



**Centrum pre rozvoj
drevárskeho,
nábytkárskeho a celulózo-
papierenského priemyslu**

Zborník výskumných prác

Január 2019



Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo- papierenského priemyslu

- ⊕ Centrum je neziskové, voľné, záujmové, dobrovoľné a nepolitické združenie. Členmi sú pracoviská výskumu a vývoja, podnikateľské a nepodnikateľské subjekty.
- ⊕ Centrum bolo zapísané dňa 16.08.1998 na Krajskom úrade v Bratislave, odbore všeobecnej správy, podľa ustanovenia § 20i ods. 2 Občianskeho zákonníka do registra záujmových združení právnických osôb, vedeného na krajskom úrade.
- ⊕ Centrum má svoje orgány: Rada riaditeľov, predseda Rady riaditeľov, podpredseda Rady riaditeľov, výkonný riaditeľ, revízori účtov.
- ⊕ Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu spolupracuje s ostatnými Centrami založenými Ministerstvom hospodárstva SR.
- ⊕ Centrum je rámcovo usmerňované Stanovami združenia.
- ⊕ Cieľom je príprava strategických, koncepčných a rozvojových zámerov výskumu a vývoja, koordinácia spolupráce pri príprave, riešení a realizácii rozhodujúcich a integrovaných projektov vedy a techniky, súčinnosť pri rozvoji normalizácie a jej harmonizácii s EÚ, koordinovaný rozvoj skúšobníctva, podpora presadzovania systémov kvality, koncepčná a rozborová činnosť v odvetviach drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu.



**MINISTERSTVO
HOSPODÁRSTVA
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**



Predslov

V septembri 2017 uverejnila Európska Komisia svoju stratégiu pre priemyselnú politiku (New Industrial Policy Strategy). Okrem kľúčových pilierov vytvárania pracovných miest, posilnenia konkurencieschopnosti Európy, podpory investícií a inovácií v oblasti čistých a digitálnych technológií sa v nej spomína aj "budovanie vedúceho postavenia Európy v nízkouhlíkovom a kruhovom hospodárstve". Tento prístup plne podporuje európsky papierenský priemysel. Priemysel už od roku 2005 znížil emisie uhlíka o 26 % (teraz predstavuje menej ako 1 % emisií skleníkových plynov v EÚ), znížil spotrebu energie o 11% a zároveň zvýšil podiel obnoviteľných energií na takmer 60% konečnej energie. Priemysel dosiahol mieru recyklácie papiera na úrovni 72,5 % (čím sa EÚ stala najlepším regiónom na svete) a súčasne vyvinula inovatívne biologické produkty.

Konfederácia európskeho papierenského priemyslu (CEPI) je celoeurópske združenie, ktoré prostredníctvom svojich 18 národných združení zhromažďuje 495 spoločností. Tieto spoločnosti spolu prevádzkujú viac ako 900 celulózových závodov a papierní v celej Európe a vyrábajú papier, lepenku, buničinu a iné biologické výrobky. CEPI predstavuje 22 % svetovej produkcie, 82 miliárd EUR ročného obratu pre európske hospodárstvo a priamo zamestnáva viac ako 177 000 ľudí. V súčasnosti investuje 5,5 miliardy EUR ročne a je lídrom v oblasti nízkouhlíkovej cirkulárnej bioekonómie.

Slovensko nezaostáva, spoločnosť Mondi SCP v Ružomberku začala s výstavbou nového stroja na kartónový papier s bielym povrchom, ktorý je súčasťou investičného projektu ECO plus v hodnote 340 miliónov eur. Súčasťou projektu je aj modernizácia a expanzia celulózky. Projekt je doposiaľ najväčšou investíciou tohto podniku s tým, že vytvorí niekoľko sto nových pracovných miest. Kartónový papier s bielym povrchom kombinuje pevnosť, možnosť potlače a vzhľadové výhody bieleho povrchového papiera z celulózy s ekonomickými výhodami recyklovanej spodnej vrstvy papiera. Zároveň sa čakáva spracovanie viac než 200.000 ton recyklovaného papiera. Kartónový papier s bielym povrchom sa zameriava na rastúce trhy obalov s bielym povrchom.



Ing. Štefan Boháček, PhD.

Predseda rady riaditeľov

*Centra pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho
a celulózo-papierenského priemyslu*

ZBORNÍK VÝSKUMNÝCH PRÁC

JANUÁR 2019

OBSAH

1. Vladimír Ihnát, Marián Slamka, Štefan Boháček, Albert Russ, Elena Opálená: Využitie drevnej suroviny nižšej kvality zo Slovenska.	04
2. Henrich Lubke, Jozef Balberčák, Vladimír Ihnát: Využitie vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva.	12
3. Alois Vojta, Dávid Havlín, Vladimír Ihnát, Andrej Pažitný: Optimalizácia postupov opätovného zhodnocovania drevených výrobkov po skončení doby ich používania vzhľadom k ich chemickej záťaži.	24
4. Andrej Pažitný, Albert Russ, Vladimír Ihnát, Štefan Boháček, Štefan Šutý: Parná explózia smrekového a bukového dreva. Vplyv teploty na produkciu monosacharidov a inhibítorov enzymatickej hydrolýzy.	34
5. Andrej Pažitný, Štefan Boháček, Peter Medo, Jozef Balberčák: Aplikácia moderného rekuperátora tepla pri výrobe papiera v spoločnosti Ludoprint, a.s. Bobot.	44
6. Juraj Gigac, Monika Stankovská, Mária Fišerová, Elena Opálená: Stanovenie absorpcie vody hygienických papierov pomocou ultrazvukovej metódy.	53
7. Vladimír Kuňa, Jozef Balberčák, Monika Stankovská, Andrej Pažitný, Albert Russ: Eliminácia lepivých nečistôt pomocou chemických prostriedkov.	63
8. Peter Medo, Štefan Boháček, Miroslav Vajs, Juraj Dlhopolček, Alena Zuzánková: Základné trendy celulózo-papierenského priemyslu krajín CEPI.	74
9. Alena Zuzánková: Tezaurus - terminologický riadený slovník pre problematiku celulózo-papierenského priemyslu.	81

Využitie drevnej suroviny nižšej kvality zo Slovenska

Vladimír Ihnát*

Slovenský drevársky výskumný ústav, Bratislava
ihnát@vupc.sk

Marián Slamka

Národné lesnícke centrum, Zvolen

Štefan Boháček, Albert Russ, Elena Opálená
Výskumný ústav papiera a celulózy, Bratislava

Abstrakt

Znižujúci sa podiel a zásoba ihličnatého dreva vyšších kvalitatívnych stupňov v lesoch Slovenskej republiky núti odbornú verejnosť prehodnocovať využívanie drevnej suroviny nižšej kvality IV. a V. kvalitatívnej triedy. Predkladaný článok približuje metodiku odhadu podielu týchto kvalitatívnych tried na celkových zásobách drevnej hmoty v slovenských lesoch s prihliadnutím na základné triedenie na surovinu ihličnatú a listnatú. Na základe tohto členenia je momentálne dlhodobo nastavené aj spracovanie v drevospracujúcich a celulózo-papierenských podnikoch.

Kľúčové slová: Drevná surovina nižšej kvality, kvalitatívna trieda, ihličnatá guľatina, listnatá guľatina, surové drevo, výrezy.

Úvod

Situácia na trhu s drevom v poslednom období nie je priaznivá. Často je označovaná za kritickú aj kvôli zvyšujúcemu sa podielu tzv. kalamitného dreva a to nielen zo Slovenska, ale aj z okolitých krajín, čo značne vplýva na kvalitu ponúkaných sortimentov a ohrozuje finančnú politiku pri dodávkach dreva. Cieľom predkladaného článku je poskytnúť základnú predstavu o využití drevnej suroviny nižšej kvality zo Slovensku (mimo kalamitného dreva), pričom sa vychádza z predpokladu, že na trhu s drevnou hmotou dochádza k postupnej zmene v dôsledku druhovej a kvalitatívnej štruktúry lesných porastov. Znižuje sa podiel a zásoba dreva ihličnatých drevín vyšších kvalitatívnych stupňov, pričom je oň na domácom trhu najväčší dopyt. Pri rastúcich zásobách dreva sa zvyšuje podiel suroviny nižšej kvality, na ktorej spracovanie resp. využitie pravdepodobne nie je na Slovensku dostatok kapacít.

Sortimenty surového dreva nižšej kvality

Kvalitatívne triedenie surového dreva na Slovensku zahŕňa šesť kvalitatívnych tried podľa

STN 48 0055 (2007) Kvalitatívne triedenie ihličnatej guľatiny a STN 48 0056 (2007) Kvalitatívne triedenie listnatej guľatiny. Sú to normy, ktoré pochádzajú zo súboru noriem, ktoré sa vzťahujú na ihličnaté a listnaté surové drevo a ihličnatú a listnatú guľatinu. Meranie kvalitatívnych znakov a rozmerov dreva sa uskutočňuje podľa STN EN 1310 (1997):

Guľatina a rezivo. Metóda merania znakov. Táto európska norma stanovuje metódy merania chýb, ktoré pripadajú do úvahy pri vizuálnom triedení reziva, opracovaného dreva a guľatiny. **STN EN 1311 (1997): Guľatina a rezivo. Metóda merania biologického poškodenia** určuje metódy merania biologického poškodenia, ktoré pripadajú do úvahy pri vizuálnom triedení reziva a guľatiny podľa vzhľadu alebo hodnotenia mechanických vlastností.

Predmetom tejto štúdie sú kvalitatívne triedy surového dreva a guľatiny **IV. a V.**, čiže podľa terminologického vysvetlenia sa jedná o zrúbané a odvetvené stromy s oddeleným vrcholcom, ktoré sa môžu ale nemusia ďalej skracovať. Predmetom štúdie nie je využitie inej časti stromu (ako je napr. kôra alebo listie) ale iba využitie dreva, ktoré je podľa **STN EN 844-1(1995): Guľatina a rezivo. Názvoslovie. Časť 1: Všeobecné termíny spoločné pre guľatinu a rezivo** definované ako lignocelulózová hmota medzi dreňou a kôrou stromu alebo kra. Predmetom štúdie taktiež nie je palivové drevo kvalitatívnej triedy VI. Výrezy triedy IV. a V. sa podľa noriem dodávajú v kôre, iný stupeň odkôrnenia sa individuálne zmluvne dohodne.

Triedy akosti ihličnatého dreva nižšej kvality

Do **IV. kvalitatívnej triedy** pre ihličnaté dreviny sa podľa STN 48 0055 zatriedujú výrezy na výrobu drevoviny (brúsne drevo), banské výrezy a žrdovina:

- výrezy na výrobu drevoviny (brúsne drevo) sa vyrábajú z ihličnatého surového dreva, ktoré je riadne odvetvené, čerstvé (s minimálnou vlhkosťou 45 %), neodkôrnené a krátené. Vyrábajú sa len z dreviny smrek.
- banské výrezy sa vyrábajú z čerstvého ihličnatého surového dreva, vrátane dreva preschnutého, bez príznakov hniloby. Vyrábajú sa v skupinách (SM, JD, DG – bez rozlíšenia dreviny) a (BO, SC – bez rozlíšenia dreviny).
- - žrdovina sa vyrába z ihličnatého surového dreva v kôre. Triedi sa podľa hrúbky bez kôry meranej 1m od hrubšieho konca. Vyrába sa zo všetkých ihličnatých drevín.

Do **V. kvalitatívnej triedy** sa podľa STN 48 0055 zatrieduje vlákninové drevo a ostatné priemyslové drevo:

- vlákninové drevo a ostatné priemyslové drevo sa vyrába z ihličnatého surového dreva riadne odvetveného, kráteného, čerstvého i preschnutého, ktorého kvalita umožňuje chemické a mechanické priemyslové spracovanie na výrobu buničiny, dosiek z aglomerovaného dreva a iné využitie.

Triedy akosti listnatého dreva nižšej kvality

Do **IV. kvalitatívnej triedy** pre listnaté dreviny sa podľa STN 48 0056 zatriedujú banské výrezy a žrdovina:

- preschnutého, bez príznakov hniloby. Vyrábajú sa bez rozlíšenia (DB, AG).
- žrdovina sa vyrába z listnatého surového dreva v kôre. Triedi sa podľa hrúbky bez kôry meranej 1 m od hrubšieho konca. Vyrába sa zo všetkých listnatých drevín.
- Do V. kvalitatívnej triedy pre listnaté dreviny sa podľa STN 48 0056 zatrieďuje vlákninové drevo a ostatné priemyslové drevo. Táto kvalitatívna trieda rozlišuje mäkké (lipa, topoľ, breza a ostatné) a tvrdé dreviny (buk, dub, javor, jaseň, brest, agát a ostatné).
- vlákninové drevo a ostatné priemyslové drevo sa vyrába z listnatého surového dreva riadne odvetveného, kráteného, so zarezanými oboma koncami, čerstvého i preschnutého, ktorého kvalita umožňuje chemické a mechanické priemyslové spracovanie na výrobu buničiny, aglomerovaných dosiek z dreva a na iné využitie.

Celkové disponibilné zásoby surového dreva nižšej kvality na Slovensku

Zodpovedne stanoviť zásoby surového dreva nižšej kvality IV a V. kvalitatívnej triedy v lesoch je dnes možné jedine na základe odhadu, ktorý bude dobre metodicky spracovaný. Jedna z možností je založená na odbornom odhade zastúpenia týchto kvalitatívnych stupňov na celkových zásobách surového dreva, ktorých vývoj je štatisticky dobre zaznamenaný (tab.1).

Tab. 1 Vývoj zásoby dreva v lesoch Slovenska.

Zásoba dreva		rok							
		1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017
mil m3	ihličnatá	170	178,9	188	199,1	207,3	212,16	202,21	200,02
	listnatá	154	169,6	190	210,9	231,6	249,79	275,91	280,23

Dodávky surového dreva IV. a V. kvalitatívnej triedy na trh

Vývoj štruktúry dodávok surového dreva IV. a V. kvalitatívnej triedy z lesov SR za posledné roky uvádzajú Zelené správy o lesnom hospodárstve, ktoré zverejňuje Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR (tab.2). Rozhodujúce objemy predstavuje **vlákninové drevo V. kvalitatívnej triedy**.

Tab.2 Vývoj štruktúry dodávok surového dreva nižšej kvality z lesov SR za posledné roky.

Kvalitatívna trieda	roky				
	2013	2014	2015	2016	2017
Ihličnaté drevo (m3)					
IV.	14 115	26 029	19 027	25 648	36 070
V.	897 373	1 207 336	1 202 511	1 428 408	1 593 810
Listnaté drevo (m3)					
IV.	2 934	3 206	3 681	6 169	10 310
V.	2 072 237	2 115 698	2 447 618	2 288 719	2 040 390

Podľa Zelených správ o lesnom hospodárstve predstavuje slovenský export/import surového dreva nižšej kvality objemy podľa tab. 3. Pričom vývoz zahŕňa aj ťažbu z tzv. bielych plôch, čiže nie celkom koreluje s predchádzajúcou tabuľkou, kde sú uvedené iba objemy na lesných pozemkoch. Vývoz a dovoz monitoruje Štatistický úrad SR podľa údajov colnej štatistiky.

Tab.3 Prehľad celkového vývozu a dovozu surového dreva nižšej kvality za posledné roky.

Kvalitatívna trieda	roky				
	2013	2014	2015	2016	2017
Ihličnaté drevo (m3)					
vývoz IV. a V.	525 000	614 000	564 000	373 000	442 000
dovoz IV. a V.	64 000	94 000	36 000	27 000	55 000
Listnaté drevo					
vývoz IV. a V.	455 000	433 000	391 000	448 000	154 000
dovoz IV. a V.	549 000	588 000	380 000	357 000	299 000

Pre ďalšiu analýzu významnosti zaoberať sa zhodnocovaním vybraných sortimentov má rozhodujúci vplyv nasledujúca tabuľka (tab. 4), z ktorej vyplýva, že sa na Slovensku za rok 2016 nespracovalo **disponibilných 340 tis. m3 ihličnatej vlákny** (V. kvalitatívna trieda) a 91 tis. m3 listnatého surového dreva (IV. a V. kvalitatívna trieda). Dlhodobá disponibilná kapacita ihličnatej vlákny v tomto objeme avšak nie je zaručená, pretože kalamitná ťažba, hlavne ihličnatého dreva, za posledné roky predstavuje veľmi významný podiel.

