

SYNERGICKÝ ÚČINOK RECYKLÁCIE A STARNUTIA NA BUNIČINOVÉ VLÁKNA

SYNERGISTIC EFFECT OF THE RECYCLING AND AGEING ON THE PULP FIBERS

Jarmila Geffertová – Anton Geffert

ABSTRACT

Consumption of the recycled pulp fibres increases in the paper production. The fiber facilities are changed in the recycling and ageing process, what influences papers quality consequently.

In this paper was followed the influence of the quadruple recycling and simulated ageing on selected characteristics of the bleached kraft pulps (breaking length, index tearing, brightness, colourity, pH-value of the sheets surface, polymerization degree, alphacellulose).

Influence of the recycling on the stated characteristics was lower than the influence of the accelerated ageing (150 °C, 24 hours). Recycling and ageing had the least effect on the mechanical characteristics and alphacellulose. Influence of the ageing after recycling proved markedly negative. Brightness decreased almost about 12 %, pH-value of the sheets surface about 10.2 % and polymerization degree about 18.6 %.

Keywords: kraft hard pulp, recycling, ageing, breaking length, index tearing, brightness, pH-value, polymerization degree, alphacellulose

ÚVOD

V súčasnosti v rámci organizácie CEPI, v ktorej je združené 19 krajín Európy (od r. 1998 patrí sem aj Slovensko) sa vyrobí ročne okolo 100 miliónov ton papiera a lepenky. Na ich výrobu sa v posledných rokoch spotrebovalo viac recyklovaných vlákien zo zberového papiera ako primárnych buničínových vlákien. Miera recyklácie v r. 2010 dosiahla v rámci CEPI hodnotu 68,9 %. Sekundárne recyklované vlákna sa najčastejšie používajú na výrobu baliacich, novinových, grafických a hygienických papierov.

V procese recyklácie papiera dochádza k celému radu zmien, ktoré ovplyvňujú spracovanie vlákien aj vlastnosti vyrobeného papiera, pričom mnohé z nich sú nevratné.

Pri opakovanom spracovávaní vlákien dochádza k zmenám ich rozmerových charakteristík (GEFFERTO VÁ, RÁZGOVÁ 2008). Znižuje sa dĺžka a šírka vlákien, hrúbka stien, vzniká značné množstvo krátkych vlákien, čo sa prejavuje zhoršeným odvodňovaním na papierenskom stroji (HUBBE, HEITMANN 2007) a zároveň negatívne ovplyvňuje pevnostné vlastnosti vyrobeného papiera (GEFFERTO VÁ *a kol.* 2008, OKAYAMA 2001, KHANTAYANUWONG *a kol.* 2002). Podľa ACKERMANN A *kol.* (2000) vplyv krátenia vlákien na mechanické charakteristiky počas recyklácie nie je rozhodujúci, nakoľko

významne tieto charakteristiky ovplyvňuje prítomnosť alebo strata jemného podielu a navyše vlákno počas opakovanej recyklácie sa stáva krehké a náchylné k rozbitiu počas mletia (DE RUVO, HTUN 1983).

Vplyvom opakovaného sušenia dochádza k rohovateniu vlákien, čo ovplyvňuje afinitu povrchu vlákien k vode a znižuje schopnosť vlákien napučiať (TAKAYUKI 2002). Dochádza k zhutneniu bunečnej steny, k zvýšeniu tuhosti vlákien a k ich zmršťovaniu, čo vedie k zvýšeniu porozity (GEFFERTOVÁ, GEFFERT 2012, ALINCE 2002). Mnohí vedci (STONE, SCALLAN 1968, DE RUVO, HTUN 1983) dospeli k záverom, že strata schopnosti buničínových vlákien opätovne napučiať je spôsobená uzavretím pórov v buničínových stenách a neschopnosťou mnohých pórov znovu sa otvoriť pri opätovnom namočení.

V procese recyklácie bol zaznamenaný aj pokles priemerného polymerizačného stupňa (ČABALOVÁ, GEFFERT 2009) ako dôsledok degradácie polysacharidického reťazca celulózy.

