

VPLYV TEPLoty SUŠENIA, RECYKLÁCIE A STARNUTIA NA BELOSŤ PAPIERA

INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE, RECYCLING PROCESS AND ACCELERATED AGEING ON PAPER BRIGHTNESS

Iveta Čabalová

ABSTRAKT

Ageing could be in fact defined as a sum of all irreversible physical, chemical and mechanical processes which happen in the material during time. Deterioration in quality of an aged paper can manifest itself in chemical permanence and the decrease in mechanical durability.

The goal of this article was to examine the effect of drying temperature, recycling and ageing process on paper brightness. The article contains a statistical evaluation of this problem.

Following result determination of 8- multiple recycling of bleached kraft pulp, made of the mixture of soft woods, was shown that the influence of recycling number on brightness was evident and this effect was markedly proved in pulp drying at higher temperature –120 °C. Paper sheets dried at this temperature achieved to the lowest brightness. Statistically significant was the fifth recycling, which is characterized by a decrease in mechanical properties, too. During accelerated ageing brightness values decreased by about 20 %. Ageing is reflected in the little as possible on sheets that were dried at temperature 100 ° C. Using of high-temperatures drying during the initial paper production causes increased degradation of paper which is also related to changes in lignin and thus the brightness of paper.

Key words: ageing process, brightness, drying temperature, paper recycling, pulp fibres.

ÚVOD

Cieľom spracovania recyklovaného papiera je vyrábať produkt, ktorý vyhovuje špecifickým požiadavkám zákazníkov. Jedným z ukazovateľov kvality papiera je aj jeho belosť. Farbivá a optické zjasňovacie prostriedky, spojivá pre natieranie, glejivá a živice zvyšujúce pevnosti za sucha sú typickými prísadami, ktoré zlepšujú kvalitu papiera (DIETMAR, WERNER 2002). Farbivá sú zlúčeniny, ktoré majú schopnosť zlučovať sa s lignocelulózovými vláknami, resp. mechanicky sa zachytávať a sfarbovať ich. Pri malých množstvách farbiva nastáva tónovanie papiera, pri väčších dochádza k intenzívnemu zafarbeniu (BUČKO 2001).

Optické vlastnosti papiera sa prejavujú odrazom, pohlcovaním a prepúšťaním svetelných lúčov jeho povrchom (PAULER 2002, IBRAHIM 2003). Zvyčajne sa všetky tieto javy uplatňujú súčasne a vyvolávajú v ľudskom oku zrakové vnemy. Vnímame farbu, belosť, lesk, nepriehľadnosť, prípadne priehľadnosť, stálosť na svetle. Belosť patrí medzi základné optické charakteristiky buničínových hárkov. Pre vláknité látky je definovaná hraničným činiteľom odrazivosti povrchu meranej vzorky vyjadreného v % hraničného činiteľa odrazivosti základného normálu belosti (oxidu horečnatého MgO) pri efektívnej vlnovej dĺžke $\lambda = 457 \pm 5$ nm za určených podmienok. Belosť sa udáva v % MgO.

Veľký vplyv na mechanické a optické vlastnosti papiera vyrábaného zo sekundárnych vlákien má sušenie, ktoré má anizotropný charakter. Počas sušenia sa tvoria šmykové napätia v interfibrilárnych väzobných oblastiach. Sušenie má zrejme najväčší vplyv na nevratnú zmenu nadmolekulárnej štruktúry a morfológiu vláknitých útvarov. Je spojené so vznikom medzivránkových väzieb a dotvorením štruktúry papiera. Prí vysoká teplota sušenia spôsobuje depolymerizáciu, rohovatenie a znehodnotenie papiera (OKSANEN *et al.* 1997, KATO, CAMERON 1999, HYOUNG 2000, SOMWANG *et al.* 2002, GEFFERT *et al.* 2004, 2008, KAČÍK *et al.* 2009, JABLONSKÝ *et al.* 2011b).