Tab. 4 Drevospracujúci priemysel – Spotreba surového dreva na Slovensku v roku 2016.

Sortiment	Produkcia (m3)	Dovoz (m3)	Vývoz (m3)	Spotreba (m3)	Disponibilné
	A	B	C	D	C-B
Ihličnaté výrezy (IV. triedy akosti)	25 650	1 540	7 140	20 050	5 600
Ihličnaté výrezy (V. triedy akosti)	1 428 410	25 210	365 600	1 088 020	340 390
Listnaté výrezy (IV. triedy akosti)	6 170	63 980	24 410	45 740	-39 570
Listnaté výrezy (V. triedy akosti)	2 288 720	293 110	424 200	2 157 630	131 090

Štatistiky za rok 2017 už kvalitatívny stupeň IV. a V. vyhodnocujú spoločne a potvrdzujú veľké množstvo disponibilnej ihličnatej vlákny (tab.5). Zaujímavý vývoj bol zaznamenaný pri listnatej vlákne, kde sa výrazne znížil vývoz.

Tab. 5 Drevospracujúci priemysel – Spotreba surového dreva na Slovensku v roku 2017.

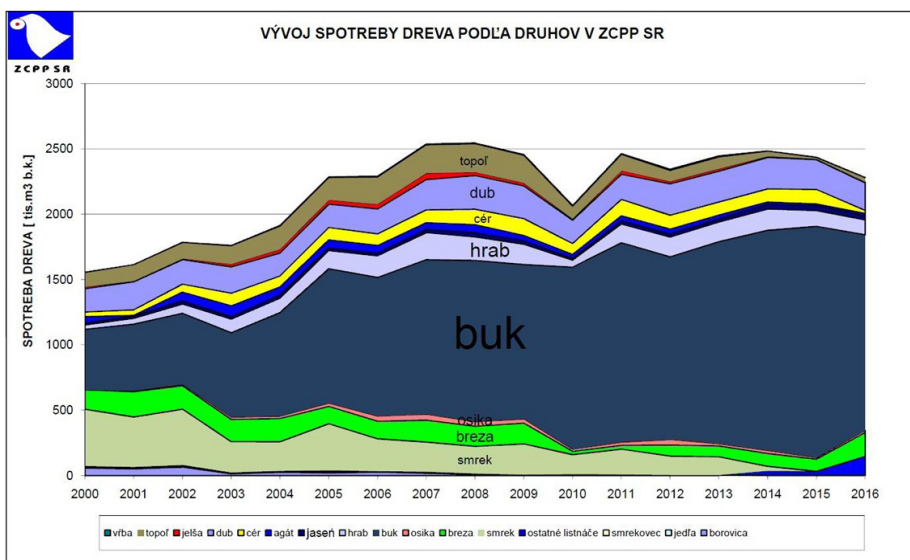
Sortiment	Produkcia (m3)	Dovoz (m3)	Vývoz (m3)	Spotreba (m3)	Disponibilné C-B
Ihličnaté výrezy (IV. a V. triedy akosti)	1 629 880	54 960	442 340	1 242 510	387 380
Listnaté výrezy (IV. a V. triedy akosti)	2 050 690	298 530	154 040	2 195 180	-144 490

Nasledujúca tabuľka (tab. 6) uvádza priemerné ceny surového dreva, za ktoré sa obchodovali sortimenty nižšej kvality dreva na Slovensku. V tabuľke je pri listnatom dreve uvedená cena aj cena palivového dreva, aby sa zdôraznilo, že v tomto prípade bola v roku 2016 **jednotková cena vláknniny a cena palivového dreva v podstate vyrovnaná**. V roku 2017 začala cena palivového dreva mierne klesať.

Tab. 6 Priemerné ceny dreva v lesnom hospodárstve SR v roku 2016.

Kvalitatívna trieda	Sortiment	(EUR/m3)	
		2016	2017
	Ihličnaté drevo		
IV.	Stĺpy	46,14	45,53
	Banské drevo	57,38	55,41
	Žrde	36,06	32,82
V.	Vlákninové drevo	29,60	30,29
	Listnaté drevo		
IV.	Banské drevo	64,27	50,06
	Žrde	35,01	40,00
V.	Vláknin. a netriedené drevo	37,95	40,07
VI.	Palivové drevo	37,26	37,10

Obr.1 ilustruje, že spotreba listnatej vláknniny pre potreby dvoch našich celulóziiek sa pohybuje v priemerných hodnotách jej produkcie na Slovensku. Spotreba ihličnatej vláknniny celulózovým priemyslom SR je prakticky nulová. Najbližšia výroba ihličnatej buničiny je v Paskove (Česko).



Obr. 1 Vývoj spotreby surového dreva v celulóзовom priemysle na Slovensku od roku 2000

Strategickí spracovatelia ihličnatého dreva nižšej kvality

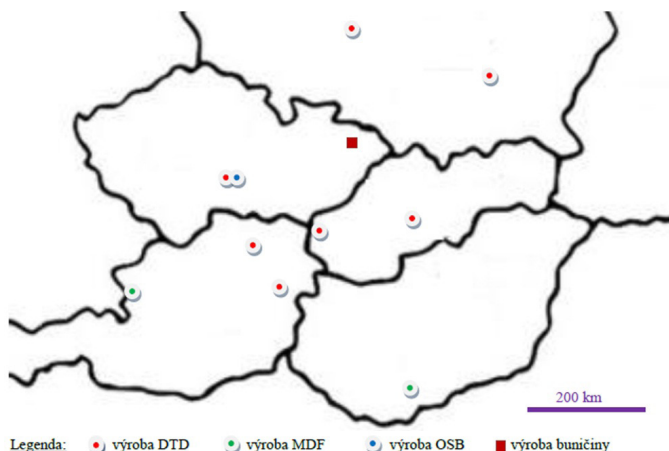
V súčasnej dobe je proces spracovania ihličnatej vlákniny výlučne sústredený na spracovanie drevospracujúcimi podnikmi, ktoré vyrábajú aglomerované materiály na báze dreva. Jedná sa o **termo- mechanické procesy spracovania**, ktoré zahŕňajú okrem prvotnej mechanickej dezintegrácie (štiepkovanie, trieskovanie) aj proces lisovania za tepla. Najvýznamnejšie zastúpenie majú:

- výroba drevotrieskových dosiek (DTD)
- výroba dosiek s orientovanými trieskami (OSB)
- výroba drevovláknitých dosiek (DVD, MDF)

Mechanické procesy spracovania dreva nižšej kvality zahŕňajú bežné procesy prvotného spracovania surového dreva a guľatiny a realizujú sa pre nasledovné skupiny výrobkov:

- výroba reziva a obkladových dosiek
- výroba drevených paliet
- výroba obalov z rastlého dreva
- výroba prvkov záhradnej architektúry

Štatisticky menej významné postavenie majú výroba cementotrieskových a cementovláknitých dosiek a tvaroviek (Durisol, Cetris a pod.) a výroba konštrukčných materiálov s nasmerovaným použitím (Lignocel, Fasal, Fasalex, Fiberex a pod.). Výroba ihličnatej buničiny za posledné desaťročia je na ústupe, pričom jeden výrobný kombinát stále existuje v našom blízkom okolí v Českej republike (Paskov).



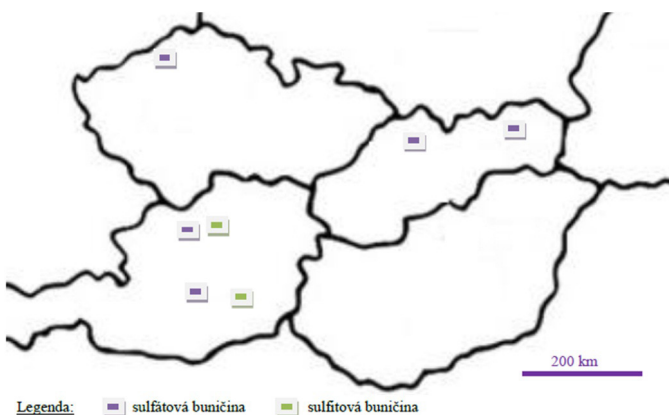
Obr.2 Strategickí spracovatelia dreva nižšej kvality na Slovensku a v okolitých krajinách

Strategickí spracovatelia listnatého dreva nižšej kvality

Pre spracovanie listnatej vlákničky sa uplatňujú **chemické procesy spracovania** pri výrobe buničiny na následnú výrobu papiera:

- výroba sulfitovej buničiny
- výroba sulfátovej buničiny
- výroba polochemickej buničiny

Prehľad rozmiestnenia najbližších spracovateľských kapacít je na obr.3, pričom je potrebné poznamenať, že v tomto smere je slovenská spracovateľská kapacita dostatočná a správne vyťažená.



Obr. 3 Strategickí spracovatelia nižšej kvality na Slovensku a v okolitých krajinách

Za **perspektívne procesy spracovania** dreva nižšej kvality podporujúce rozvoj tzv. zelenej ekonomiky, ktoré sú zamerané na získavanie a ďalšie spracovanie organických látok obsiahnutých v dreve sa považujú a sú v merite záujmu výskumných organizácii tzv. kyslá a enzymatická hydrolýza, fast pyrolýza a parná explózia a extrúzia.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-16-0487.

Zdroje použitých údajov:

1. Celulózo-papierenský priemysel SR v roku 2017. ZCPP SR, Apríl 2018.
2. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2017. ZELENÁ SPRÁVA. Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky Národné lesnícke centrum. Bratislava 2018.
3. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2016. ZELENÁ SPRÁVA. Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky Národné lesnícke centrum. Bratislava 2017.

Využitie vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva

Henrich Lubke*, Jozef Balberčák, Vladimír Ihnát
Slovenský drevársky výskumný ústav
lubke.sdvu@vupc.sk

Abstrakt

Cieľom predkladaného článku je laboratórna príprava vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva. Recykláciu tejto skupiny odpadových materiálov sťažujú obsiahnuté lepidlá, pričom ich prvotnej deštrukcii na poloprevádzkovom roztrieskovacom zariadení Pallmann predchádzal proces varenia. Prvotným výstupom bola distribúcia získaných triesok. Príprava vlákna z odpadových DTD lepených UF lepidlom sa uskutočnila mletím na poloprevádzkovom mlyne Sprout waldron. Stanovenie formaldehydu a močoviny sa uskutočnilo metódou HPLC v odpadnej vode po varení odpadových DTD pred roztrieskovaním. Príprava polobuničiny sa uskutočnila mierne alkalickou bezsírnu technológiou a na porovnanie alkalickou delignifikáciou. Z pohľadu praktického využitia takto získanej polobuničiny sa prihliadalo na výrobu tzv. semi chemical flutingov a Brown testlinerov 2.

Kľúčové slová: Aglomerované materiály, drevné vlákna, mletie, roztrieskovanie, fluting.

Úvod

Recyklácia dreva je nová téma vychádzajúca zo smerníc EU a zo zákona č. 79/2015 Z. z. Zákon o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Cieľom recyklácie dreva je jeho viacnásobné opätovné využitie. Zdrojom drevného odpadu s chemickou záťažou sú aj aglomerované materiály na báze dreva (drevotrieskové, drevovláknité dosky a dosky z orientovaných triesok). Jedná sa hlavne o vyradený nábytok a drevný odpad z demolácii starých budov a pod. SDVÚ Bratislava realizoval projekt aplikovaného výskumu, ktorý prebiehal v rokoch 2015-2018 a zaoberal sa využitím odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva metódou „downcycling“.



Drewný odpad, teda aj odpad z aglomerovaných drevných materiálov nefiguruje v zozname zberových komodít a je zatriedený medzi tzv. komunálny odpad. Na skládky komunálneho odpadu sa však nemá dostať materiál, ktorý je možné zhodnotiť, či už recykláciou alebo ako energonosič. Pričom okrem bežných komodít, akými je papier, sklo, kovy a plasty, dnes sa na Slovensku zbierajú a recyklujú aj netradičné komodity akými je odpadový olej, pneumatiky resp. viacvrstvové kombinované materiály, samozrejme, že to všetko je podmienené existujúcimi spracovateľskými kapacitami.

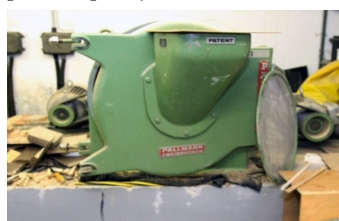
Obr.1 Navrhovaná defibrácia odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva môže významne zvýšiť nízky podiel jeho recyklovania vzhľadom k spaľovaniu.

Aglomerované materiály možno v zásade deliť na:

- Drevovláknité dosky (DVD) hlavne MDF dosky s hustota 400 až 850 kg/m³ (na výrobu nábytku, dverí, na obklady a lišty)
- Drevotriekové dosky (DTD) s hustotou hlavne okolo 600 kg/m³
- OSB doska (Oriented strand board) je druh dosky vytvorené plošným lisovaním veľkých (2–7cm) drevných štiepok alebo hoblín v troch až štyroch vrstvách. Používajú sa na výrobu nábytku, obkladov stien a pod. Podľa vlhkosti prostredia, do ktorého sú určené uvedené aglomerované materiály, sa pre ich výrobu používa lepidlo:
 - močovino- formaldehydové (UF) pre dosky do suchého prostredia
 - melamín-močovino-formaldehydové (MUF) pre dosky odolné vyššej relatívnej vlhkosti
 - melamín-močovino-formaldehydové (MUF) alebo lepené melamín-močovino-formaldehydové v kombinácii s fenolovou živcou (MUPF) pre vonkajšie expozície

1.1. Laboratórna a poloprevádzková deštrukcia drevných aglomerovaných materiálov

Z rozboru druhov veľkoplošných aglomerovaných drevných materiálov sa dá predpokladať, že jednotlivé materiály sa budú chovať pri recyklácii hlavne podľa druhu lepidla, ktoré bolo použité pri výrobe materiálu. Pre opätovné získavanie triesok bolo použité poloprevádzkové



bubnové trieskovacie zariadenie používané na výrobu triesok z prírodného dreva od firmy Pallmann (obr. 2) použitím rôznych pevných okruží s oválnymi pozdĺžnymi otvormi, okruží s výstupkami a okruží s priečnymi nožmi. Distribúcia pripravených triesok bola stanovená sitovaním na laboratórnom a poloprevádzkovom zariadení.

Obr. 2 Zariadenie f. Pallmann na výrobu triesok.

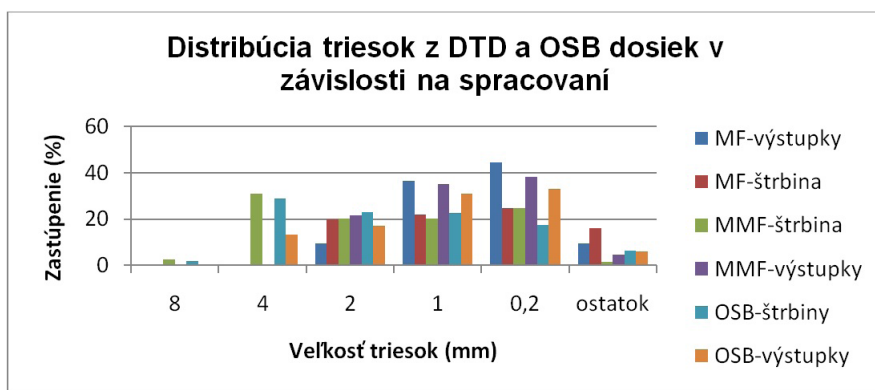
Pri trieskovaní vzducho- suchého aglomerovaného materiálu s vlhkosťou 8.5 % dochádza k zahoreniu materiálu a vysokej prašnosti, preto je potrebné, aby materiál mal vysoký obsah vody a bol napučený. Napučaním dôjde k čiastočnému alebo úplnému uvoľneniu väzieb medzi drevom a lepidlom a tiež ku čiastočnej hydrolyze močovino-formaldehydového lepidla. Úprava pre vzorky lepené UF sa uskutočnila 48 hod máčaním v studenej vode a varením 30 min, 60 min, 120 min a 150 min s miešaním (Tab.1).