Recyklácia sa negatívne prejavuje aj zmenou belosti buničínových vlákien a ich sfarbovaním - žltnutím. Je to dôsledok oxidačných reakcií celulózy a hemicelulóz pri zvýšenej teplote v prítomnosti vzdušného kyslíka. Reakcie prebiehajú na primárnych a sekundárnych hydroxylových skupinách pyranózového kruhu za vzniku karbonylových a karboxylových skupín, čo následne spôsobuje žltnutie papiera, nakoľko vznikajúce chromofóry majú schopnosť pohlcovať viditeľné žiarenie (MARGUTTI *a kol.* 2001).

Okrem zmien vlastností vlákien vplyvom recyklácie, k zmenám vlastností vlákien dochádza aj vplyvom ich samotného starnutia. Tento vplyv nie je možné kvantifikovať v reálnom čase, nakoľko proces trvá veľmi dlhú dobu (desiatky ba až stovky rokov). Z toho dôvodu sa proces prirodzeného starnutia nahrádza modelovaným urýchleným starnutím za normami definovaných podmienok (teplota, relatívna vlhkosť, prostredie).

FENGEL, WEGENER (1984) uvádzajú základnú termolytickú radikálovú depolymerizáciu pri teplotách okolo 140 °C spojenú s dehydratáciou a hydrolyzou hemicelulóz a amorfného podielu celulózy za vzniku 2-furaldehydu, 5-hydroxymetyl-2-furaldehydu, kyseliny levulovej a mravečej, čo sa prejaví zvýšením kyslosti v procese urýchleného starnutia. Kyslé látky následne prehľbujú degradačné procesy (MORAVOVÁ *a kol.* 1990) a vyvolávajú zvýšené zmeny uvádzaných mechanických, fyzikálnych a optických charakteristík (KAČÍK *a kol.* 2008, KUČEROVÁ, HALAJOVÁ 2009). Znakom degradácie je roztrhnutie glykozidickej väzby a oxidácia -OH skupín v celulózovom reťazci alebo otvorenie β -D-glukopyranózového kruhu a postupné oxidačné reakcie (HROBOŇOVÁ *a kol.* 2009, VIZÁROVÁ *a kol.* 2003).

Cieľom práce bolo zistiť vplyv 4-násobnej recyklácie a modelovaného starnutia na vybrané charakteristiky bielenej sulfátovej bukovej buničiny.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pre sledovanie vplyvu starnutia a recyklácie bola použitá bielená buková buničina pripravená sulfátovým varným procesom.

Pôvodná vzorka buničiny po prvom spracovaní rozvláknením, mletím a sušením predstavovala 0. recykláciu a každé ďalšie opakované spracovanie buničínových vlákien modelovalo jeden stupeň recyklácie. Buničínové vlákna boli podrobené 4-násobnej recyklácii.

V priebehu recyklácie sa buničina spätne vracala do procesu rozvláknenia, domieľania a sušenia, pričom priemerná hodnota stupňa mletia bola 28 °SR z dôvodu

dosiahnutia dostatočných pevností papierových hárkov bez zbytočného oslabovania vlákien.

Pri úprave buničín počas recyklácií sa postupovalo podľa štandardne používaných postupov:

STN EN 638 (50 0207): 2009: Buničiny. Stanovenie sušiny

STN EN ISO 5263-1 (50 0220):2005: Buničiny. Laboratórne rozvlákňovanie za mokra

STN ISO 5264-2 (50 0222): 2004:Buničiny. Laboratórne mletie, 2.časť: Metóda v PFI mlyne

STN ISO 5269-1 (50 0218): 2005: Buničiny. Príprava laboratórných hárkov na fyzikálne skúšky. Časť 1: Konvenčná metóda tvorby hárku.

STN ISO 5267-1 :(50 0219):2001: Buničiny. Určenie odvodňovacej schopnosti. Časť 1: Metóda podľa Schopper-Rieglera.

STN ISO 536 (50 0310): 1999: Papier a lepenka. Určenie plošnej hmotnosti.