Ďalší z faktorov, ktorý vplýva na belosť papiera je starnutie. Starnutie papiera a celulózy, predovšetkým jeho mechanizmus sa skúma už viac ako sto rokov. Cieľom je vyvinúť metódy na spomalenie alebo úplné zastavenie procesu starnutia. Sledujú sa makroskopické vlastnosti papiera, (belosť, zmena farby a strata mechanických vlastností a ich korelácia so štruktúrnymi charakteristikami materiálov v papieri) a tiež mikroskopické (zmena priemerného polymerizačného stupňa (PPS) celulózy, zvýšenie podielu nízkomolekulových frakcií) (BANSÁ 2002, HAVERMANS 2003, REHÁKOVÁ *et al.* 2003, CALVINI, GARASSINI 2006, KAČÍK *et al.* 2008, KUČEROVÁ, HALAJOVÁ 2009, ČABALOVÁ *et al.* 2011a, b). JABLONSKÝ *et al.* (2011a) sledovali degradačné zmeny celulózy vplyvom urýchleného starnutia papiera. Na sledovanie degradačných zmien použili rôzne rovnice, ktoré popisujú priebeh degradačných reakcií. Na základe pomeru rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci v závere konštatovali, že vplyvom deacidifikácie disperziou MgO v perflórheptáne sa približne 2,5 krát znížil pomer rozštiepených väzieb k celkovému počtu jednotiek v celulóзовom reťazci v čase urýchleného starnutia 30 dní.

Starnutie je vážny problém pre archívne a knižničné spoločenstvá všade vo svete. Najdôležitejšie chemické reakcie, ktoré nastávajú počas starnutia papiera je kyslo katalyzovaná hydrolýza celulózy v papierových vláknach a oxidácia celulózy kyslíkom (JABLONSKÝ *et al.* 2008). Prírodným starnutím papiera dochádza ku vzniku uhl'ovodíkových fragmentov z celulózy a hemicelulóz. Druh a množstvo degradačných produktov závisí od podmienok starnutia a dĺžky expozície. Glukóza a xylóza, produkty hydrolytickej degradácie celulózy a xylánu, sú hlavné degradačné produkty starnutia papiera pri teplote 90 °C a relatívnej vlhkosti 100 %. Zvýšenie teploty (150 °C) má za následok zvýšenie počtu druhov degradačných produktov počas starnutia papiera (ERHARDT *et al.* 1987, FELLER 1987, ERHARDT 1988).

Papier určený na dlhodobé uchovávanie by mal byť stály a trvanlivý. Poškodenie papiera pri starnutí je proces, kedy dochádza k značnej zmene mechanických, optických, chemických a fyzikálnych vlastností. Starnutie papiera z hľadiska trvanlivosti a stálosti je veľmi pomalé (VIZÁROVÁ *et al.* 2003).

Cieľom tejto práce bolo sledovať vplyv teploty sušenia, recyklácie a starnutia na zmeny optickej vlastnosti- belosti papiera.