Tab.1 Percento vody v DTD lepenej UF lepidlom po úprave s vodou.

	Úprava	Množstvo vody vo vzorke (%)
1	po 48 hod v studenej vode	33,9
2	po 30 min varu	115,15
3	po 60 min varu	154,15
4	po 120 min varu	189,75
5	po 150 min varu, rozmiešanie	193,95

Rozbor výsledkov prípravy recyklovaných triesok z odpadových aglomerovaných materiálov riešenia možno zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- Pre roztrieskovanie aglomerovaného materiálu je potrebné, aby materiál mal vysoký obsah vody a bol napučený.
- Spracovaním nábytkovej DTD varením za miešania získame pôvodnú skladbu triesok
- Roztrieskovaním vzoriek sa podiel frakcie nad 4 mm znižuje
- Povrchovú fóliu je možné spracovať spolu s celou DTD
- Odpadové DTD a OSB dosky lepené MUF lepidlom pre ďalšie spracovanie roztrieskovaním musia byť predupravované varením a následným roztlačením.
- Skladba triesok z odpadových DTD a OSB dosiek v závislosti na použítom lepidle a spôsobe roztrieskovania je uvedená na obr. 3.



Obr.3 Skladba recyklovaných triesok z odpadových DTD a OSB.

1.2. Príprava vlákna z odpadových DTD lepených UF lepidlom

Vlhké, napučené triesky z DTD o rozmere 100x100 mm boli pripravené 30 min varením vo vode pri atmosférickom tlaku a následným roztrieskovaním na bubnovom trieskovacom zariadení f. Pallmann s okružím s oválnymi pozdĺžnymi otvormi (dĺžka - 54,1mm, šírka - 5,5mm). Získané triesky boli charakterizované sitovými skúškami (Tab.2).

Tab.2 Skladba triesok vzoriek DTD po úprave 30 min. varením a následnom trieskovaní na okruží s pozdĺžnymi štrbinami

Sito	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0,25 mm	zostatok	Spolu
Podiel (%)	0	19,3	20,3	20,65	25,6	14,15	100,0

Pre prípravu vlákny boli triesky menšie ako 2mm odstránené sitovaním. Pripravené triesky nad 2mm pred mletím sa zohriali parou na 80 0C. Na túto teplotu bolo vyhriate aj zariadenie Sprout-Waldron na prípravu vlákna.

Tab.3 Distribúcia a vlastnosti vlákna po mletí na mlyne Sprout-Waldron.

Vlastnosť		
oSR		5
Odvodniteľnosť (sec.)	500ml	1,86
	700ml	2,90
	800ml	3,16
Brecht-Holl (%)	16 (mesch 40)	67,18
	50 (mesch 120)	18,82
	100 (mesch 240)	10,76
	Nad 100 (mesch 240)	3,23

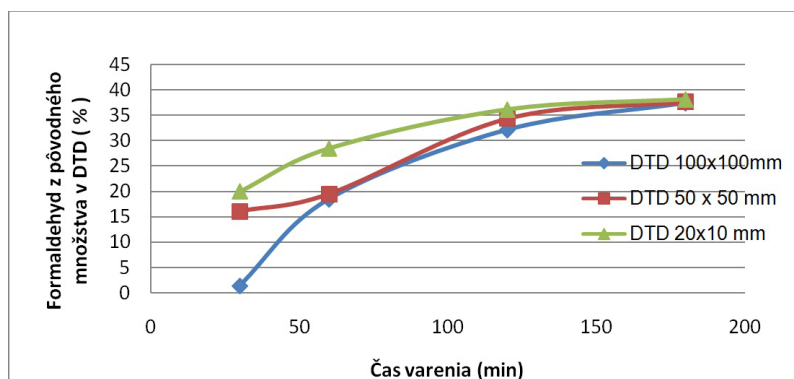
Získané vlákno o jemnosti mletia 5oSR (stupne Schopper-Riegler) je pre potreby prípravy papiera a tiež MDF dosiek nedostatočné (tab.3). Z toho dôvodu bolo získané vlákno domieľané na Valley holandri bežným spôsobom. Vlákno bolo domieľané postupne so vzrastajúcim stupňom oSR 13, 24, 28, 40 (tab.4).

Tab.4 Distribúcia a vlastnosti vlákna získaných z triesok z DTD lepených UF lepidlom po mletí na mlyne Sprout-Waldron a domieľaní na holandri.

oSR		40	28	24	13
Odvodniteľnosť (sec.)	500ml	19,47	4,25	2,46	2,47
	700ml	49,19	16,73	11,38	4,70
	800ml	74,92	28,66	18,00	9,50
Brecht-Holl (%)	16 (mesch 40)	4,175	20,15	25,90	42,52
	50 (mesch 120)	49,330	48,04	47,48	40,56
	100 (mesch 240)	19,490	16,12	13,47	10,13
	Nad 100 (mesch 240)	26,805	15,73	13,15	6,79

1.3. Stanovenie formaldehydu a močoviny HPLC metódou v odpadnej vode po varení odpadových DTD pred roztrieškováním

Na analýzu vzoriek sa použil chromatografický systém HPLC od spoločnosti CHROMSERVIS SK s.r.o. s kolónou - Rezex Pb2+ na stanovenie formaldehydu a močoviny.



Obr.4 Percento formaldehydu vo výluhu z pôvodného množstva formaldehydu v DTD.

Metódou vnútorného štandardu boli stanovené hodnoty formaldehydu a močoviny v jednotlivých vzorkách. Pôvodná hodnota formaldehydu a močoviny obsiahnutá v DTD sa varením postupne znižuje v dôsledku hydrolyzy UF lepidla. Pri 10% obsahu MF a.s. lepidla na a.s. triesky pripadá na 100 g DTD 3225 mg formaldehydu a 5860 g močoviny, pričom na 1 mol močoviny pripadá 1,1 mol formaldehydu. Množstvo uvoľňovaného formaldehydu závisí od času varenia a od veľkosti vzorky DTD (obr.4). Varením väčších vzoriek prebieha uvoľňovanie formaldehydu v dôsledku hydrolyzy lepidla vo vzorke pomalšie ako u menších vzoriek. 30 min varenie menších vzoriek spôsobí hydrolyzu 20 % lepidla to znamená, že v roztoku bude na 100 g DTD 645 mg formaldehydu a 1172 mg močoviny. Je predpoklad, že množstvo formaldehydu v pripravených trieskach z DTD po úprave s vodou bude minimálne znížené o hodnoty znázornené na obr.4. Množstvo formaldehydu vo výluhu je orientačný parameter, dôležité bude množstvo uvoľňovaného formaldehydu z pripravených DTD.

2.1. Mierne alkalický bezsírny varný postup prípravy polobuničiny z DTD a OSB odpadu

V prvej fáze pri laboratórnych experimentov spracovania DTD a OSB odpadu, bola použitá mierne alkalická bezsírna technológia výroby polobuničiny (varný roztok zložený z Na_2CO_3 + NaOH), ktorá je z pohľadu prípravy polobuničiny šetrnejšia k drevnej hmote v porovnaní s nátronovou várkou a následne aj nátronovým postupom. Použil sa varný roztok : NaOH – 25,8 g/l, Na_2CO_3 – 136,8 g/l, NaOH – ako 20 g/l Na_2O , Na_2CO_3 – ako 80 g/l Na_2O , ktorý sa aplikoval na drevné triesky z odpadových DTD a OSB dosiek o veľkosti nad 2 mm. Laboratórne várky sa uskutočnili v 750 ml bombičkách v laboratórnom autokláve za rovnakých podmienok: zanáška triesok do autoklávu: 100 g a.s.

zanáška varného roztoku: 10 – 20 % ako Na_2O / a.s. drevo

hydromodul: 4 : 1

čas impregnácie: 20 – 60 min

teplota impregnácie: 125 °C

celková doba várky: 60 – 120 min

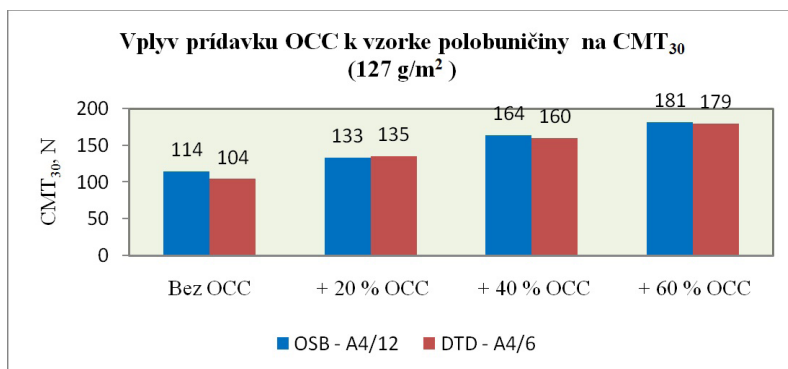
teplota várky: 170 °C

Po rozvláknení boli jednotlivé vzorky polobuničiny vytriedené v laboratórnom triediči Wewerk na štrbinovom site so štrbinami 0,25 mm. Dobrá látka z triediča bola vymletá na laboratórnom mlyne Valley na 25 °SR a 30 °SR. Zo vzoriek polobuničiny, vymletých na 30 °SR boli pripravené hárky o plošnej hmotnosti 127 a 170 g / m² na ktorých boli stanovené požadované vlastnosti.

Z vyhodnotenia mechanických vlastností pre polobuničiny pripravené z dezintegrovaných DTD a OSB odpadov stanovených na laboratórnych hárkoch s plošnou hmotnosťou 127 g / m² vyplýva, že kritériám spracovania polobuničiny na fluting, v tomto prípade maximálne na LWM – Light weight medium fluting, zodpovedá len vzorka č. A4/12, t.j. vzorka pripravená z OSB odpadu s výťažkom 76,6 % a s pevnosťami CMT30 = 114 N a SCT = 1,32 kN/m.

Takéto zhodnotenie DTD a OSB odpadu sa javí ako nevýhodné a to z toho dôvodu, že na výrobu LWM flutingu sa výhradne používajú recyklované vlákna zo zberového papiera.

Vzhľadom na to, že polobuničiny z dezintegrovaného odpadu DTD a OSB, pripravené mierne alkalickou bezsírnuou technológiou vykazovali nízke pevnostné parametre, bol sledovaný vplyv prídavku vlákien zo starých obalov z vlnitej lepenky - OCC (Old Corrugated Containers) na zmenu pevnostných parametrov laboratórne pripravenej polobuničiny. Zmena pevnostných parametrov bola sledovaná na vzorkách polobuničiny z OSB aj DTD s najlepšimi pevnostnými parametrami, t.j. vzorka č. A4/6 a A4/12 s prídavkom OCC 20 – 60 %. Boli sledované hlavne parametre, ktoré sú rozhodujúce pri použití polobuničiny na výrobu flutingu resp. linerov a to index pevnosti v prietlaku, CMT30 a SCT. Pevnostné parametre boli porovnávané na laboratórnych hárkoch o plošnej hmotnosti 127 g / m². Čo sa týka indexu pevnosti v prietlaku a CMT30, každý 20 % prídavok OCC k vzorke polobuničiny, znamenal nárast uvedených parametrov (Obr. 5). O niečo menší nárast bol sledovaný u hodnoty SCT, kde s postupným prídavkom OCC k vzorkám polobuničiny, narástla táto hodnota z 1,3 resp. 1,2 kN/m u polobuničiny, až na hodnotu 1,8 kN/m u polobuničiny so 60 % prídavkom OCC.



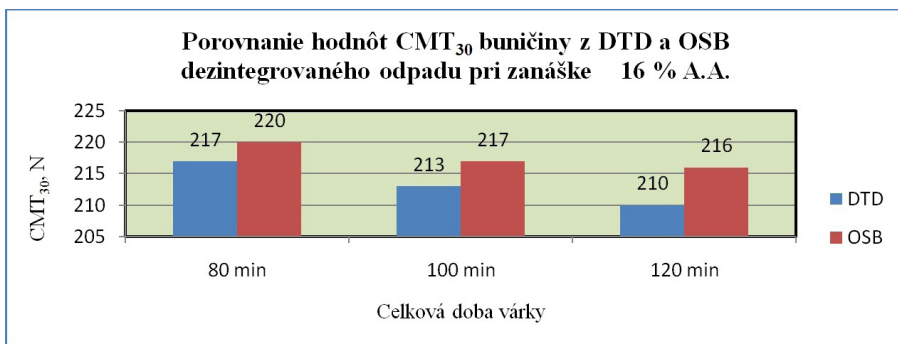
Obr. 5 Vlastnosti polobuničiny z dezintegrovaného odpadu s prídavkom OCC.

Z porovnania vzoriek polobuničiny A4/6 t.j. polobuničiny z DTD dezintegrovaného odpadu a A4/12 pripravenej z OSB dezintegrovaného odpadu, ktoré boli pripravené za rovnakých varných podmienok mierne alkalickou bezsírnuou technológiou vyplýva, že už 40 % – ný prídavok OCC k vzorke A4/6 a A4/12 prispel k nárastu pevnostných parametrov tak, že by tieto polobuničiny boli vhodné na výrobu „Recycled fluting medium“, resp. „Brown Testlinerov 4“. Index v prietlaku vzrástol z 0,8 resp. 0,9 KPam2/g na 1,45 a 1,5 kPam2/g; CMT30 vzrástlo zo 104 resp. 114 N na 179 a 181 N; hodnota SCT stúpla z 1,2 a 1,3 kN/m na 1,8 kN/m.

2.2. Alkalický varný postup prípravy polobuničiny z DTD a OSB odpadu

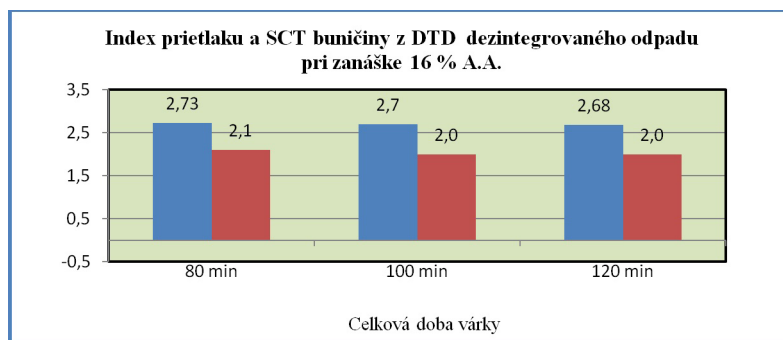
Pri alkalickom varnom postupe prípravy polobuničiny z DTD a OSB odpadu sa použil varný roztok aktívnych alkálií (A.A) v množstve 10, 16, 20 % Na₂O, doba várky bola 10, 20, 40 a 60 minút.

Z výsledkov je zrejmé, že so zvyšovaním zanášky aktívnych alkálií a predlžovaním varnej doby, dochádza k hlbšiemu odvareniu DTD aj OSB triesok. Postupne klesá výťažok, obsah neprevarov aj zvyškový lignín v polobuničine resp. buničine. Z pohľadu použitia pripravených polobuničín resp. buničín, alkalickým postupom delignifikácie, sú dôležité ich pevnostné parametre a ich porovnanie. Z výsledkov je vidieť (obr.6), že najlepšie pevnostné parametre sa dosiahli u buničín, pripravených so **zanáškou 16 % A.A. z DTD aj OSB dezintegrovaného odpadu**. Keďže zámerom chemického spracovania DTD a OSB odpadu bolo pripraviť polobuničinu vhodnú na výrobu flutingu resp. linerov, zamerali sme sa pri hodnotení a porovnávaní pevnostných parametrov, hlavne na hodnoty indexu v prietlaku, CMT30 a SCT (obr. 7).



Obr.6 Vlastnosti polobuničiny získanej alkalickým varným postupom.