Hárky pripravené z pôvodnej zomletej buničiny a hárky po 4. recyklácii boli podrobené urýchlenému starnutiu pri teplote 150 °C po dobu 24 hodín podľa *STN ISO 5630-4 (50 0375):1999 Papier a lepenka. Urýchlené starnutie. Časť 4: Pôsobenie tepla za sucha pri teplote 120 °C alebo 150 °C.*

Vplyv recyklácie a starnutia sa sledoval vyhodnotením zmien vybraných charakteristík:

- mechanické charakteristiky

tržná dĺžka (TD) *STN ISO 1924 (50 0340):1996*

index dotrhnutia (ID) *STN ISO 1974 (50 0348):1997*

- optické charakteristiky

belosť (leukometer) *STN ISO 3688 (50 0240):1994*

farebnosť *spektrofotometer Minolta CM 2600 d*

- fyzikálno-chemické charakteristiky

PPS (LVČ) *ISO 5351/2-1981(E), Melcer a kol. 1976*

alfa-celulóza *STN 50 0260:1984*

pH povrchu hárkov *STN 50 0374: 1996*

V práci sú uvádzané priemerné hodnoty jednotlivých charakteristík získané z 10 meraní (TD, belosť), zo 6 meraní pH povrchu hárkov a z 3 meraní (ID, PPS, obsah alfa-celulózy).

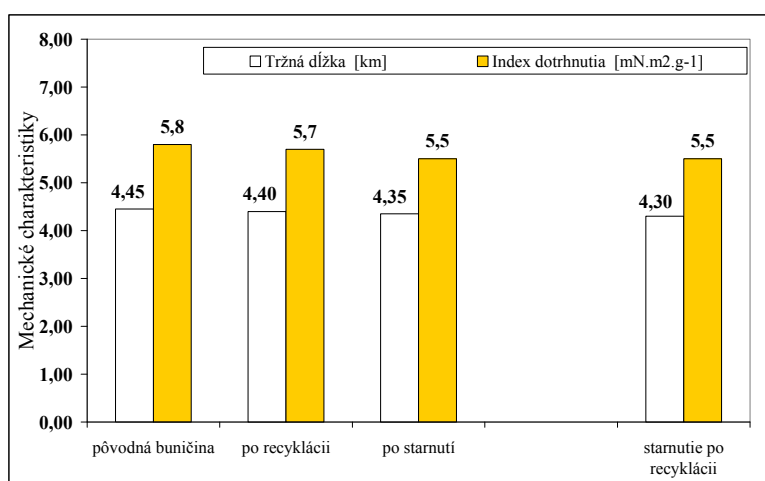
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na obr. 1 sú znázornené zmeny mechanických charakteristík buničinových hárkov - tržnej dĺžky a indexu dotrhnutia, ku ktorým došlo vplyvom starnutia a recyklácie.

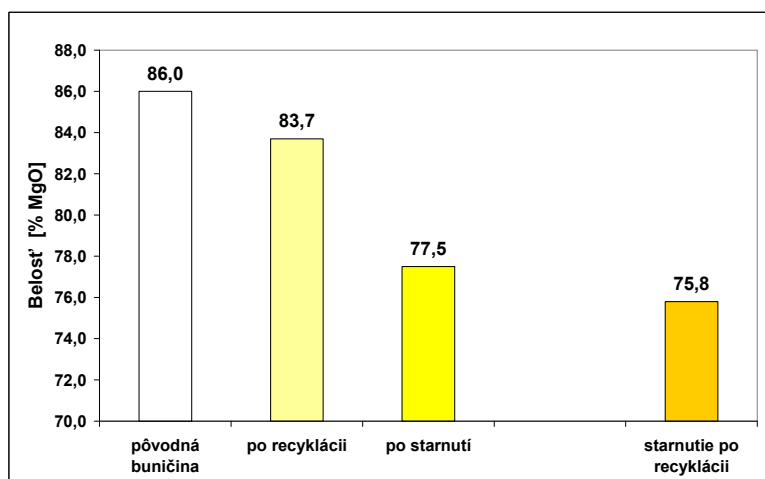
Samotné starnutie aj 4-násobná recyklácia mali veľmi malý vplyv na hodnotu tržnej dĺžky aj indexu dotrhnutia. Modelované starnutie buničinových vlákien spôsobilo zníženie tržnej dĺžky o 0,1 km a recyklácia len o 0,05 km. Vplyv starnutia na tržnú dĺžku hárkov pripravených z buničinových vlákien sa mierne prehĺbil po 4-násobnej recyklácii (zníženie o 0,15 km).

Pri porovnaní oboch vplyvov navzájom mala recyklácia menej negatívny vplyv na hodnoty tržnej dĺžky aj indexu dotrhnutia, ako starnutie.