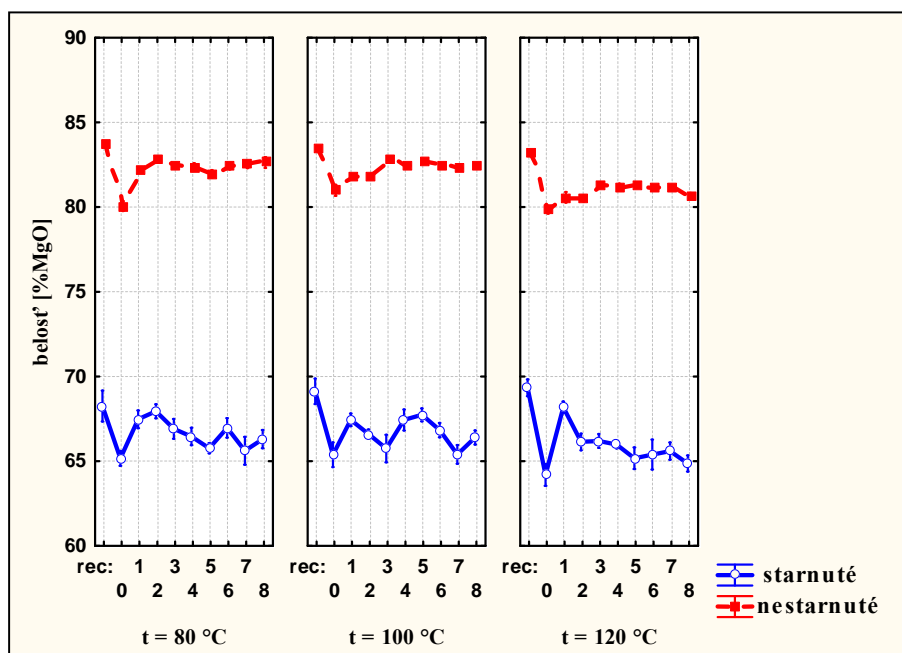
MATERIÁL A METODIKA

Podmienky experimentu z pohľadu úpravy vlákien simulovali proces výroby papiera, pričom sa začalo od pôvodných vlákien, ktoré boli 8 – krát recyklované. Pôvodná bielená buničina bola zhotovená zo zmesi ihličnáčov a odvarená sulfátovým postupom. Celý proces spracovania vlákien predstavoval rozvláknenie (STN EN 5263), mletie (STN ISO 5264-2), stanovenie stupňa mletia (STN ISO 5267-1) a sušenie pri troch teplotách 80, 100 a 120 °C. Vysušená buničina sa znovu recyklovala. Buničiny sa domieľali na cca 30 °SR.

Na základe stanovených výsledkov sa u pôvodnej buničiny, u vlákien po prvom mletí, po každej recyklácii, pri všetkých troch teplotách sušenia, pred a po starnutí hodnotila belosť papiera (STN ISO 3688 (50 0240)). Test urýchleného starnutia bol vykonaný podľa normy: ISO 5630-4 (50 0375), časť4: Pôsobenie tepla za sucha pri teplote 120 °C (čas sušenia 24 hodín).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Belosť, ktorá je vyjadrením schopnosti látky difúzne odrážať dopadajúci svetelný tok za stanovených podmienok, sa v procese recyklácie vyhodnocovala v každom stupni recyklácie. Priemerné hodnoty stanovené pri sušení skúšobných hárkov pri sledovaných teplotách 80, 100 a 120 °C pred a po starnutí sú zaznamenané na obrázku 1. Z grafu, zostrojeného metódou 95 % intervalov spoľahlivosti pre stredné hodnoty, vyplýva jednoznačne negatívny vplyv zvýšenej teploty sušenia, recyklácie aj starnutia na belosť buničín. Pri teplote sušenia 120 °C pred aj po starnutí boli stanovené takmer v celej oblasti 8-násobnej recyklácie najnižšie belosti. Po prvom spracovaní vlákien (0. recyklácia) bol zaznamenaný pokles belosti pri všetkých teplotách sušenia, čo súvisí so zmenou povrchu vlákien v dôsledku ich fibrilácie a krátenia, nakoľko na každom rozhraní tuhá látka – vzduch dochádza k odrazu a lomu svetelných lúčov (PAULER 2002).



Obr. 1 Belosť recyklovaného papiera (teplota sušenia 80, 100 a 120 °C) pred a po starnutí.

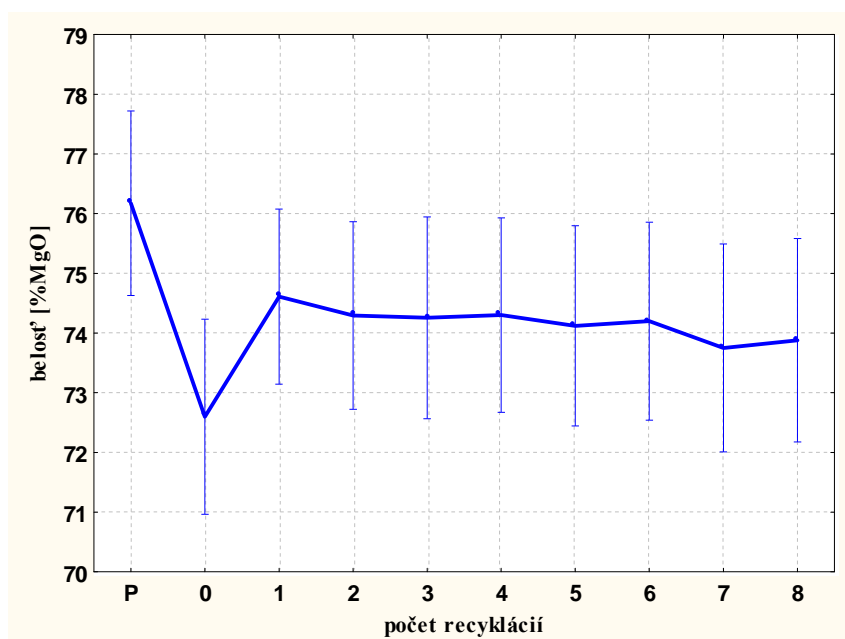
Fig. 1 Brightness of recycled paper (drying temperature 80, 100 and 120 °C) before and after ageing process.