Z pohľadu hodnotenia týchto parametrov sa javí 10 % - ná zanáška A.A. ako nedostačujúca. Pri 10 % - nej zanáške A.A. a pri najdlhšej dobe várky DTD aj OSB odpadu, sa dosiahli také hodnoty indexu prietlaku, CMT30 a SCT, ktoré zodpovedali parametrom vhodným len pre výrobu maximálne „Brown Testlinerov 4“ t.j. linerov s najnižšími pevnostnými parametrami, vyrábaných zo zberového papiera, alebo pre výrobu „Recycled fluting Medium 2“. Predlžovanie várky nad celkovú dobu 80 min. pri tejto zanáške už nemalo zmysel, nakoľko zvyškový NaOH vo výluhu sa blížil k 0 g/l.



Obr.7 Vlastnosti polobuničiny získanej pri zanáške 16% A.A. v závislosti na dobe várky.

20 % zanáška A.A. pri alkalickej delignifikácii DTD a OSB dezintegrovaného odpadu znamenala už výrazný pokles výťažku buničiny s pevnostnými parametrami lepšími ako pri zanáške 10% A.A., ale s horšími hodnotami indexu prietlaku, CMT30 aj SCT ako pri zanáške 16% A.A.

Vzhľadom na výraznú stratu vlákna (nízke výťažky) a dosiahnuté pevnostné parametre buničiny, zanáška 20 % A.A. pri alkalickej delignifikácii DTD a OSB dezintegrovaného odpadu sa zdá byť už zbytočne vysoká pre prípravu buničiny na fluting resp. liner. Z pohľadu využitia polobuničiny resp. buničiny na fluting alebo lineri, najlepšie výsledky sa dosiahli pri alkalickej delignifikácii DTD a OSB dezintegrovaného odpadu so zanáškou 16% A.A. Už pri celkovej varnej dobe 80 min sa dosiahli také pevnostné parametre buničiny z DTD aj OSB dezintegrovaného odpadu, ktoré sa vyrovnali parametrom polobuničiny pre výrobu „Semi Chemical Flutingov 2“ a aj pre výrobu „Brown Testlinerov 2“. Predlžovanie varnej doby pri zanáške 16 % A.A. už neprinieslo ďalší nárast pevnostných parametrov, naopak znamenalo nežiaduci výrazný pokles výťažku buničiny.

Tab.5 Podmienky a výsledky alkalických laboratórnych várok DTD dezintegrovaného dreveného odpadu.

Várka č.	A5/1	A5/2	A5/3	A5/4	A5/5	A5/6	A5/7	A5/8	A5/9
Vzorka	DTD	DTD	DTD	DTD	DTD	DTD	DTD	DTD	DTD
Výhrev zo 100°C na 170°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Doba várky pri 170°C	0	10	20	20	40	60	20	40	60
Zanáška A.A., % Na ₂ O	10	10	10	16	16	16	20	20	20
Výťažok, %	70,3	70,0	68,5	61,3	58,9	55,5	51,5	49,2	45,5
Obsah neprevarov,%	7,6	7,0	6,8	4,2	2,1	1,8	0	0	0
Zvyškový lignín, %	13,5	13,3	12,4	10,3	10,1	8,9	5,8	4,4	3,3
pH	7,9	7,9	7,8	8,1	8,1	8,1	8,2	8,2	8,1
Zvyškový NaOH, g/l	7,6	3,4	1,8	16,0	13,9	11,1	24,0	22,0	21,2
Plošná hmotnosť, g/m ²	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Hrúbka, µm	240	240	238	230	228	226	219	215	209
Objem. hmotnosť g/cm ³	0,55	0,55	0,55	0,54	0,54	0,56	0,58	0,58	0,59
Tržné zataženie, kN/m	3,58	3,57	3,60	6,90	6,81	6,66	6,55	6,59	5,38
Index pretrhnut., N.m/g	27,1	27,2	30,0	51,2	50,1	49,9	49,6	48,9	39,1
Tržná dĺžka, km	3,52	3,52	3,7	6,53	6,49	6,46	6,3	6,33	4,95
Index prietlak., kPam ² /g	1,1	1,1	1,3	2,73	2,70	2,68	2,63	2,60	2,13
CMT30, N	130	136	155	217	213	210	190	187	185
SCT, kN/m	1,4	1,4	1,6	2,1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8
Gurley, s	3,0	2,9	4,7	22	23	20	29	38	38

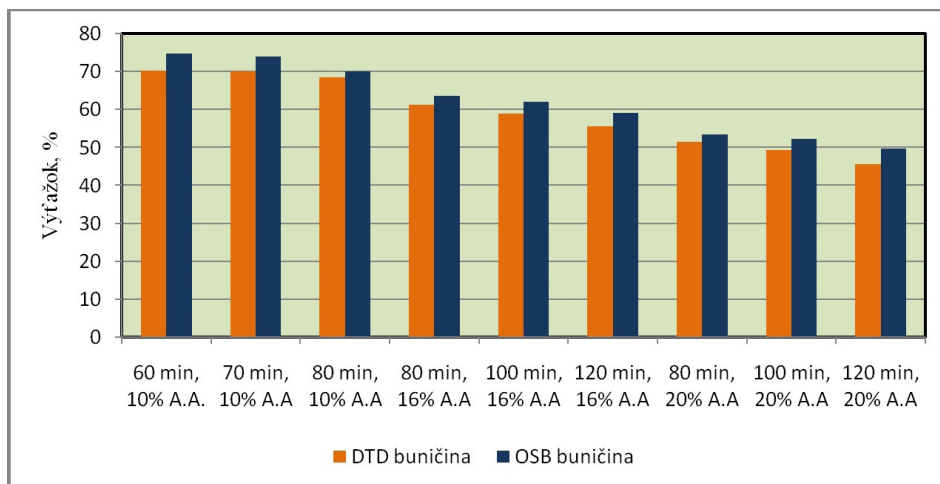
Ako je z tab.5 a 6 vidieť, so zvyšovaním zanášky aktívnych alkálií a predlžovaním varnej doby, dochádza k hlbšiemu odvareniu DTD aj OSB dezintegrovaného odpadu. Postupne klesá výťažok, obsah neprevarov aj zvyškový lignín v polobuničine resp. buničine. Pokles výťažku, obsahu neprevarov aj zvyškového lignínu súvisiaci so zvyšovaním zanášky aktívnych alkálií A.A. a predlžovaním varnej doby je zreteľný viditeľný aj pre spracovanie DTD dezintegrovaného odpadu aj pre spracovanie OSB dezintegrovaného odpadu.

Za rovnakých podmienok várky sa dosiahli pri spracovaní OSB dezintegrovaného odpadu v priemere o 3 % vyššie výťažky buničiny v porovnaní s výťažkami zo spracovania DTD odpadu. Z grafu je vidieť účinok prídavku aktívnych alkálií a predlžovania varnej doby na pokles výťažku pripravenej buničiny alkalickým varným postupom.

Tab.6 Podmienky a výsledky alkalických laboratórnych várok OSB dezintegrovaného dreveného odpadu.

Várka č.	A5/10	A5/11	A5/12	A5/13	A5/14	A5/15	A5/16	A5/17	A5/18
Vzorka	OSB	OSB	OSB	OSB	OSB	OSB	OSB	OSB	OSB
Výhrev zo 100°C na 170°C	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Doba várky pri 170°C	0	10	20	20	40	60	20	40	60
Zanáška A.A., % Na ₂ O	10	10	10	16	16	16	20	20	20
Výťažok, %	74,8	74,0	70,1	63,6	62,0	59,1	53,4	52,3	49,6
Obsah neprevarov,%	8,1	7,5	6,9	5,1	4,8	2,8	0	0	0
Zvyškový lignín, %	14,5	14,3	13,8	8,1	6,5	4,7	6,0	5,6	4,0
pH	7,9	7,8	7,8	8,1	8,1	7,9	8,1	8,2	17,1
Zvyškový NaOH, g/l	5,6	2,4	1,2	15,9	15,8	15,0	20,0	18,0	15,3
Plošná hmotnosť, g/m ²	127	127	127	127	127	127	127	127	127
Hrúbka, µm	242	240	228	220	220	219	215	215	214
Objemová hmotnosť, g/cm ³	0,56	0,55	0,55	0,54	0,56	0,51	0,51	0,52	0,50
Tržné zaťaženie, kN/m	3,20	3,20	3,60	6,83	6,9	6,9	6,65	6,51	6,5
Index pretrhnut., N.m/g	25,5	25,4	27,5	50,2	51,3	50,8	49,9	49,1	39,3
Tržná dĺžka, km	3,3	3,28	3,55	6,5	6,5	6,4	6,4	6,3	5,2
Index prietlaku, kPam ² /g	0,9	1,0	1,1	2,69	2,7	2,63	2,66	2,63	2,58
CMT30, N	120	126	131	220	217	216	201	198	198
SCT, kN/m	1,3	1,3	1,4	2,2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9
Gurley, s	2,9	3,2	3,5	20	20	22	28	31	39

Z pohľadu použitia pripravených polobuničín resp. buničín, alkalickým postupom delignifikácie, sú dôležité ich pevnostné parametre a ich porovnanie. Z výsledkov je zjavné, že najlepšie pevnostné parametre sa dosiahli u buničín, pripravených so zanáškou 16 % A.A. z DTD aj OSB dezintegrovaného odpadu. Keďže zámerom chemického spracovania DTD a OSB odpadu bolo pripraviť polobuničinu vhodnú na výrobu flutingu resp. linerov, zamerali sme sa pri hodnotení a porovnávaní pevnostných parametrov, hlavne na hodnoty indexu v prietlaku, CMT30 a SCT. Z pohľadu hodnotenia týchto parametrov sa javí 10% - ná zanáška A.A. ako nedostačujúca.



Obr.8 Porovnanie výťažkov polobuničiny resp. buničiny pripravenej z DTD a OSB dezintegrovaného odpadu.

Z vyhodnotenia dosahovaných parametrov vyplýva, že za rovnakých varných podmienok alkalickej várky, pri zanáške 16 % A.A. sa dosiahli, dá sa povedať, rovnaké pevnostné parametre buničiny pripravenej z DTD aj z OSB, s tým rozdielom, že výťažok buničiny z OSB dezintegrovaného odpadu bol o 2,3 až 3,6 % vyšší.

Záver

Pri chemickom spracovaní odpadu z DTD a OSB boli použité dva spôsoby delignifikácie a to mierne alkalický bezsírny postup, ktorého hlavnými zložkami varného roztoku boli NaOH a Na₂CO₃ v pomere 1 : 4 a alkalický postup so samotným NaOH. K chemickému spracovaniu boli použité triesky z odpadových DTD a OSB dosiek o veľkosti nad 2mm pripravené podľa technológie popísanej v etape 1. Z laboratórnych skúšok sa zistilo, že:

- Z pohľadu výroby polobuničiny **mierne alkalickou bezsírnu technológiou** a jej spracovania na fluting resp. liner, sa javí ako výhodnejšia dezintegrovaná odpadová surovina z OSB ako z DTD, ktorej varením sa dosahujú pevnostné parametre ako

CMT30, SCT a index v prietlaku, len pre malo kvalitnu polobuničinu vhodnú len pre Light weight medium fluting

- Už 40% – ný prídavok OCC k vzorkám A4/6 a A4/12, ktoré boli pripravené mierne alkalickou bezsírnu technológiou z DTD aj OSB dezintegrovaných vzoriek odpadu, prispel k nárastu pevnostných parametrov tak, že by tieto polobuničiny boli vhodné na výrobu „Recycled fluting medium“, resp. „Brown Testlinerov 4“. Index v prietlaku vzrástol z 0,8 resp. 0,9 KPam2/g na 1,45 a 1,5 KPam2/g; CMT30 vzrástlo zo 104 resp. 114 N na 179 a 181 N; hodnota SCT stúpala z 1,2 a 1,3 kN/m na 1,8 kN/m.
- Z výsledkov **alkalickej delignifikácie** DTD a OSB dezintegrovaného dreveného odpadu vyplynulo, že najlepšie pevnostné parametre sa dosiahli u buničín, pripravených so zanáškou 16 % A.A. z DTD aj OSB dezintegrovaného odpadu.
- Pri alkalickej delignifikácii so zanáškou 10 % A.A. a pri najdlhšej dobe várky DTD aj OSB dezintegrovaného odpadu, sa dosiahli také hodnoty indexu prietlaku, CMT30 a SCT, ktoré zodpovedali parametrom vhodným len pre výrobu maximálne „Brown Testlinerov 4“ t.j. linerov s najnižšími pevnostnými parametrami, vyrábaných zo zberového papiera. - 20 % - ná zanáška A.A. pri alkalickej delignifikácii znamenala už výrazný pokles výťažku buničiny s pevnostnými parametrami ako pri zanáške 16% A.A.
- Z pohľadu využitia polobuničiny resp. buničiny na fluting alebo lineri, najlepšie výsledky sa dosiahli pri alkalickej delignifikácii DTD a OSB dezintegrovaného odpadu so zanáškou 16 % A.A. Už pri celkovej varnej dobe 80 min. sa dosiahli také pevnostné parametre buničiny z DTD aj OSB dezintegrovaného odpadu, ktoré sa vyrovnali parametrom polobuničiny pre výrobu „**Semi Chemical Flutingov 2**“ a aj pre výrobu „**Brown Testlinerov 2**“. Pedĺžovanie varnej doby pri zanáške 16 % A.A. už neprinieslo ďalší nárast pevnostných parametrov, naopak znamenalo nežiadúci výrazný pokles výťažku buničiny.

„Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-14-0243“.

Literatúra

1. Lubke, H., Ihnat, V., Boruvka, V., Russ, A., 2018: Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards. Part II: Preparation and characterization of wood fibers in term of their reuse. Wood Research. 63(3):431-442.
2. Ihnat, V., Lubke, H., Boruvka, V., Russ, A., 2017: Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards. Part I: Preparation and characterization of wood chips in term of their reuse. Wood Research. 62(1). Pp.45-56.

3. Balbercak, J., Ihnat, V., Bohacek, S., Medo, P., Lubke, H., 2017: Chemical processing of waste wood based agglomerates. Part I: Evaluation of properties of fluting liners made of semichemical pulp obtained by a mildly alkaline sulphur-free cooking process. *Wood Research* 62(5): 715-726.
4. Balbercak, J., Ihnat, V., Bohacek, S., Medo, P., Lubke, H. 2018: Chemical processing of waste wood based agglomerates. Part II: Evaluation of properties of fluting liners made of semichemical pulp obtained by alkaline cooking process. *Wood Research* 63(1):35-44.
5. Balberčák, J., Ihnat, V., Pažitný, A., Lübke, H., Boháček, Š., Opálená, E., Medo, P., 2017: Využitie polochemickej buničiny z drevných odpadových aglomerovaných materiálov na výrobu flutingu. Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s., Bratislava. VS: 3259-2017. 28 s.
6. Ihnat, V., Medo, P., Lübke, H., 2017: Integrácia výroby nízko pevnostných flutingov z odpadových aglomerovaných materiálov a jej analýza pomocou optimalizačných softvérov. Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s., Bratislava. VS: 3261-2017. 12 s.

Optimalizácia postupov opätovného zhodnocovania drevených výrobkov po skončení doby ich používania vzhľadom k ich chemickej záťaži

Alois Vojta*, Dávid Havlín, Vladimír Ihnát, Andrej Pažitný

Slovenský drevársky výskumný ústav

vojta.sdvu@vupc.sk

Abstrakt

Zatriedovanie odpadových materiálov na báze dreva sa uskutočňuje na základe Vyhlášky č. 365/2015 Z. z. Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov. Toto triedenie však len rámcovo zohľadňuje chemickú záťaž v dreve. Predkladaný článok predstavuje Nariadenie spolkovvej vlády o požiadavkách na zhodnocovanie a likvidáciu dreva po skončení doby jeho používania, ktoré klasifikuje odpadové drevo do piatich skupín a popisuje možné spôsoby separovaného zberu aj pre túto komoditu, ktorá na Slovensku zatiaľ nebola oficiálne zatriedená medzi zberné komodity. V závere článku je predstavený navrhovaný model optimalizácie procesov separovaného zberu výrobkov z dreva po skončení doby ich používania.