Na obr. 2 je znázornený vplyv recyklácie a starnutia na hodnoty belosti bielených bukových buničinových vlákien.



Obr. 1 Mechanické charakteristiky buničínových hárkov.
Fig. 1 Mechanical characteristics of the pulp sheets.



Obr. 2 Belosť buničín.
Fig. 2 Brightness of the pulps.

Belosť buničínových hárkov bola negatívne ovplyvnená recykláciou aj starnutím. Vplyv recyklácie bol miernejší a prejavil sa znížením belosti len o 2,3 % MgO, zatiaľ, čo vplyv samotného starnutia mal za následok zníženie belosti až o 8,5 % MgO. Negatívny vplyv starnutia sa prehĺbil pri starnutí buničínových hárkov po 4-násobnej recyklácii. Belosť klesla až o 10,2 % MgO, čo predstavuje takmer 12 % zníženie belosti pôvodnej buničiny.

Zmeny optických charakteristík papiera sú definované Kubelkovou-Munkovou rovnicou, a to synergickým účinkom koeficientu rozptylu svetla (s) a koeficientu svetelnej absorpcie (k). Mletím vlákien dochádza k zvýšeniu mechanických charakteristík, v dôsledku zväčšenia väzobného povrchu sa zníži rozptyl svetla a zároveň v dôsledku modelovaného starnutia narastá podiel farebných chromofórov v povrchových vrstvách a dochádza k zvýšeniu koeficientu svetelnej absorpcie a dôsledkom je zníženie belosti.

Na obr. 3 je diferenčné spektrum znázorňujúce zmenu reflektancie nameranú v rozsahu vlnových dĺžok 360 nm až 740 nm na povrchu buničínových hárkov po

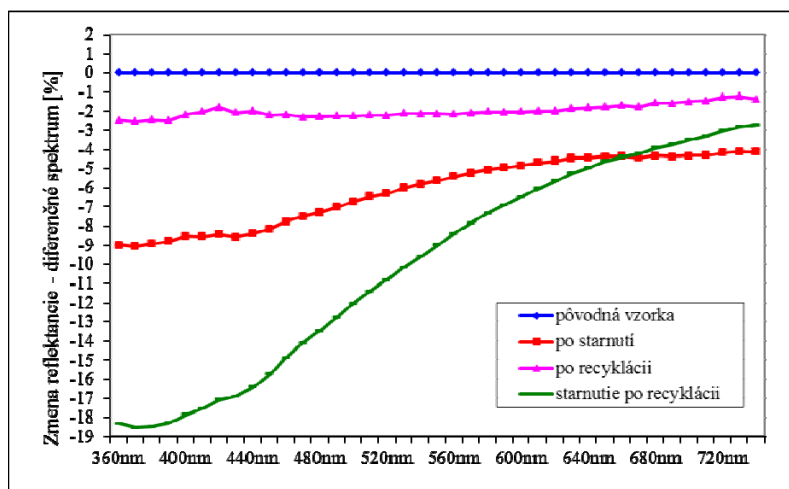
samostatnej 4-násobnej recyklácii, po samostatnom starnutí a po starnutí 4-krát recyklovaných vlákien vzhlľadom na priemernú reflektanciu pôvodnej vzorky.

Možno konštatovať, že vplyvom recyklácie a starnutia došlo oproti pôvodnej vzorke buničiny k vzniku chromofórov absorbujúcich v celom rozsahu meraného spektra.

Najmenší vplyv na zmenu reflektancie mala recyklácia buničínových vlákien a jej priebeh takmer kopíruje priebeh reflektancie pôvodnej vzorky v celej oblasti viditeľného spektra.

Vplyv starnutia sa prejavil výraznejším poklesom reflektancie, pričom najväčšia zmena je v oblasti 360 nm až 450 nm.

Najväčšia zmena reflektancie bola stanovená na buničínových hárkoch vystavených starnutiu po 4-násobnej recyklácii, kde sa prejavil ich synergický účinok. Maximálny rozdiel reflektancie oproti pôvodnej vzorke bol zaznamenaný v oblasti 360 nm až 400 nm.