Nasledujúca tabuľka poukazuje na 100 % vplyv všetkých troch sledovaných faktorov na belosť hárkov papiera, pretože pravdepodobnosť „p“ toho, že faktor nepôsobí je vo všetkých prípadoch nulová.

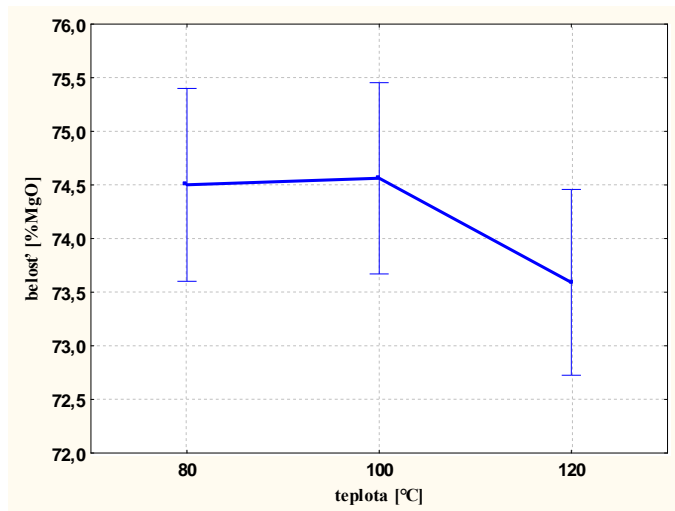
Tab. 1 Tabuľka trojfaktorovej analýzy rozptylu
Tab. 1 Table of three-factor analysis of variance

Effect (vplyv)	SS (súčet štvorcov)	Degr. of freedom (stupne voľnosti)	MS (rozptyl)	F (F-Test)	P
intercept (celkový priemer)	4957636	1	4957636	8724515	0,000
recyklácia	627	9	69,65	123	0,000
teplota	177	2	88,72	156	0,000
starnutie	53159	1	53158,68	93549	0,000
recyklácia*teplota	118	18	6,55	12	0,000
recyklácia*starnutie	125	9	13,92	24	0,000
teplota*starnutie	18	2	9,15	16	0,000
rec.*tepl.*starnutie	59	18	3,28	6	0,000
error (náhodné činitele)	477	840	0,57		

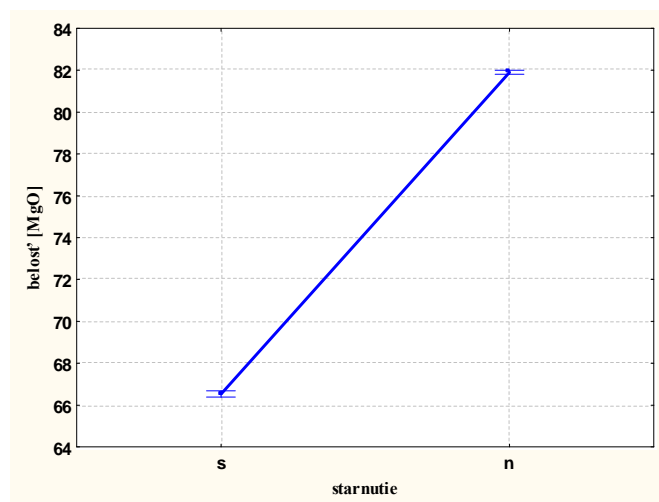
Graf (obr. 3) poukazuje na vhodnosť teploty pre najvyššiu belosť recyklovaných a starnutých hárkov papiera. Najvhodnejšou teplotou pre sušenie hárkov je 100 °C. Vplyv recyklácie na belosť papiera bol zrejмый pri všetkých teplotách sušenia pred aj po starnutí. Z grafu na obr. 2 je vidieť postupné znižovanie hodnôt belostí. Z výsledkov (obr. 4) vyplýva jednoznačný vplyv urýchleného starnutia na belosť recyklovaných hárkov papiera. Pokles hodnôt tejto optickej vlastnosti bol približne 20 %. Najnižšie belosti boli dosiahnuté pri najvyššej teplote sušenia, 120 °C. Obrázok č. 5 (graf zostrojený metódou 95 % intervalov spoľahlivosti pre stredné hodnoty) zobrazuje rozdiely hodnôt belostí pred a po starnutí, pričom najmenšie rozdiely sú namerané pri teplote 120 °C a 1. recyklácii a najvyššie pri tepote 100 °C a 3. recyklácii.