Kľúčové slová: Drevený výrobok po skončení doby používania, opätovné zhodnotenie, recyklácia, kontaminácia dreva, zber odpadového dreva.

Úvod

Výrobok z dreva po skončení doby používania môže byť opätovne zhodnotený nasledovne:

- **Opakovaným predajom** (second hand) alebo darovaním do sociálnej siete (charita)
- **Renováciou**, prípadne aj jeho opravou a ďalším využívaním pôvodným majiteľom a/alebo nasledovným aj opakovaným predaj (second hand)
- **Spracovaním na iný nový výrobok** s novou úžitkovou hodnotou a nasledovným predajom ako nového výrobku (materiálová recyklácia a pod.)

V prípade, že drevený výrobok po skončení doby používania nie je spôsobilý pre žiaden z uvedených spôsobov, je možné ho spracovať:

- **Energeticky** (spôsob závisí od miery kontaminácie chemickými látkami)
- Solidifikáciou (chemicky kontaminované drevené výrobky nebezpečnými alebo karcinogénnymi látkami)
- **Uložením na skládke tuhého komunálneho odpadu** (druh skládky podľa miery kontaminácie) len v tých prípadoch a u tých komodít, u ktorých v súčasnej dobe a pri súčasnej úrovni poznania nie je k dispozícii nijaká iná vhodná technológia ich

opätovného zhodnotenia alebo nie je dostatočná kapacita na ich využitie energetické alebo solidifikáciou. Tento spôsob likvidácie drevených výrobkov je treba pokladať za zanikajúci a už len dočasný.

1. Kategorizácia drevených výrobkov po skončení doby ich používania podľa miery ich kontaminácie chemickými látkami

Dôležitým predpokladom pre úspešné zhodnocovanie drevených výrobkov po skončení doby ich používania je ich kategorizácia podľa miery ich kontaminácie chemickými látkami a nasledovné stanovenie v reálnom čase vhodných, environmentálne bezrizikových technologických postupov ich využitia.

Na Slovensku neexistuje nijaký normatívny podklad pre triedenie drevených výrobkov po skončení doby ich používania podľa miery výskytu a druhu prípadnej chemickej záťaže na ich povrchoch alebo v celom priereze hmoty. V rámci Európskej únie je v súčasnej dobe platná a účinná zatiaľ len jedna záväzná právna technická norma, ktorá rieši túto zásadnú problematiku. Je to v Nemecku platné Nariadenie spolkovej vlády o požiadavkách na zhodnocovanie a likvidáciu dreva po skončení doby jeho používania, v nemeckom originály „Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz“ Altholzverordnung – AltholzV, z 15. augusta 2002, BGBl. I S. 3302, v znení z 20. októbra 2006, BGBl. I, Nr. 48, s. 298. Toto vládne nariadenie kategorizuje drevené výrobky po skončení doby ich používania podľa druhu a formulácie ich chemickej záťaže do piatich kategórií nasledovne:

A I - drevo po skončení doby používania bez povrchových úprav, iba mechanicky opracované, ktoré bolo počas používania len nevýznamne znečistené chemicky neškodnými látkami /špinou - napr. prírodné masívne drevo

A II - drevo po skončení doby používania lepené, morené, vrstvené, lakované alebo obdobne opracované bez halogenorganických pojidiel a vrstiev v lepených špárach a spojoch a bez ochranných napúšťadiel / impregnácie - napr. vnútorné dvere

A III - drevo po skončení doby používania s halogenorganickými pojidlami v lepených spojoch a vrstvách ale bez ochranných napúšťadiel / impregnácie/ - napr. nábytok s laminovanými povrchmi /

A IV - drevo po skončení doby používania ošetrené ochrannými napúšťadlami /impregnáciou / - napr. staré okná, impregnované stavebné drevo a stavebné konštrukčné prvky, drevené výrobky používané v exteriéroch: prvky záhradnej architektúry, železničné podvaly, viničné koly, telefónne a elektrické drevené stĺpy a všetko drevo, ktoré pre rozsah a druh svojho chemického zaťaženia nie je možné zaradiť do kategórií A I, A II a A III s výnimkou dreva s obsahom polychlorovaných bifenyllov / terfenyllov

PCB drevo - drevo po skončení doby používania opatrené vrstvami a/alebo povrchovou úpravou polychlorovanými bifenylmi / terfenylmi, ktoré obsahuje viac ako 50 mg PCB/PCT na 1 kg dreva, napr. PCB ochranou opatrené protihlukové steny, ktoré je možné zhodnotiť výhradne termicky za vysokých teplôt na osobitne pre tento účel certifikovaných spaľovacích

zariadeniach (napr. cementárne, kde teplota pri výrobe cementu dosahuje 1300 oC – 1500 oC). Pre zhodnocovanie tejto komodity je záväzná Smernica Rady ES č. 1991/689/EHS z 12.decembra 1991 o nebezpečných odpadoch.

Výrobkami z dreva po skončení doby používania sa v zmysle tohto nariadenia rozumejú všetky drevené výrobky, v ktorých podiel dreva alebo materiálov na báze drevných vlákien je vyšší ako 50 % hmotnostných.

Prílohou III tohto spolkového vládneho nariadenia je Tabuľka kategorizácie drevených výrobkov po skončení doby ich používania podľa chemickej záťaže a priradenia v súčasnej dobe existujúcich druhov výrobkov po skončení doby ich používania k jednotlivým tovarovým skupinám nariadenia a číslam skupín Katalógu odpadov EÚ, ktoré sú identické s číslami skupín slovenského Katalógu odpadov.

Tab.1 Tabuľka kategorizácie drevených výrobkov po skončení doby ich používania podľa chemickej záťaže podľa Katalógu odpadov EÚ (identické s katalógom odpadov SR) a nemeckého Altholzverordnung.

Skupiny drevených výrobkov po skončení doby ich používania Kategória podľa nemeckého nariadenia Altholzverordnung / Číslo skupiny podľa katalógu odpadov SR	
Odpady z drevoz výroby A I	Odrezký, piliny, hobliny, kôra z masívneho dreva 03 01 05
A II	Odrezký, piliny, hobliny z aglomerovaných drevených materiálov a povrchovo upravených drevených dielcov 03 01 05
Obaly z dreva A I	Palety z masívneho dreva 15 01 03
A II	Palety z aglomerovaných drevených materiálov 15 01 03
A III	Ostatné drevené palety s chemickou záťažou 15 01 03
A I	Drevené debne a prepravky z masívneho dreva 15 01 03
A II	Debne a prepravky z drevených aglomerovaných materiálov 15 01 03
A I	Prepravky na ovocie, zeleninu a ozdobné rastliny z masívneho dreva 15 01 03
A IV	Drevené obaly /debne/ na muníciu 15 01 10
A I	Káblové bubny z masívneho dreva 15 01 03
Drevo zo stavieb Zariadenia stavenísk A I	Pomocné drevené konštrukcie pre stavby z masívneho dreva bez povrchovej úpravy
A II	Pomocné drevené konštrukcie z aglomerovaných drevených materiálov alebo povrchovo upraveného masívneho dreva (bez škodlivého znečistenia) 17 02 01
	Drevené vnútorné obklady, podlahy,

Demolácie stavebných objektov	stropy, podhl'ady, schodištia, vnútorné dvere a zárubne, krycie a ozdobné lišty vnútorné stĺpy a drevené konštrukcie /bez škodlivého znečistenia/
A II	17 02 01
PCB	Drevené tepelne- a zvukovo izolačné dosky s povrchovou úpravou alebo inkorporáciou PCB
	17 06 03
A II	Drevotrieskové dosky stavebné
	17 02 01
A IV	Drevené prvky nosných konštrukcií
	17 02 04
A IV	Drevené krovy a strešné dosky
	17 02 04
	Drevené okná, drevené okenice,
	drevené dvere vonkajšie
A IV	17 02 04
	Impregnované stavebné drevo z exteriéru
A IV	17 02 04
	Stavebné a demolačné drevo so škodlivým znečistením
A IV	17 02 04
Impregnované drevené výrobky pre exteriéri	
A IV	Drevené železničné podvaly
	17 02 04
	Drevené elektrické, telefónne a chmeľové stĺpy
A IV	17 02 04
A IV	Drevené výrobky záhradnej architektúry, pre poľnohospodárstvo, impregnovaný záhradný nábytok
	17 02 04
Nábytok	Nábytok z masívneho dreva bez povrchovej úpravy
A I	
	Drevený nábytok z aglomerovaných materiálov bez obsahu halogenorganických látok
A II	20 01 38
	Drevený nábytok z aglomerovaných materiálov s obsahom halogenorganických látok
A III	20 01 38
Drevené výrobky z komunálneho odpadu	
A III	20 03 07
Drevo z priemyselných objektov (napr. priemyselné podlahy, chladiace veže)	
A IV	17 02 04
Drevo z vodných stavieb	
A IV	17 02 04
Drevo z lodných vrakov a vagónov	
A IV	17 02 04
Drevo z havarovaných stavieb (napr. drevo po požiaroch stavby)	
A IV	17 02 04
Jemná frakcia z opracovania	drevených výrobkov po skončení doby ich užívania
A IV	19 12 06

V tejto kategorizácii nie sú zahrnuté drevené športové potreby po skončení doby ich používania. Vzhľadom k ich materiálovej a konštrukčnej povahe je možné ich priradiť ku skupine „Nábytok“.

2. Spôsoby separovaného zberu dreveného odpadu

Separovaný zber dreveného odpadu rozlišujeme podľa spôsobu rozmiestnenia zberných nádob alebo kontajnerov, v ktorých sa odpad zhromažďuje. Ide hlavne o rozlíšenie vzdialeností zberných miest od miesta jeho vzniku (bydlísk občanov, sídiel výrobných firiem a pod.). Rozhodnutie, ktorý spôsob je efektívnejší, závisí na typu zástavby, rozmerov častí separovaného odpadu a na výške finančných prostriedkov, ktoré môžu obce do fungovania separovaného zberu dreveného odpadu investovať. Zo skúseností vyplýva, že najúčinnjším spôsobom, ako získavať zhodnotiteľný drevený odpad od obyvateľstva, je bezúplatný separovaný zber do kontajnerov a jeho prípadné dotriedenie na triediacich technologických uzloch v zberných/recyklačných dvoroch.

Donáškový zber dreveného odpadu

Spočíva v rozmiestnení tzv. kontajnerových hniezd, v ktorých sú umiestnené nádoby na separovaný drevený odpad. Vzhľadom k tomu, že donáškový zber je pre občanov menej pohodlný, musia byť kontajnerové hniezda umiestňované na frekventovaných miestach a to v bezprostrednej blízkosti staníc MHD, obchodných centier, škôl, zdravotných stredísk a pod., prístupné pre automobily. Donášková vzdialenosť by mala byť od 50 do 200 metrov, výnimkou však nebudú ani väčšie vzdialenosti a to v menších mestách a obciach. S rastúcou vzdialenosťou klesá ochota občanov separovať odpad. Ide o najviac používaný systém separovaného zberu, v prípade dreveného odpadu však bude využívaný len obmedzene pre obvykle vysokú hmotnosť a prevažujúcu nadrozmernosť tohto druhu odpadu.

Odvozový zber dreveného odpadu stacionárny

Tento spôsob separovaného zberu drevených odpadov je vhodný najmä pre zber veľkorozmerného dreveného odpadu s nižšou hmotnosťou (cca do 15 kg na jeden dielec), hlavne menších dielcov demontovaného starého nábytku, demontovaných a rozpílených drevených stavebných konštrukčných prvkov, okien, dverí, podlahových a obkladových drevených dielcov, prvkov drevenej záhradnej architektúry, drevených častí plotov a pod. Odvozový zber spočíva v rozmiestnení veľkorozmerných kontajnerov blízko malého súboru obytných budov. Účinnosť a kvalita tohto systému môže byť vysoká ale sú tu aj väčšie náklady na počiatočné investície.

Odvozový zber dreveného odpadu mobilný

Tento systém separovaného zberu dreveného odpadu nemá pevné miesta zberu a presne stanovenú dobu odvozu. Mobilný zber dreveného odpadu je založený na odvozu veľkorozmerného dreveného odpadu s vysokou hmotnosťou nad cca 15 kg (napr. nedemontovateľný nábytok) priamo z miesta jeho vzniku a nedochádza tak k jeho zhromažďovaniu na zberných miestach. Pri mobilnom zbere

sa používajú nákladné automobily (mobilné zberné dvory), ktoré sa na základe telefonickkej alebo e-mailovej objednávky pôvodcu odpadu na dispečingu zberného/recyklačného dvora dostavia k prevzatíu tohto odpadu. Variantom tohto systému je pravidelný odvozný zber veľkorozmerného dreveného odpadu, kedy realizátorská firma zverejní odvozný kalendár, v ktorom je vopred stanovený deň a hodina pravidelného odberu veľkorozmerného dreveného odpadu od občanov. V podstate je to systém obvyklého odvozového zberu tuhého zmesového komunálneho odpadu. Je predpoklad, že tento systém separovaného zberu dreveného odpadu, vzhľadom na jeho prevažujúcu nadrozmernosť a vysokú hmotnosť, bude najviac využívaný.

Prepravné vzdialenosti

Prepravná vzdialenosť je vzdialenosť medzi ťažiskom výskytu drevených odpadov a miestom ich zhodnocovania. Predpokladá sa realizovať prepravu ako jednofázovú, dvojfázovú alebo viacfázovú. Jednofázová preprava je doprava z miesta vzniku alebo zberu drevených odpadov do miesta ich zhodnotenia bez prekládky. Tento spôsob je vhodný pre krátke prepravné vzdialenosti. S rastúcou prepravnou vzdialenosťou alebo v prípadoch, že miesto zhodnotenia odpadu (napr. zberný dvor) nie je totožné s miestom jeho nasledovnej komerčnej realizácie alebo miestom jeho sekundárneho využitia, budú využívané systémy dvojfázovej alebo viacfázovej prepravy.

3. Modely optimalizácie procesov separovaného zberu výrobkov z dreva po skončení doby ich používania

Model priebehu separovaného zberu drevených výrobkov po skončení doby ich používania a ich zhodnotenia

Systémový model priebehu separovaného zberu drevených výrobkov po skončení doby ich používania a ich zhodnocovania stanovuje základný princíp fungovania systému ich separácie a zhodnocovania od občana ako zdroja týchto výrobkov až po ich spracovateľov a zhodnocovateľov a to ako interných v rámci recyklačných dvorov tak aj externých mimo tento rámec. Väzba na externých zhodnocovateľov / spracovateľov má komerčný charakter. Systém nezobrazuje privátne komerčné iniciatívy občanov priamo smerom k second hand obchodom, ktoré do tohto systému nevstupujú (ide hlavne o priamy predaj nábytku a športových potrieb a o ich bezprostredný opakovaný predaj). Priebeh separovaného zberu drevených výrobkov po skončení doby ich používania je štruktúrovaný do nasledovných modulov systému separácie a zhodnocovania:

a/ moduly interné v rámci recyklačného/zberného dvora:

- Modul dispečingu a riadenia procesov separovania a zhodnocovania
- Modul kontroly a nasledovného triedenia dodaných výrobkov
- Modul profesionálnej demontáže dodaných výrobkov
- Modul odseparovania nedrevených častí výrobkov
- Modul úprav a opráv výrobkov pre nasledovný ich second hand predaj alebo darovanie do sociálnych sietí

- Modul prípravy a kumulácie vytriedených drevených dielcov a častí pre externých zhodnocovateľov (expedičná príprava)

b/ moduly externé mimo recyklačného/zberného dvora – vstupné moduly :

- Modul občana ako zdroja drevených výrobkov (hlavný dodávateľ)
- Modul sústreďovania drevených odpadov (zberné hniezda)
- Modul dopravy separovaných drevených výrobkov do recyklačného dvora variantne priamo od občana na objednávku prepravy alebo zvoz zo zberných hniezd

c/ moduly externé mimo recyklačného/zberného dvora – výstupné moduly :

- Modul externých odoberateľov drevených výrobkov podľa ich technického charakteru a miery zhodnotenia v recyklačnom dvore: obchody second hand, organizácie sociálnych sietí, externý zhodnocovateľia
- Modul dopravy drevených výrobkov zo zberného dvora k odoberateľom.