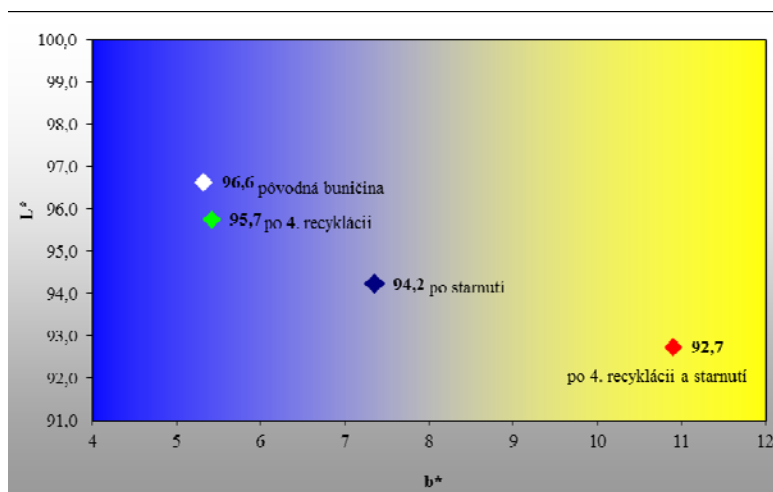
Obr. 3 Diferenčné spektrum buničín.
Fig. 3 Differential spectrum of the pulps.

Absorpčné maximum pri 350–368 nm poskytujú chromofóry zvyškového lignínu v dôsledku $C\alpha - C\beta$ π väzbovo konjugovaného systému s aromatickým jadrom, fenolickými a metoxylovými štruktúrami, čo sa prejaví zvýšenou absorpciou svetla. V sulfátových buničinách sa vyskytujú aj chromofóry chalkónov s absorpčným maximom pri 368 nm a extrémne vysoké absorpčné maximá pri 478 nm poskytujú p, p'-stilbénchinóny nachádzajúce sa v ligníne. Absorpčné spektrá celulóзовých materiálov ovplyvňuje v oblasti pod 420 nm najmä lignín a absorpcia ostatných zložiek je relatívne nízka. Tiež α -karbonyl v konjugácii s aromatickým jadrom je intenzívny chromofór v UV oblasti (358–365 nm) a v prípade rozšírenej konjugácie systému s fenolátovým aniónom v p-polohe aromatického jadra sa absorpčné maximum posúva do oblasti 400 nm. Nenasýtené γ -karbonylové štruktúry so zvyškom lignínovej makromolekuly sú významnými chromofórmi, ktoré spôsobujú absorpciu viditeľného žiarenia v oblasti 340–440 nm (SOLÁR 2009).

Absorpčné maximum termicky oxidovanej celulózy udáva aj BOS (1972) pri vlnovej dĺžke 360 nm.

Na obr. 4 sú znázornené priemerné hodnoty mernej svetlosti (L^*) a polohy vo farebnom priestore CIE v súradniciach L^*b^* pôvodnej bielennej bukovej buničiny a stanovené priemerné hodnoty po samostatnej 4-násobnej recyklácii, po samostatnom starnutí a po starnutí 4-násobne recyklovaných buničínových vlákien.

Na základe uvedených výsledkov možno konštatovať, že recyklácia mala najmenší vplyv na pokles mernej svetlosti ($\Delta L^* = 0,9$) a na posun do žltej oblasti farebného priestoru. Vplyv starnutia v dôsledku vzniku farebných chromofórov sa prejavil poklesom mernej svetlosti o 2,4 ($L^* = 94,2$) a väčším posunom do žltej oblasti. Najväčšia zmena mernej svetlosti buničínových hárkov $\Delta L^* = 3,9$ bola zaznamenaná pri starnutí už recyklovaných vlákien, kedy priemerná merná svetlosť poklesla na $L^* = 92,7$.



Obr. 4. Farba hárkov vo farebnom priestore L^*b^* .
Fig. 4 Colour of the sheets in the colour space L^*b^* .

Celková farebná odchýlka ΔE (Euklidovská vzdialenosť) vzhľadom k pôvodnej vzorke je charakterizovaná polohou vo farebnom priestore CIE LAB a hodnoty jednotlivých súradníc sú uvedené v tab. 1.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^*{}^2 + \Delta a^*{}^2 + \Delta b^*{}^2}$$

Tab. 1 Farba hárkov vo farebnom priestore CIELAB.