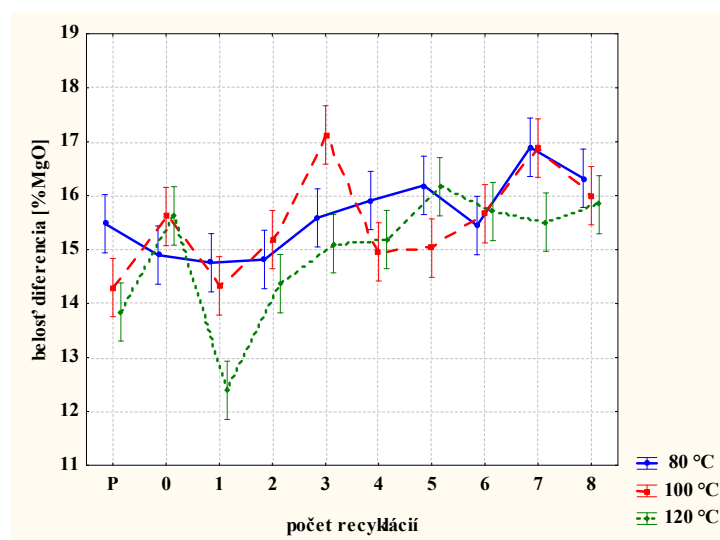
Obr. 2 Faktor teploty.
Fig. 2 Temperature factor.



Obr. 3 Faktor recyklácie.
Fig. 3 Recycling factor.



Obr. 4 Faktor starnutia.
Fig. 4 Ageing factor.



Obr. 5 Diferencia belostí
Fig. 5 Brightness difference

To, že vplyv teploty sušenia a počtu recyklácie na rozdiel hodnôt belostí pred a po starnutí je jednoznačný vyplýva z tabuľky č. 2.

Tab. 2 Tabuľka dvojfaktorovej analýzy rozptylu.

Tab. 2 Table of two-factor analysis of variance.

effect	SS	degr. of freedom	MS	F	p
intercept	106317,4	1	106317,4	93759,07	0,000
recyklácia	250,5	9	27,8	24,54	0,000
teplota	36,6	2	18,3	16,13	0,000
rec*tepl	118,2	18	6,6	5,79	0,000
error	476,3	420	1,1		

Tab. 3 Duncanov test hladín významnosti pre diferenciu belostí.

Tab. 3 Duncan's test significance level for difference of brightness.

rec.	Tepl.	80 °C	100 °C	120 °C
	priem.	15,480	14,297	13,843
p	80 °C		0,010	0,000
p	100 °C	0,010		0,244
p	120 °C	0,000	0,244	
	priem.	14,898	15,613	15,625
0	80 °C		0,132	0,128
0	100 °C	0,132		0,977
0	120 °C	0,128	0,977	
	priem.	14,755	14,326	12,390
1	80 °C		0,301	0,000
1	100 °C	0,301		0,000
1	120 °C	0,000	0,000	
	priem.	14,817	15,186	14,370
2	80 °C		0,418	0,282
2	100 °C	0,418		0,074
2	120 °C	0,282	0,074	
	priem.	15,589	17,127	15,110
3	80 °C		0,000	0,300
3	100 °C	0,000		0,000
3	120 °C	0,300	0,000	
	priem.	15,910	14,958	15,187
4	80 °C		0,045	0,127
4	100 °C	0,045		0,610
4	120 °C	0,127	0,610	
	priem.	16,190	15,027	16,167
5	80 °C		0,013	0,952
5	100 °C	0,013		0,015
5	120 °C	0,952	0,015	
	priem.	15,446	15,664	15,705
6	80 °C		0,640	0,584
6	100 °C	0,640		0,917
6	120 °C	0,584	0,917	
	priem.	16,897	16,883	15,510
7	80 °C		0,973	0,002
7	100 °C	0,973		0,002
7	120 °C	0,002	0,002	
	priem.	16,323	16,000	15,832
8	80 °C		0,457	0,279
8	100 °C	0,457		0,687
8	120 °C	0,279	0,687	

