho dedičstva a projektu VEGA č. 1/0490/09.

Adresa autorov

Ing. Michal Jablonský, PhD.

Ing. Jana Kazíková

Slovenská technická univerzita v Bratislave

Fakulta chemickej a potravinárskej technológie

Oddelenie chemickej technológie, dreva, celulózy a papiera

Radlinského 9

812 37 Bratislava

Slovensko

michal.jablonsky@stuba.sk

Prof. RNDr. František Kačík, PhD.

Ing. Iveta Čabalová, PhD.

Ing. Jozef Sivák

Technická univerzita vo Zvolene

Drevárska fakulta

Katedra chémie a chemických technológií

T.G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovensko

kacik@vsld.tuzvo.sk