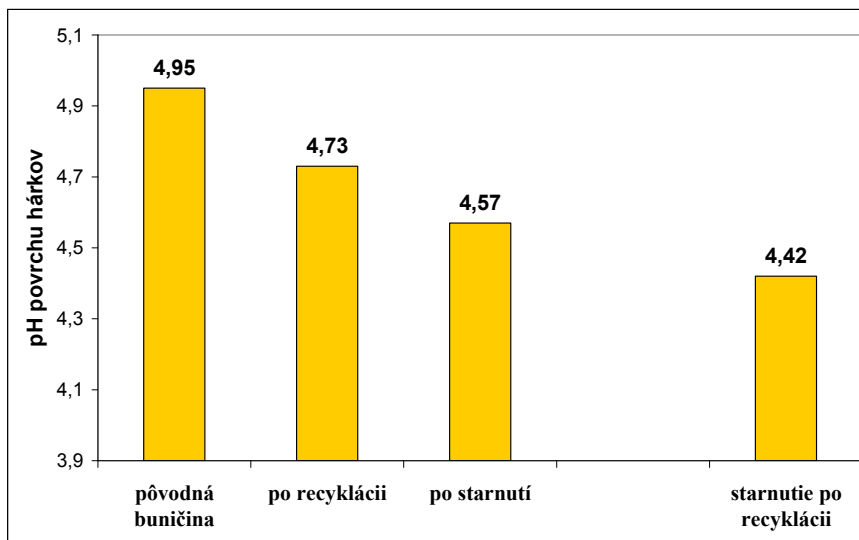
Tab. 1 Colour of the sheets in the colour space CIELAB.

Farebné súradnice	L^*	a^*	b^*	ΔE
Pôvodná buničina	96,63	-0,05	5,32	-
Po 4. recyklácii	95,75	0,08	5,42	0,89
Po starnutí	94,22	0,18	7,36	3,17
Po 4. recyklácii a starnutí	92,73	0,83	10,90	6,78

Zmena farebnosti vplyvom 4-násobnej recyklácie nebola výrazná a voľným okom ani postrehnuteľná. Vplyvom starnutia už farebná zmena ΔE dosiahla hodnotu 3,17 a buničínové hárky nadobudli jemne žlté nádych. Po starnutí po predchádzajúcej 4-násobnej recyklácii farebná zmena bola až 6,78 a buničínové hárky nadobudli tmavšie žlté sfarbenie.

V dôsledku termolytickej radikálovej depolymerizácie (FENGEL a WEGENER 1984) polysacharidov pri zvýšenej teplote, ku ktorým dochádza pri modelovanom starnutí buničínových vlákien, dochádza k vzniku kyslých zložiek (2-furaldehyd, 5-hydroxymetyl-2-furaldehyd, kyselina levulová, mravčia, ...), čo sa prejaví znížením pH povrchu hárkov.

Na obr. 5 sú znázornené priemerné hodnoty pH povrchu hárkov, merané plošnou dotykovou elektródou.



Obr. 5 pH povrchu hárkov.
Fig. 5 pH-value of the sheets surface.

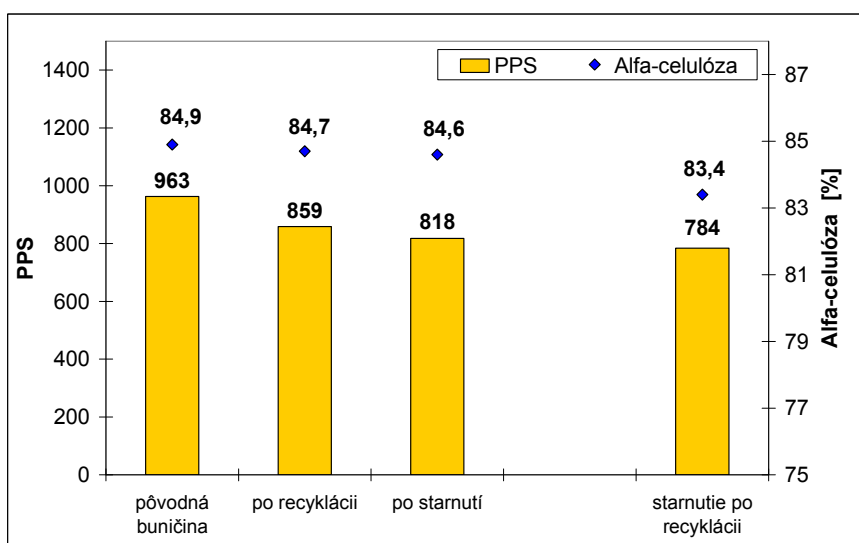
4-násobná recyklácia mala menší vplyv na pokles hodnoty pH (4,4 %) povrchu hárkov, ako modelované starnutie, kde pokles pH predstavoval 7,7 %. Recyklované vlákna boli menej odolné následnému vplyvu starnutia, nakoľko celkový pokles pH povrchu hárkov predstavoval až 10,7 %.