O tom, že vplyv oboch faktorov na rozdiel belostí je významný svedčí aj tabuľka č. 3 (veľký význam = hodnoty menšie ako 0,05). Tretia recyklácia pri teplote sušenia hárkov 100 °C je štatisticky veľmi významná vzhľadom ku teplote 80 °C aj 120 °C. Podobne je to aj u piatej recyklácie, pričom práve táto recyklácia je významná aj z pohľadu zmeny mechanických vlastností. Táto recyklácia bola tiež charakterizovaná ako ukončenie vonkajšej a začiatok vnútornej fibrilácie vlákien (ČABALOVÁ *et al.* 2011a, c). ČABALOVÁ a KAČÍK (2011) uvádzajú pokles mechanických vlastností po piatej recyklácii (konkrétne percentuálny pokles tržnej dĺžky bol v priemere o 5,18 % (teplota 80 °C), o 6,85 % (teplota 100 °C), o 5,68 % (teplota 120 °C) a pokles indexu dotrhnutia v priemere o 35,3 % (teplota 80 °C), o 36,22 % (teplota 100 °C) a o 31,45 % (teplota 120 °C) v porovnaní s pôvodnou tiež starnutou vzorkou) a nárast pevnosti u šesťkrát recyklovaných hárkov po urýchlenom starnutí.

Starnutie spôsobuje zmeny na papieri, čo sa prejavuje zhoršením jeho fyzikálnych a mechanických vlastností (MINÁRIKOVÁ *et al.* 2003, VIZÁROVÁ *et al.* 2003). K prejavom starnutia papiera patrí tiež, okrem zmeny pevnostných vlastností aj zmena farby (prípadane belosti) papiera pôsobením svetla. Tu má podstatný význam vlnová dĺžka. Celulóza a hemicelulózy neabsorbujú elektromagnetické žiarenie vo viditeľnej oblasti. Natívne ligníny izolované šetrným spôsobom s minimálnymi chemickými a fyzikálnymi zmenami sú svetložlté. Drevo však absorbuje žiarenie s vlnovými dĺžkami nad 500 nm v dôsledku prítomnosti fenolických zložiek (flavonoidy, ligníny, taníny, chinóny, a pod.). Absorpcia elektromagnetického žiarenia spôsobuje fotodegradáciu dreva. Najväčší vplyv na tento proces má ultrafialové žiarenie, pričom lignín ho absorbuje 80–95 %, zmeny však nastávajú aj v polysacharidoch (NORRSTROM 1969, HON 1981, PANDEY, VUORINEN 2008, KAČÍK, KUBOVSKÝ 2011).

ZÁVER

Z dosiahnutých výsledkov osemkrát recyklovaných hárkov papiera, sušených pri troch rôznych teplotách a vystavených účinkom urýchleného starnutia vyplýva, že tieto procesy spôsobili nezvratné zmeny v buničinových vláknach, čo sa prejavilo aj zmenou belosti papiera. Tento účinok sa najvýraznejšie prejavil v buničine sušenej pri najvyššej aplikovanej teplote (120 °C), čo vyplýva z nižších hodnôt belostí vo všetkých stupňoch recyklácie. Teplota sušenia hárkov 100 °C sa ukázala ako najvhodnejšia pre recykláciu aj starnutie z pohľadu sledovanej úžitkovej vlastnosti - belosti.

Belosť recyklovaných hárkov po urýchlenom starnutí klesla o cca 20 % pri všetkých sledovaných teplotách sušenia a diferenciacia hodnôt belostí bola štatisticky významná najmä pri teplote 100 °C po 3. a 5. recyklácii.

Vplyv recyklácie bol zrejmý, okrem straty belosti, sprevádzaný aj výraznými zmenami mechanických vlastností.