Model zhodnocovacieho procesu nábytku po skončení doby jeho používania v zbernom/recyklačnom dvore

Tento model zobrazuje systém separovania a zhodnocovania nábytku po skončení doby jeho používania a je štruktúrovaný do nasledovných modulov systému separácie a zhodnocovania:

a/ moduly interné v rámci recyklačného/zberného dvora:

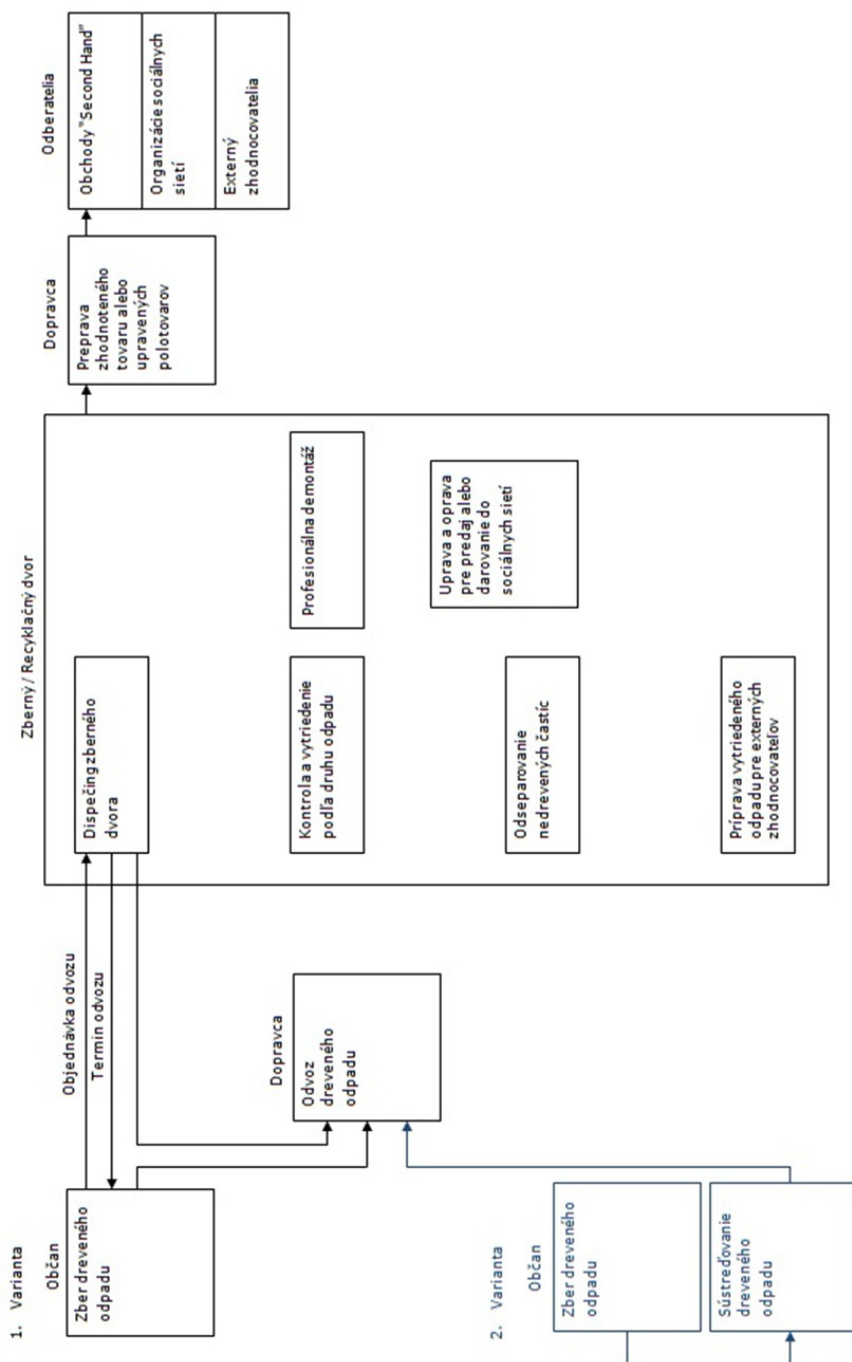
- Modul odbornej kontroly použiteľnosti nábytku a jeho zatriedenia podľa kvality
- Modul vyčistenia a prípadného preleštenia nábytku dobrej kvality a jeho prípravy na expedíciu (balenie, adjustovanie)
- Modul odbornej demontáže nábytku nevyhovujúcej kvality na dielce a odseparovania nedrevených častí (sklo, plasty, kovové súčiastky, nedrevený spojovací materiál, elektrosúčiastky)
- Modul depozitára kvalitatívne vyhovujúcich drevených dielcov pre nasledovné využitie v stolárskej výrobe na výrobu nových výrobkov
- Modul internej stolárskej dielne v rámci recyklačného dvora pre výrobu nových výrobkov
- Modul depozitára odseparovaných nedrevených častí starého nábytku pre ich externé zhodnotenie
- Modul depozitára kvalitatívne nevyhovujúcich drevených dielcov pre ich nasledovné externé zhodnotenie

b/ modul externý mimo recyklačného/zberného dvora – vstupný modul:

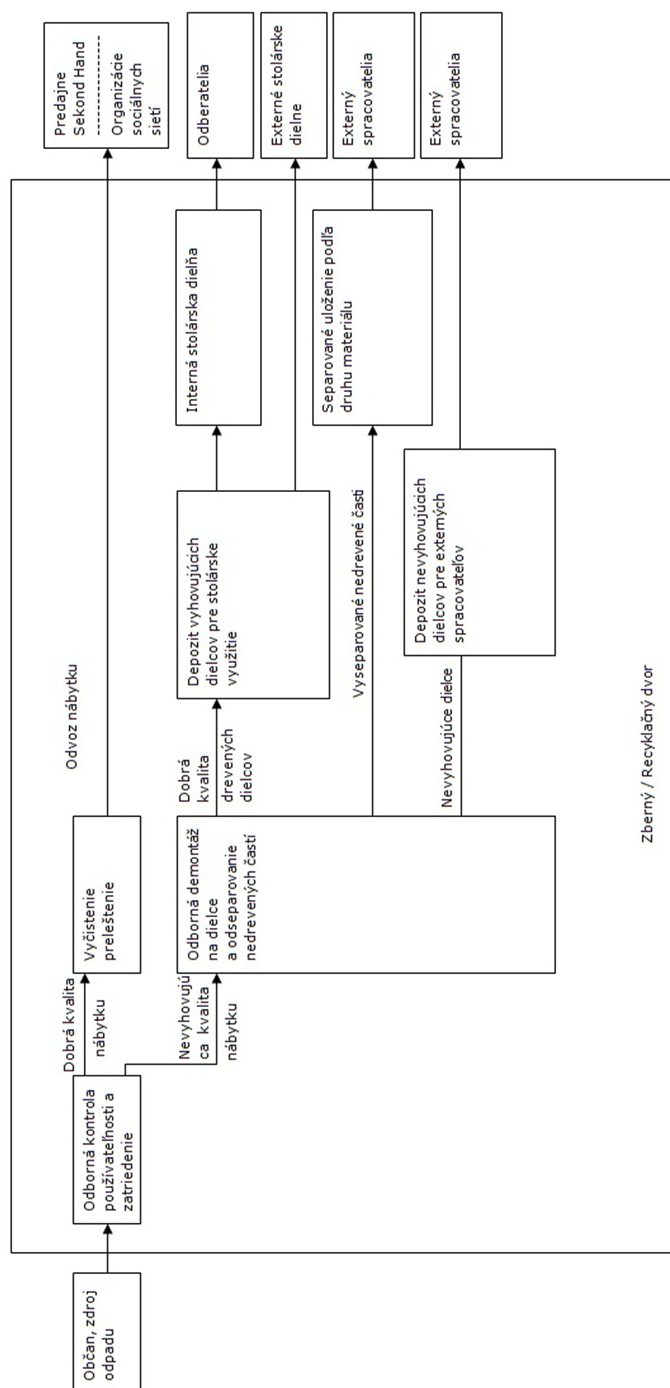
- Modul občana ako zdroja drevených výrobkov (hlavný dodávateľ)

c/ moduly externé mimo recyklačného/zberného dvora – výstupné moduly:

- Moduly externých odoberateľov drevených výrobkov podľa ich technického charakteru a miery zhodnotenia v recyklačnom dvore: obchody s nábytkom a bytovým príslušenstvom, obchody second hand, organizácie sociálnych sietí, externý zhodnocovateľia



Obr.1 Model priebehu separovaného zberu drevených výrobkov po skončení doby ich používania a ich zhodnotenia.



Obr. 2 Model zhodnocovacieho procesu nábytku po skončení doby jeho používania v zbernom/ recyklačnom dvore.

Záver

Riešenie optimalizácie postupov opätovného zhodnocovania drevených výrobkov po skončení doby ich používania vychádza z akceptovania nasledovných princípov:

- Konceptia nulového odpadu
- Výrobky z dreva po skončení doby ich používania nie sú odpadom ale výrobkami pre nasledovné materiálové alebo energetické zhodnotenie bezo zvyšku
- Výrobky z dreva po skončení doby ich používania musia byť po vstupe do recyklačného/zberného dvora triedené podľa miery a druhu ich chemickej záťaže, k čomu je potrebné doplniť legislatívu pre ich recykláciu/zhodnocovanie
- Systém separovaného zberu drevených výrobkov po skončení doby ich používania vytvára nové pracovné miesta v celorepublikovom rozsahu a to ako priamo v recyklačných dvoroch tak aj u externých ich zhodnocovateľov a to pre osoby nekvalifikované, len zapracované a pre pracovníkov s nízkou kvalifikáciou. Stolárski odborníci sú predpokladaný len na postoch riadiacich pracovníkov, kvalítarov a majstrov stolárskych prevádzok
- Vlastnou zhodnocovacou výrobnou činnosťou sa recyklačné/zberné dvory môžu stať pri potrebnej komerčnej a organizátorskej zdatnosti ekonomicky sebestačné výrobnou-organizačné jednotky bez potreby dotácií a to ako v rámci odborných firiem na likvidáciu odpadov (OLO, ASA, a pod.) tak aj ako samostatne fungujúce podniky súkromné alebo patriace obciam
- Zapojenie výskumných kapacít s cieľom dosiahnuť efektívnejšie spracovanie a využitie výrobkov z dreva po skončení doby ich používania (výskum a vývoj nových technológií zhodnocovania, vývoj nových výrobkov najmä veľkoplošných kompozitov a pod.).

„Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na Základe Zmluvy č. APVV-17-0330“.

Literatúra

1. Vyhláška č. 365/2015 Z. z. Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov.
2. Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz Altholzverordnung – AltholzV, z 15. augusta 2002, BGBl. I S. 3302, v znení z 20. októbra 2006, BGBl. I, Nr. 48, s. 298.

Parná explózia smrekového a bukového dreva. Vplyv teploty na produkciu monosacharidov a inhibítorov enzymatickej hydrolýzy.

Andrej Pažitný*, Albert Russ, Vladimír Ihnát, Štefan Boháček

Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. Bratislava

pazitny@vupc.sk

Štefan Šutý

Slovenská technická univerzita, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie

Ústav prírodných a syntetických polymérov, Oddelenie dreva, celulózy a papiera

Radlinského 9, Bratislava

Abstrakt

V tejto práci bol sledovaný vplyv teploty a faktora závažnosti pri predspracovaní smrekových a bukových častíc parnou explóziou na výťažok monosacharidov a inhibítorov enzymatickej hydrolýzy predspracovaných smrekových a bukových častíc. Cieľom bolo nájsť optimálne podmienky pre maximálny zisk monosacharidov – glukózy a xylózy, v hydrolyzátoch z bukových a smrekových častíc s veľkosťou 0,7 mm predspracovaných parnou explóziou. Uvedené drevné častice získané zo zvyškov produkovaných pri spracovaní dreva boli naparované do teplôt parnej explózie 180 °C, 200 °C a 220 °C so zdržným časom 10 minút do explózie. Výsledky ukázali, že najväčší podiel monosacharidov bol získaný v prípade bukových častíc predspracovaných pri teplote 180 °C (81,1 g.L⁻¹). Hydrolyzáty získané z enzymatickej hydrolýzy boli ďalej analyzované metódou HPLC. Je predpoklad, že vyššie teploty pri predspracovaní môžu viesť k prehriatiu biomasy, čo prispieva k rýchlej degradácii hemicelulózových sacharidov, zatiaľ čo nižšie teploty pomáhajú autohydrolýze v malej miere. To je príčinou nižších výťažkov hemicelulóz, a teda aj nižšej extrahovateľnosti hemicelulóz. Optimálne podmienky pre zisk monosacharidov má potenciálne, prípadne nepriame využitie v potravinárskom a chemickom priemysle, a takisto v transformácii drevných materiálov na biopalivá a pelety.

Kľúčové slová: Parná explózia, enzymatická hydrolýza, metóda HPLC, bukové častice, smrekové častice, biopalivá.

Úvod

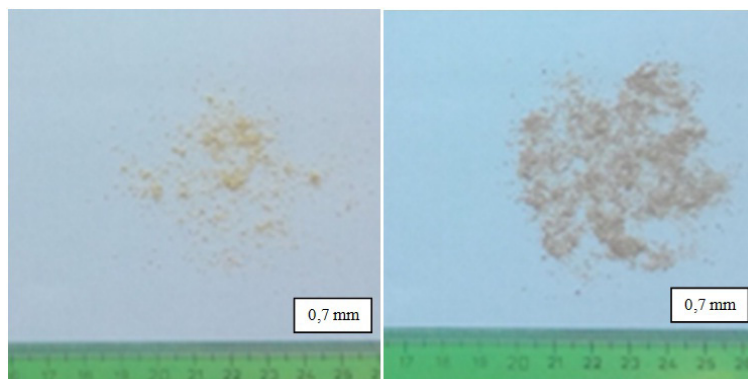
V súčasnosti sú rôzne typy drevín, ktoré možno zaradiť medzi tvrdé, ale aj mäkké drevo, veľmi žiadanou lignocelulózovou surovinou pre účely výroby 2G biopalív v moderných biorafinériách

najmä z dôvodu celoročnej dostupnosti v čerstvej forme bez vplyvu hnilobných procesov a z dôvodu ich vysokej energetickej hustoty. Keďže mäkké, ale najmä tvrdé drevo obsahuje vysoký podiel lignínu a má kompaktnejšiu štruktúru v porovnaní s poľnohospodárskymi zvyškami, je hydrolýza enzymatickými činidlami ťažšie realizovateľná (Zhu a Pan 2010). V porovnaní s mäkkým drevom, ktoré sa javí byť v predspracovanej forme prístupnejšie enzýmom (Pielhop a kol. 2016) je nutné pri predspracovaní tvrdého dreva používať agresívnejšie podmienky. V procese parnej explózie, ktorej je venovaná aj táto práca, boli dosiahnuté uspokojivé výsledky výťažkov glukózy v následných hydrolytických procesoch, ktoré možno použiť ako kontrolné procesy predspracovania metódou parnej explózie. Viacerí autori (Pažitný a kol. 2018, Brethauer a kol. 2017) vykonali v rámci štúdie hydrolyzných procesov, prípadne simultánnej sacharifikácie a fermentácie experimenty, ktoré vyžadujú vyššie teploty parnej explózie pre vyššie výťažky glukózy. Uvedené parametre procesov sú prítom vo vzájomnej korelácii. Maximálne výťažky glukózy boli dosiahnuté v prípade predspracovania buku parnou explóziou pri teplote 220 °C a zdržnom čase 5 minút. (6,63 g.L⁻¹), čo je v porovnaní s predspracovaním parnou explóziou pri teplote 180 °C takmer sedemnásobok výťažku, a tiež zdržný čas bol 15 minút (Brethauer a kol. 2017). Popri bežných drevinách boli študované aj iné typy drevnej biomasy. Autori Qin a Chen sledovali vplyv parnej explózie na mechanicky predspracované konáre figovníka obyčajného. Bola zistená znížená molekulová hmotnosť lignínu, pričom bol predpoklad, že pri vyššej teplote predspracovania sa lignín rozkladá. Tiež bol zistený vyšší špecifický povrch v prípade ročných rezkov figovníka (1,64-násobok) v porovnaní s trojročnými (1,29-násobok), pričom pôvodný špecifický povrch bol na úrovni 0,439 m².g⁻¹ (Qin a Chen 2016). Na základe uvedenej práce možno usúdiť, že výťažok glukózy enzymatickej hydrolýzy nasledujúcej po parnej explózii je potenciálne ovplyvnený aj vekom dreviny. Pre zníženie teploty parnej explózie boli vyvinuté niektoré pomocné metódy využiteľné aj v prípade tvrdého dreva. Príkladom je kombinácia parnej explózie s predspracovaním mikrovlnným žiarením, čo však nemá v priemyselnom meradle v prípade predspracovania drevnej biomasy veľké uplatnenie, hoci bola významne znížená teplota predspracovania. Napríklad v prípade kukuričného kôrovia sa teploty predspracovania parnou explóziou v kombinácii s mikrovlnným žiarením pohybujú v rozmedzí 170 °C až 210 °C a zdržný čas v rozmedzí 3 až 15 minút, pričom zníženie kryštalinity po parnej explózii s využitím mikrovlnného žiarenia potrebné pre vyššiu prístupnosť biomasy pre enzymatické činidlá je na vysokej úrovni (Pang a kol. 2013). Veľmi čerstvou prácou v oblasti parnej explózie drevných materiálov, konkrétne bukového dreva, bol článok francúzskych a indonézskeho autorov publikovaný v novembri 2018 (Simangunsong a kol. 2018). Autori diskutovali v uvedenej práci o vplyve veľkosti bukových častíc na výťažok xylánov parnej explózie, pričom dospeli k záveru, že optimálne podmienky predspracovania parnou explóziou sú pri veľkosti bukových častíc 1 mm a faktor závažnosti procesu je 3,65, čo predstavuje teplotu procesu 190 °C a zdržný čas do explózie pri tejto teplote je 10 minút.