Degradácia polysacharidického reťazca celulózy bola sledovaná aj stanovením alfa-celulózy a priemerného polymerizačného stupňa.

Na obr. 6 sú znázornené hodnoty priemerného polymerizačného stupňa (PPS) a alfa-celulózy, ktoré boli stanovené po recyklácii a starnutí.

Priebeh zmien oboch týchto charakteristík je podobný. 4-násobná recyklácia mala menší vplyv na hodnoty PPS a hodnoty alfa-celulózy, ako samotné modelované starnutie.

Obsah alfa-celulózy, ktorá predstavuje nedegradovanú vysokomolekulárnu celulózu v buničine nerozpustnú v 17,5 % NaOH, sa v dôsledku recyklácie a v dôsledku starnutia zmenil veľmi málo (obr. 6), ale zníženie obsahu alfa-celulózy sa prehĺbilo starnutím po recyklácii ($\Delta = 1,5$ %).



Obr. 6 PPS a alfa-celulóza buničín.
Fig. 6 Polymerization degree and alpha cellulose of the pulps.

Priemerný polymerizačný stupeň sa v dôsledku recyklácie znížil o 104 jednotiek a v dôsledku starnutia o 145. Vyšší pokles PPS bol zaznamenaný po starnutí recyklovaných buničinových vláknach (179) a predstavoval až 18,6 % zmenu. ČABALOVÁ a GEFERT (2009) uvádzajú pre zmesnú listnáčovú bielenú buničinu pokles PPS v dôsledku 8-násobnej recyklácie v rozmedzí 47 až 116 jednotiek v závislosti od teploty sušenia, zatiaľ čo KUČEROVÁ a HALAJOVÁ (2009) stanovili pokles PPS v dôsledku recyklácie o 177 jednotiek a v dôsledku starnutia o 166 jednotiek pri teplote sušenia 80 °C.

ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že vplyv recyklácie na sledované charakteristiky – tržná dĺžka, index dotrhnutia, belosť, merná svetlosť, alfa-celulóza a priemerný polymerizačný stupeň - je nižší, ako vplyv modelovaného starnutia.

Recyklácia a starnutie najmenej ovplyvnili mechanické charakteristiky a obsah alfa-celulózy. Vo väčšej miere negatívne ovplyvnili optické charakteristiky a priemerný polymerizačný stupeň.

U všetkých sledovaných charakteristík sa výrazne negatívne prejavil synergický vplyv recyklácie a starnutia.