LITERATÚRA

- BANSA, H. 2002. Accelerated Ageing of Paper: Some Ideas on its Practical Benefit. *Restaurator*. 2002, 23(2): 106–117.
- BUČKO, J. 2001. Chemické spracúvanie dreva v teórii a praxi. 2. vyd. Zvolen : TU vo Zvolene, 2001, s. 427, ISBN 674.02(075.8)
- CALVINI, P., GORASSINI, A. 2006. On the Rate of Paper Degradation: Lessons From the Past. *Restaurator*. 2006, 27: 275–290.

- ČABALOVÁ, I., KAČÍK, F. 2011. Vplyv teploty na mechanické vlastnosti recyklovaného papiera pri urýchlenom starnutí. *Delta*, 2011, 10/V: 7–9, ISSN 1337-0863.
- ČABALOVÁ, I., KAČÍK, F., SIVÁK, J. 2011a. The changes of polymerization degree of softwood fibers by recycling and ageing process. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2011, 53(1): 61–64, ISSN 1336-3824.
- ČABALOVÁ, I., KAČÍK, F., GEFFERT, A., KAČÍKOVÁ, D. 2011b. The effects of recycling and its environmental impact, In: Elżbieta Broniewicz (ed.). In *Environmental management in Practice*. Intech. p. 329- 350. ISBN 978-953-307-686-7.
- ČABALOVÁ, I., KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, D. 2011c. Recycling of paper - changes of mechanical and optical properties. In 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, 20-25 June 2011, Bulgaria, Volume III, p. 867-874, ISSN 1314-2704.
- DIETMAR, M., WERNER, A. 2002. Celosvetový papierenský priemysel – Současnost a budoucnost pomocných chem. přísad. In *Paper and Tissue Industry*. 2002
- ERHARDT, D. 1988. Paper Preservation Symposium. (Smith, R., Norris, T., ed.). Washington, 1988.
- ERHARDT, D., VON ENDT, D., HOPWOOD, W. 1987. The comparison of accelerated aging conditions through the analysis of extracts of artificially aged papers. AIC preprints. In 15th Annual Meeting, American Institute for Conservation. Washington, 1987.
- FELLER, R. 1987. Some factors to be considered in accelerated aging tests. AIC preprints. In 15th Annual Meeting, American Institute for Conservation. Washington, 1987.
- GEFFERTOVÁ, J., GEFFERT, A., ČABALOVÁ, I. 2008. Hardwood sulphate pulp in the recycling process. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, L(1): 73–81, ISSN 1336–3824.
- GEFFERTOVÁ, J., GEFFERT, A., VACEK, V. 2004. Vplyv vybraných faktorov na starnutie buničínových vlákien. In.: *Vybrané procesy pri spracovaní dreva*. Zvolen: Technická Univerzita vo Zvolene. (CD ROM). ISBN 80–228–1329– X.
- HAVERMANS, J. 2003. The impact of European research on paper ageing and preventive conservation strategies. In.: *Protection and treatment of paper, leather and parchment*. [online] EC 5th Conference. Krakow, Poland. 2003. p. 87–91 [cit. 2011.03.4.] Dostupné na internete: http://www.heritage.xtd.pl/pdf/full_havermans.pdf
- HON, D., N., S. 1981. Photochemical degradation of lignocellulosic materials. (N. Grassi (Ed.), *Developments in Polymer Degradation*, Appl Sci Publ., London, 1981.
- HYOUNG, J.K., JUNG, S.O., BYOUNG, M.J. 2000. Hornification Behaviour of Cellulose fibres by Recycling. *Applied Chemistry, Korea*. 4: 363–366.
- IBRAHIM, R. 2003. Structural, mechanical and optical properties of recycled paper blended with oil palm empty fruit bunch pulp. *Journal of Oil Palm Research*. 2003, 15(2): 18–34.
- ISO 5630-4 (50 0375). 1999: Papier a lepenka. Urýchlené starnutie. Časť 4: Pôsobenie tepla za sucha pri teplote 120 °C alebo 150 °C. s. 1–8.
- JABLONSKÝ, M., HROBOŇOVÁ, K., TIŇO, R. 2008. Prediction of the Acetic and Formic Acid Formation in the Paper During the Accelerated Ageing by the Change of Optical Properties. 4th Meeting on Chemistry and Life. Brno, September 9–11, 2008, p. 1079–1082, ISSN 0009-2770.
- JABLONSKÝ, M., KAČÍK, F., KAZÍKOVÁ, J., ČABALOVÁ, I., SIVÁK, J. 2011a. Kinetika degradácie celulózy pri urýchlenom starnutí papiera: vyhodnotenie modifikácie suspenziou MgO v perfluóralkánoch. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2011, 53(2): 63–69, ISSN 1336-3824.
- JABLONSKÝ, M., KATUŠČÁK, S., KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, D. 2011b. Changes in newsprint paper during accelerated ageing. *Cellulose Chem. Technol.*, 45(5–6): 405–411.
- KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, D., JABLONSKÝ, M., KATUŠČÁK, S. 2009. Cellulose degradation in newsprint paper ageing. *Polymer Degradation and Stability*. 2009, 94(9): 1509–1514, ISSN 0141-3910.
- KAČÍK, F., KAČÍKOVÁ, P., VACEK, V. 2008. Kinetika degradácie celulózy pri urýchlenom starnutí papiera. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 2008, 50(1): 83–90.
- KAČÍK, F., KUBOVSKÝ, I. 2011. Chemical changes of beech wood due to CO₂ laser irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2011, 222(1): 105–110.
- KATO, K.L., CAMERON, R.E. 1999. A review of the relationship between thermally-accelerated ageing of paper and hornification. *Cellulose*. 6: 23–40.