Príprava drevných častíc smreka a buka mletím

Z dôvodu získania jemnejšej frakcie bolo použité laboratórne nožové mlecie zariadenie Brabender so spodným sitom. Na laboratórny experiment bolo použité sito s okom veľkosti

0,7 mm. Nožové mletie často v praxi nahrádza v praxi používané kladivkové mletie na získavanie drevnej múčky. Boli získané drevné častice požadovanej veľkosti (Obr. 1) a tento materiál bol ďalej spracovávaný v ďalších postupoch.



Obr. 1 Vľavo fotografia smreka a vpravo fotografia buka – vzorky boli podrobené mletiu na veľkosť 0,7 mm.

Impregnácia vzoriek mletého dreva vodou

Vzorky smreka a buka mletého na veľkosť 0,7 mm boli impregnované čerstvou vodou tak, aby konečná relatívna vlhkosť vzoriek počas parnej explózie dosahovala minimálnu úroveň 85 %. To znamená, že množstvo vody, v ktorej bola vzorka pred samotným predspracovaním máčaná, bolo kalkulované do sušiny materiálu na úrovni 15 % a.s.. Vzorky boli pred samotným predspracovaním parnou explóziou namáčané vo vode pri teplote 20 °C minimálne v trvaní 1 hodiny. Rýchle stanovenie sušiny vzoriek bolo vykonané na sušinových laboratórnych váhach Denver IR35 s infračerveným ohrevom vzoriek. Vzorky boli navažované v množstve 50 g a.s., čo platí pre všetky vzorky smreka a buka.

Parná explózia pripravených vzoriek

Vzorky smreka a buka pripravené podľa postupov popísaných v kapitolách 1.1 a 1.2 boli ďalej podrobené parnej explózii v zariadení tlakového reaktora (Amar Equipments Pvt. Ltd., India, Obr. 2) pri teplotách 180 °C, 200 °C a 220 °C. Postup prípravy na experiment prebiehal tak, že do zariadenia na parnú explóziu, ktoré bolo vyhriate na 50 °C, sa umiestnila vzorka a bola doliata voda s objemom 100 ml z dôvodu zabránenia čiastočnému zuhoľnateniu vzorky v styku so stenami a dnom tlakového reaktora. Spustilo sa vyhrievanie na nastavenú teplotu. Zvyšujúcou teplotou v tlakovej nádrži narastal tlak. Pri dosiahnutí predpísanej teploty sa prostredníctvom pneumaticky ovládaného guľového ventilu tlak z nádoby rýchlo uvoľnil cez výpustný ventil s vnútorným otvorom priemeru 10 mm, čo spôsobilo vnútornú deštrukciu vzorky a jej vymrštenie do záchytnej nádoby. Vystrelená vzorka sa uskladnila pri teplote minimálne 2 °C po dobu maximálne 72 hodín až do následnej enzymatickej hydrolýzy.



Obr. 2 Vľavo fotografia tlakového reaktora z tlakovou nádobou na plnenie vzorkami biomasy, v strede detail ovládacieho panelu reaktora, vpravo ukážka výstupu softvéru k zariadeniu.

Enzymatická hydrolýza vzoriek drevných častí

Enzymatická hydrolýza pôvodných a predúpravených drevných častí enzýmom Cellic CTec3 s dávkovaním 15 % hmotnostných (g Cellic CTec3 na 100 g celulózy) bola realizovaná pri 50 °C, pH = 5,0 v trvaní 72 hodín a pri sušine vzoriek 12,5 % hmotnostných. Hodnota pH bola upravovaná počas procesu priebežne, a to prostredníctvom 0,1 N H₂SO₄ alebo 0,1 N NaOH.

HPLC metóda pre stanovenie monosacharidov a inhibítorov

Chemické zloženie predspracovaných drevných častí bolo stanovované použitím procedúry vyvinutej na NREL (National Renewable Energy Laboratory, Sluiter a kol. 2011). Vzorky hydrolyzátorov pripravené podľa postupov popísaných v kapitolách 1.1 až 1.4 boli analyzované na obsah monosacharidov (glukóza a xylóza), pričom boli odoberané v čase 24 hodín, 48 hodín a 72 hodín. Pre účely analýzy bola použitá metóda HPLC s použitím kolóny typu Rezex ROA H+ (CHROMSERVIS, Slovenská republika). Inhibítory ako kyselina mravčia, kyselina octová, hydroxymetylfurfural a furfural boli stanovené tiež uvedenou metódou HPLC. Ako mobilná fáza bola v kolóne, a tiež v celom systéme, použitá 0,005 N H₂SO₄ s objemovým prietokom veľkosti 0,7 mL.min.⁻¹ a teplote 30 °C. Vzorky boli pred nástrekom do HPLC kolóny filtrované použitím striekačkového filtra MS s priemerom filtra 25 mm. Použitý filter bol na báze hydrofilizovaného polytetrafluóretylénu s veľkosťou pórov 0,22 µm (CHROMSERVIS, Slovenská republika).

Výsledky a diskusia

Na Obr. 3 a Obr. 4 sú graficky zaznamenané výsledné koncentračné výťažky monosacharidov po predspracovaní smrekových a bukových častí o veľkosti 0,7 mm parnou explóziou a následne hydrolyzovaných použitím metódy popísanej v kapitole 1.4 v závislosti od teploty. Porovnaním výsledkov analýzy metódou HPLC bolo zistené, že najvyššie výťažky monosacharidov sú v

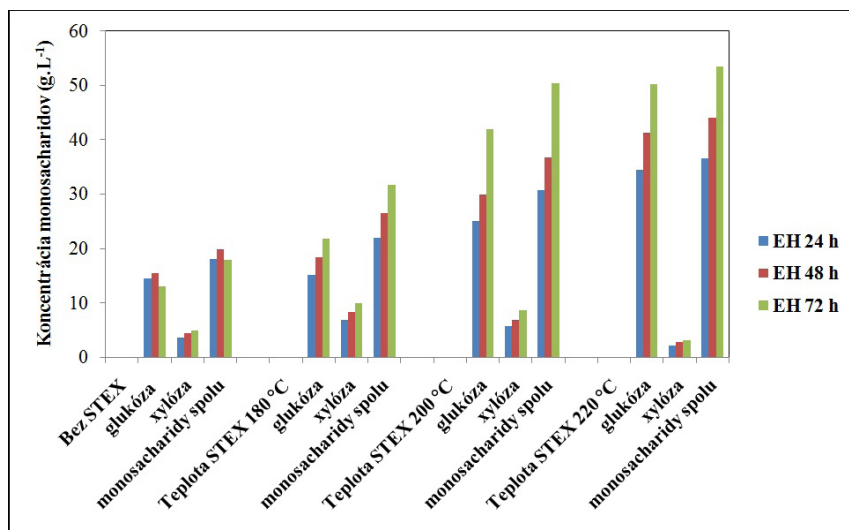
případe bukových částic hydrolyzovaných po predspracovaní pri teplote parnej explózie 180 °C (celkový podiel monosacharidov na úrovni 81,1 g.L-1). Pre výpočet faktora závažnosti procesu predspracovania slúži nasledovná rovnica v integrálnom tvare:

$$R_o = \int_0^t \exp \left[\frac{T_r - T_b}{14,75} \right] dt$$

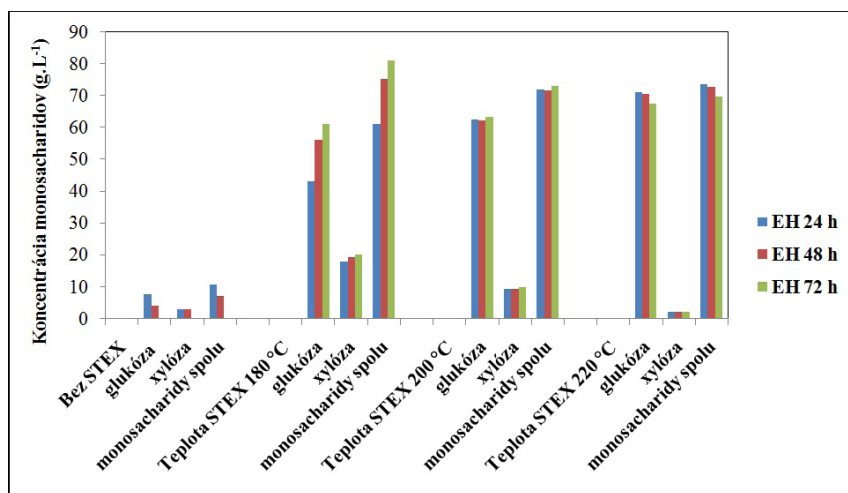
V predchádzajúcej rovnici je RO kvantifikácia reakčnej koordináty, t je zdržný čas biomasy v danej reakcii v minútach, T_r reakčná teplota, T_b základná teplota (100 °C) a konštanta s hodnotou 14,75 kJ.mol-1 je konvenčná aktivačná energia. Rovnicu pre výpočet faktora závažnosti procesu možno napísať aj v zjednodušenom tvare:

$$R_o = t \cdot \exp \left[\frac{T_r - T_b}{14,75} \right]$$

Pre nami zvolený zdržný čas 10 minút v prípade procesu predspracovania parnou explóziou pri teplote 180 °C a odlogaritmovaní má závažnosť procesu hodnotu 3,36. Hodnoty závažnosti pre ostatné procesy predspracovania parnou explóziou boli vždy vyššie RO = 3,94 (200 °C, 10 minút), resp. RO = 4,53 (220 °C, 10 minút) a rádovo korešponujú s publikovanými prácami (Simangunsong a kol. 2018, Damay a kol. 2018). Z uvedených hodnôt závažnosti procesu a z priradenia výťažkov monosacharidov zo smrekových a bukových částic k uvedeným procesom tiež vyplýva, že optimálne podmienky sa dosahujú v prípade smrekových částic pri predspracovaní parnou explóziou o teplote 220 °C, naproti tomu v prípade bukových částic ide o už zmienenú teplotu 180 °C.



Obr. 3 Závislosť výťažku monosacharidov – glukózy a xylózy od teploty predspracovania smrekových částic o veľkosti 0,7 mm parnou explóziou



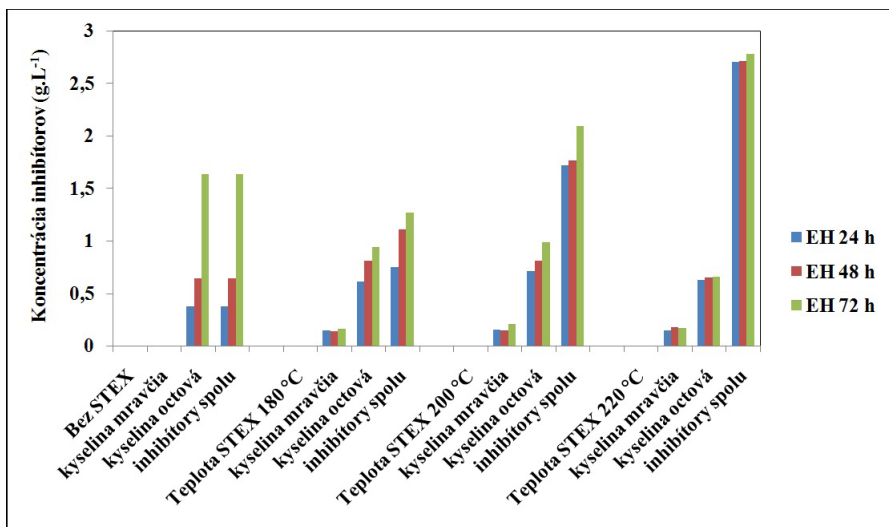
Obr. 4 Závislosť výťažku monosacharidov – glukózy a xylózy od teploty predspracovania bukových častíc o veľkosti 0,7 mm parnou explóziou

Z predchádzajúcich závislostí možno tiež vidieť rast výťažku monosacharidov už v čase 48 hodín od začiatku enzymatickej hydrolýzy. Pritom v čase 72 hodín od inicializácie procesu enzymatickej hydrolýzy je v porovnaní s časom 48 hodín nárast výťažkov monosacharidov len mierny. Hodnoty faktora závažnosti, od ktorého závisí výťažok enzymatickej hydrolýzy, keďže ide o veličinu, ktorá je funkciou teploty a zdržného času, sú pre nami vybrané teploty predspracovania parnou explóziou v rozmedzí 3,36 až 4,53 (Tab. 1). Ako vyplýva z predchádzajúcich skutočností, závislosť hodnôt faktora závažnosti od teploty je teda nelineárna – logaritmická.

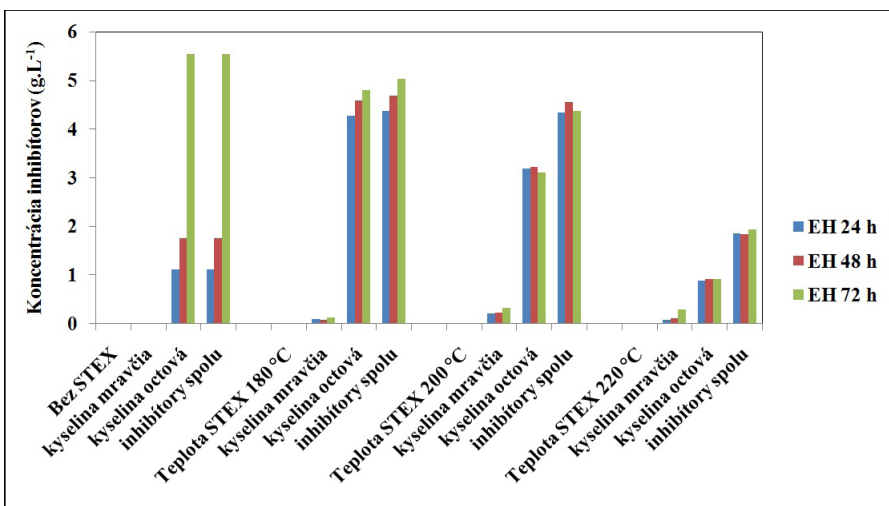
Tab. 1 Závislosť hodnoty faktora závažnosti procesu predspracovania od teploty parnej explózie pri konštantnom zdržnom čase v trvaní 10 minút.