LITERATÚRA

- ACKERMANN CH., GOTTSHING L., PAKARINEN H. 2000. Papermaking potential of recycled fiber. In *Recycled fiber and deinking*, Papermaking Sci. Technol. Ser., Fapet Oy, Helsinki, Ch. 10, 2000. ISBN 952-5216-07-1, p. 358–438.
- ALINCE B. 2002: Porosity of swollen pulp fibers revisited. *Nordic Pulp and Paper*. 2002. 17(1): 71–73. ISSN 0283 2631.
- Bos A. 1972. Reflectance spectra of cellulose. *Appl. polym. Sci.* 16: 2567–2576. In *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, Gruyter. Berlin, New York, 613 p. ISBN 0-89925-593-0.
- ČABALOVÁ I., GEFERT A. 2009. Zmeny priemerného polymerizačného stupňa listnáčových a ihličnáčových buničín v procese recyklácie. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2009, 51(2): 79–85. ISSN 1336-3824.
- DE RUVO A., HTUN M. 1983. Fundamental and practical aspects of paper-making with recycled fibers. In: *The Role of Fundamental Research in Paper Making*, Brander (ed.), Mechanical Engineering Pub., Ltd., London, Vol.1, s. 195–225.
- FENGEL D., WEGENER G. 1984. *Wood. Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin; New York : Walter de Gruyter, 1984. 613 p. ISBN 0-89925-593-0.
- GEFFERTOVÁ J., GEFERT A., ČABALOVÁ I. 2008. Sulfátová listnáčová buničina v procese recyklácie. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2000, L(1): 73–81. ISSN 1336-3824
- GEFFERTOVÁ J., GEFERT A. 2012. Recycling of the Hardwood Kraft Pulp. In *Material Recycling, Trends and Perspectives*. Rijeka: InTech, 2012, p. 265–298. ISBN 978-953-0327-1.
- GEFFERTOVÁ J., RÁZGOVÁ Z. 2008. Zmeny rozmerových charakteristík vlákien sulfátových listnáčových buničín v procese recyklácie. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2008, L(2): 19–27. ISSN 1336-3824.
- HROBOŇOVÁ K., LEHOTAY J., JABLONSKÝ M., KATUŠČÁK S. 2009. HPLC stanovenie sacharidov v procese modelovaného zrýchleného starnutia papiera. *Chemické listy* 103, 2009. s. 744–751. ISSN 1213-7103.
- HUBBE M. A., HEITMANN J. A. 2007. Review of factors affecting the release of water from cellulosic fibers during paper manufacture. *BioResources*. 2(3): 500–533. ISSN 1930-2126.

- KAČÍK F., KAČÍKOVÁ D., VACEK V. 2008. Kinetika degradácie celulózy pri urýchlennom starnutí papiera. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2008, L(1): 83–90. ISSN 1336-3824.
- KHANTAYANUWONG S. *a kol.* 2002. Changes in Crystallinity and Re-swelling Capability of Pulp Fibers by Recycling Treatment. *Japan Tappi Journal* 56(6): 103–106.
- KUČEROVÁ V., HALAJOVÁ L. 2009. Sledovanie zmien recyklovaných buničín metódou gélovej permeačnej chromatografie. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 2009, 51(2): 87–92. ISSN 1336-3824.
- MARGUTTI S., CONIO G., CALVINI P., PEDEMONTE E. 2001. Hydrolytic and oxidative degradation of paper. *Restaurator*. 2001, 22(2): 67–131. ISSN 0034-5806.
- MORAVOVÁ J., LIBNAROVÁ M., LOFFAJOVÁ B. 1990. K technologickým aspektům stárnutí papíru. *Papír a celulóza*. 1990, 45(6): 97–100. ISSN 0031-1421.
- OKAYAMA T. 2001. Characteristics of pulp fiber with high recycling performance. *Journal Shigen Junkan*, s. 39–40.
- SOLÁR R., MAMOŇ M., DIBDIAKOVÁ J., GEFFERTOVÁ J. 2009. Alkaline and alkaline/oxidation pretreatments of spruce wood. Part 1: Chemical alterations of wood and its digestibility under conditions of kraft cook. *Wood Research*. 2009, 54(4): 1–12. ISSN 1336-4561.
- STONE J. E., SCALLAN A. M. 1968. A structural model for the cell wal of water-swollen wood pulp fibers based on their accessibility to macromolecules. *Cellulose Chem. Technol.* 1968, 2(3): 343–358. ISSN 0576-9787.
- TAKAYUKI O. 2002. The Effects of Recycling on Pulp and Paper Properties. *Japan Tappi Journal*. 2002, 56(7): 986–992. ISSN 0022-815X.
- VIZÁROVÁ K., CEDZOVÁ M., REHÁKOVÁ M., ŠUTÝ Š. 2003. Vplyv svetelnej expozície na zmeny vlastností súčasných papierov v priebehu urýchléného starnutia. *Papír a celulóza*. 2003, 58(9): 264–266. ISSN 0031-1421.

PodĎakovanie

Autori ďakujú agentúre VEGA za finančnú podporu pri riešení projektu 1/0272/11, v rámci ktorej príspevok vznikol.

Adresa autorov

Doc. Ing. Jarmila Geffertová, PhD.
Doc. Ing. Anton Geffert, CSc.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra chémie a chemických technológií
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovensko
geffertova@tuzvo.sk
geffert@tuzvo.sk