- KUČEROVÁ, V., HALAJOVÁ, L. 2009. Evaluation of changes of the recycled pulps by method the gel permeation chromatography. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*. 2009, 51(2): 87–92, ISSN 1336-3824.
- MINÁRIKOVÁ, J., HANUS, J., KASÁKOVÁ, K., HANUSOVÁ, E. 2003. Some remarks to ion migration deacidification method. WPP 2003. WPP Chemical Technology of wood, Pulp and Paper.
- NORRSTROM, H. 1969. Light absorbing properties of pulp and paper components, *Sven. Papperstidn*. 1969. 72: 25–38.
- OKSANEN, T., BUCHERT, J., VIKARI, L. 1997. The role of hemicelluloses in the hornification of bleached kraft pulps. *Holzforschung*. 2007. 51: 355–360, ISSN 0018-3830.
- PANDEY, K., K., VUORINEN, T. 2008. Comparative study of photodegradation of wood by a UV laser and a xenon light source, *Polymer Degradation and Stability*. 2008, 93(12): 2138–2146.
- PAULER, N. 2002. Paper optics. Östervåla, Sweden : Elanders Tofters, 2002. ISBN 91-971 765-6-7.
- REHÁKOVÁ, M., MIKULA, M., ČEPPAN, M., MALEC, B. 2003. Proces starnutia a hodnotenie stability grafických zobrazení. *Chem. Listy*. 2003, 97: 140–145.
- SOMWANG, K., ENOMAE, T., ONABE, F. 2002. Effect of Fiber Hornification in Recycling on Bonding Potential at Interfiber Crossings, *Confocal Laser Scanning Microscopy*. *Japan TAPPI Journal*. 2002. 56(2): 239–245. ISSN 0022-815X.
- STN ISO 3688 (50 0240): 1994: Buničiny. Meranie difúzneho činiteľa odrazu v modrej oblasti spektra (belosť podľa ISO)
- STN EN ISO 5263 (50 0220): 1999, Buničiny. Laboratórne rozvlákňovanie za mokra.
- STN ISO 5264-2 (50 0223): 1996, Buničiny. Laboratórne mletie, 2. časť: Metóda v PFI mlyne
- STN ISO 5267-1 (50 0219): 1993, Buničiny. Určenie odvodňovacej schopnosti podľa Schopper – Rieglera
- VIZÁROVÁ, K., CEDZOVÁ, M., REHÁKOVÁ, M., ŠUTÝ, Š. 2003. Vplyv svetelnej expozície na zmeny vlastností súčasných papierov v priebehu urýchleného starnutia. *Papír a celulóza*. 2003, 58(9): 264–266, ISSN 0031-1421.

Pod'akovanie

Táto štúdia/publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Dobudovanie centra excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120049, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

Adresa autora

Ing. Iveta Čabalová, PhD.
 Technickej univerzity vo Zvolene
 Drevárska fakulta
 Katedra chémie a chemických technológií
 T. G. Masaryka 24
 960 53 Zvolen
 Slovenská republika
 cabalova@vsld.tuzvo.sk