Teplota parnej explózie (°C)	Zdržný čas (minúty)	Faktor závažnosti procesu predspracovania
180	10	3,36
200	10	3,94
220	10	4,53

Pre priemyselnú prax výroby biopalív na báze celulózy je tiež dôležité poznať podiel inhibítorov v získaných hydrolyzátoch (Obr. 5 a Obr. 6), lebo spomaľujú samotnú hydrolýzu.



Obr. 5 Závislosť koncentrácie inhibítorov od teploty predspracovania smrekových častíc o veľkosti 0,7 mm parnou explóziou.



Obr. 6 Závislosť koncentrácie inhibítorov od teploty predspracovania bukových častíc o veľkosti 0,7 mm parnou explóziou.

Z analýz stanovenia inhibítorov vyplýva, že v hydrolyzátoch sa nachádzali značné množstvá kyseliny octovej a kyseliny mravčej (Obr. 5 a Obr. 6), prípadne aj ďalších inhibítorov – hydroxymetylfurfuralu a furfuralu. S nárastom času hydrolyzy je tiež evidentný nárast podielu všetkých inhibítorov, a to v prípade enzymatickej hydrolyzy smrekových častíc predspracovaných parnou explóziou, pričom najvyšší podiel inhibítorov bol až pri teplote predspracovania 220 °C. Najvýraznejší nárast podielu inhibítorov pre uvedený prípad enzymatickej hydrolyzy je v čase 72 hodín od začiatku enzymatickej hydrolyzy, kedy vzniklo až 0,17 g.L-1 kyseliny mravčej, 0,66 g.L-1 kyseliny octovej, 1,66 g.L-1 hydroxymetylfurfuralu a 0,30 g.L-1 furfuralu. Faktor závažnosti procesu predspracovania pre tento prípad bol $RO = 4,53$ (Tab. 1), avšak pre optimálne podmienky predspracovania smrekových častíc parnou explóziou vzhľadom na najvyšší podiel inhibítorov pri teplote 220 °C je nutné zvážiť zníženie teploty predspracovania parnou explóziou na 200 °C, kedy pokles podielu monosacharidov nie je ešte výrazný, hoci vzhľadom k podielu monosacharidov (53,4 g.L-1) nami zistená optimálna teplota predspracovania bola 220 °C. Záverom možno teda konštatovať, že pri tejto teplote bol zistený najvyšší podiel monosacharidov (53,4 g.L-1), ale aj inhibítorov (2,79 g.L-1). Najnižší podiel inhibítorov bol v prípade teploty predspracovania smrekových častíc s veľkosťou 0,7 mm parnou explóziou 180 °C, avšak výťažky monosacharidov boli výrazne nižšie (31,7 g.L-1). Čo sa týka vplyvu teploty predspracovania na podiel inhibítorov v procese enzymatickej hydrolyzy predspracovaných bukových častíc s veľkosťou 0,7 mm, trend bol mierne klesajúci, a teda pri teplote predspracovania parnou explóziou 180 °C bol zistený najvyšší podiel inhibítorov (zhruba 5,0 g.L-1) a najnižší podiel inhibítorov pri teplote 220 °C, čo súhlasí s našimi opakovanými experimentmi (Pažitný a kol. 2018).

Záver

Bol zistený významný vplyv teploty a faktora závažnosti pri predspracovaní smrekových a bukových častíc s veľkosťou 0,7 mm parnou explóziou na výťažok monosacharidov a inhibítorov enzymatickej hydrolyzy uvedených predspracovaných drevných častíc. Najvyšší podiel monosacharidov z enzymatickej hydrolyzy bol zistený pri teplote predspracovania bukových častíc s veľkosťou 0,7 mm na úrovni 180 °C. V tomto prípade bola hodnota faktora závažnosti procesu na úrovni $RO = 3,36$ a podiel monosacharidov na úrovni 81,1 g.L-1. Pre enzymatickú hydrolyzu bukových častíc s veľkosťou 0,7 mm predspracovaných pri tejto teplote a pri príslušnej hodnote faktora závažnosti procesu bol však tiež zistený najvyšší podiel inhibítorov na úrovni zhruba 5,0 g.L-1. Naproti tomu, najvyšší podiel inhibítorov v prípade enzymatickej hydrolyzy predspracovaných smrekových častíc s veľkosťou 0,7 mm bol zistený pre faktor závažnosti procesu na úrovni $RO = 4,53$, teda pre teplotu 220 °C. Podiel inhibítorov bol v tomto prípade 2,79 g.L-1, a teda omnoho nižší v porovnaní s hydrolyzovanými bukovými časticami s veľkosťou 0,7 mm predtým podrobenými predspracovaniu parnou explóziou pri teplote 180 °C. Najvyšší získaný podiel monosacharidov zo smrekových častíc s veľkosťou 0,7 mm na úrovni 53,4 g.L-1 bol však výrazne nižší v porovnaní s najvyšším získaným podielom monosacharidov z bukových

častíc s veľkosťou 0,7 mm na úrovni 81,1 g.L-1. Určenie optimálnych podmienok pre zisk, resp. podiel monosacharidov má využitie v potravinárskom a chemickom priemysle, a takisto v transformácii drevných materiálov na biopalivá a pelety, preto je nutná ďalšia optimalizácia podmienok zmieňovaných procesov predspracovania, prípadne návrh optimálneho surovinového mixu vhodného pre uvedené procesy predspracovania.

POĎAKOVANIE: Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-16-0487.

Literatúra

1. Asada, C., Sasaki, C., Hirano, T., Nakamura, Y., 2015: Chemical characteristics and enzymatic saccharification of lignocellulosic biomass treated using high-temperature saturated steam: Comparison of softwood and hardwood. *Bioresource Technology* 182: 245-250, ISSN 0960-8524.
2. Brethauer, S., Shahab, R.L., Studer, M.H.-P., 2017: Enhanced simultaneous saccharification and fermentation of pretreated beech wood by in situ treatment with the white rot fungus *Irpex lacteus* in a membrane aerated biofilm reactor. *Bioresource Technology* 237: 135-138, ISSN 0960-8524.
3. Damay, J., Duret, X., Ghislain, T., Lalonde, O., Lavoie, J.-M., 2018: Steam explosion of sweet sorghum stems: Optimisation of the production of sugars by response surface methodology combined with the severity factor. *Industrial Crops and Products* 111: 482-493, ISSN 0926-6690.
4. Pang, F., Xue, S., Yu, S., Zhang, C., Li, B., Kang, Y., 2013: Effects of combination of steam explosion and microwave irradiation (SE-MI) pretreatment on enzymatic hydrolysis, sugar yields and structural properties of corn stover. *Industrial Crops and Products* 42: 402-408, ISSN 0926-6690.
5. Pažitný, A., Russ, A., Boháček, Š., Stankovská, M., Šutý, Š., Ihnát, V., 2019: Various Lignocellulosic Raw Materials Pretreatment Processes Utilizable for Increasing Holocellulose Accessibility for Hydrolytic Enzymes. Part II. Effect of Steam Explosion Temperature on Beech Enzymatic Hydrolysis. *Wood Research*, v tlači, ISSN 1336-4561.
6. Pažitný, A., Šutý, Š., Ihnát, V., 2018: nepublikované výsledky.
7. Pielhop, T., Amgarten, J., Rudolf von Rohr, P., Studer, M.H., 2016. Steam explosion pretreatment of softwood: the effect of the explosive decompression on enzymatic digestibility. *Biotechnology for Biofuels* 9(152): 1-13, ISSN 1754-6834.
8. Simangunsong, E., Ziegler-Devin, I., Chrusciel, L., Girods, P., Wistara, N.J., Brosse, N.,

- 2018: Steam Explosion of Beech Wood: Effect of the Particle Size on the Xylans Recovery. Waste and Biomass Valorization (articles not assigned to an issue): 1-9, ISSN 1877-2641.
9. Sluiter, A., Hames, B., Ruiz, R., Scarlata, C., Sluiter, J., Templeton D., Crocker, D., 2011: Technical Report NREL/TP-540-42618. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO, USA.
 10. Zhu, J.Y., Pan, X.J., 2010: Woody biomass pretreatment for cellulosic ethanol production: technology and energy consumption evaluation. Bioresource Technology 101(13): 4992-5002, ISSN 0960-8524.

Aplikácia moderného rekuperátora tepla pri výrobe papiera v spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT

Andrej Pažitný*, Štefan Boháček, Peter Medo, Jozef Balberčák
Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. Bratislava
pazitny@vupc.sk

Abstrakt

Podľa záväzne platných dokumentov Európskej únie sú cieľmi európskej energetickej politiky environmentálna udržateľnosť, energetická bezpečnosť a konkurencieschopnosť. Znižovanie energetickej náročnosti je pritom jedným z hlavných pilierov v trvalo udržateľnom rozvoji Európskej únie. Z pohľadu zákonných usmernení je zvyšovanie energetickej efektívnosti najväčším prispievateľom k plneniu všetkých troch cieľov európskej energetickej politiky. Realizácia princípov a úloh v rámci energetickej efektívnosti je v súčasnosti jednou z najdôležitejších výziev a najvyšších priorít Európskej únie. Medzi kľúčové úlohy pri zvyšovaní energetickej efektívnosti v papierenskom a drevárskom priemysle patria odvádzanie odpadového tepla a jeho opätovné využívanie, teda rekuperácia tepla. Pri rekuperácii tepla sa monitoruje najmä účinnosť rekuperácie tepla a jej postupné a technicky možné zvyšovanie, čo bolo cieľom projektu podporeného Agentúrou na podporu výskumu a vývoja. Projekt dosiahol svoje ciele vďaka rekuperátoru tepla navrhnutému a vyrobenému na našom pracovisku, pričom jeho účinnosť v prevádzkových podmienkach spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT, teda prevádzková rekuperácia, sa postupne viac priblížila k úrovni 100 %, pričom bolo nutné odčerpávať vznikajúci kondenzát z rekuperačného systému, čo sme dosiahli nami navrhovaným vynálezom.

Kľúčové slová: Prevádzková rekuperácia, prestup tepla, výmenník tepla, energetická efektívnosť, papierenský priemysel.

Úvod

Súčasný papierenský podnik má vysokú spotrebu tepla pri prevádzkovej výrobe papiera v rámci sušiacich procesov, pričom dochádza k priebežnému sušeniu vyrábaného papiera – papieroviny, a napokon k dokončovaciemu sušeniu vyrobeného papiera. Jedným z efektívnych riešení s ohľadom na environmentálnu udržateľnosť je zavádzanie nových technológií typu BAT, ktoré prispievajú k ušetreniu tepelnej energie v papierenských podnikoch. Jedným zo smerodajných dôvodov zavádzania rekuperácie tepla je aj znižovanie spotreby fosílnych palív, a tým znižovanie uhlíkovej stopy v životnom prostredí. Medzi najdôležitejšie kroky k znižovaniu energetickej náročnosti patrí aj rekuperácia tepla, teda opätovné využívanie odpadového tepla, ktoré vzniká

vo veľkokapacitných zariadeniach papierenských podnikov produkujúcich tepelnú energiu pri prevádzkovej výrobe papiera. V prípade papierenských strojov ide o sušiacu časť, kde vzniká najväčšie odpadové teplo pri nulovej alebo málo efektívnej rekuperácii, čo je prípad značnej časti papierenských podnikov aj u nás v Slovenskej republike. Cieľom ukončenej štátnej úlohy bolo zvyšovanie účinnosti rekuperácie tepla pri poloprevádzkovej a prevádzkovej výrobe papiera aplikáciou nového špirálového rekuperačného výmenníka tepla, pričom bol sledovaný vplyv vstupných a výstupných veličín na podmienky prestupu tepla a vplyv na účinnosť rekuperácie. V tom boli zahrnuté optimalizácie parametrov procesu rekuperácie tepla, resp. prestupu tepla, ktoré možno dosiahnuť zmenou regulácie rýchlosti prúdenia vzduchu v rekuperačnom systéme, pričom boli zohľadnené výsledky poloprevádzkových, a takisto aj prevádzkových meraní pre jednotlivé regulačné stupne (Pažitný a kol. 2014, Pažitný a kol. 2015). Uvedenými postupmi bola dosiahnutá finálna účinnosť rekuperácie tepla v prevádzke spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT blízka 100 %, čím boli vo veľkej miere znížené tepelné straty papierenského stroja pri prevádzkovej výrobe papiera. Bežné papierenské podniky dosahujú maximálne hodnoty účinnosti rekuperácie tepla v rozmedzí od 50 % do 60 % vo forme nízkopotenciálového tepla, čo znamená tvorbu značnej tepelnej rezervy pri použití nami navrhovaného moderného rekuperátora tepla. Pri výrobe papiera vzniká tiež obrovské množstvo vodnej pary, ktorá vo veľkej miere vstupuje do rekuperačného systému a následne značná časť produkovanej vodnej pary v tomto systéme kondenzuje. Bez súčasného odčerpávania kondenzátu z rekuperačného systému by bolo nutné pristúpiť k odstávke rekuperačného systému. Navyše z dôvodu zníženia objemovej kapacity prúdiaceho ohriateho vlhkého vzduchu tiež nemožno očakávať vysoký stupeň teoretickej účinnosti rekuperačného zariadenia. Odčerpávaním kondenzátu tiež možno predĺžiť životnosť rekuperačného systému a aj iných pridružených zariadení, teda samotnej jednotky pre rekuperáciu tepla (Pažitný a kol. 2017). Technicky možné príklady uskutočnenia vynálezu vyvinutého v laboratóriách a v poloprevádzke spoločnosti VÚPC, a.s. BRATISLAVA, resp. odskúšaných v prevádzke spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT a riešenia možných zapojení systému potrubí pre účely rekuperácie tepla počas výroby v reálnom čase, prípadne zapojení U-trubice pre účely odvádzania kondenzátu sú uvedené v patentovej prihláške patentu na vynález (Pažitný a kol. 2016). Uvedený vynález má pritom využitie nielen v oblasti celulózo-papierenského priemyslu, ale taktiež v oblasti chemického priemyslu a v oblasti energetiky, a to najmä v procesoch, kde je pri vzniku vodnej pary potrebné odčerpávať kondenzát vytvorený vynúteným skvapalnením vodnej pary pri nižších teplotách.

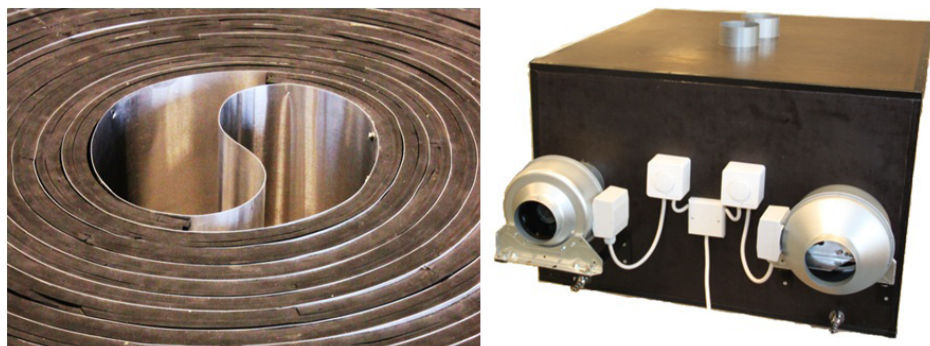
Súčasný stav problematiky rekuperácie tepla a odvádzania kondenzátu

Z pohľadu odbornej a patentovej literatúry existuje veľké množstvo poznatkov v oblasti rekuperácie tepla, resp. prestupu tepla a tiež v oblasti odvádzania kondenzátu z rekuperačného systému. Trendmi v oblasti rekuperácie a prestupu tepla sme sa zaoberali v predchádzajúcich publikáciách (Pažitný a kol. 2013; Pažitný a kol. 2014), pričom bol v ostatných dvoch dekádoch pozorovaný evidentný nárast počtu publikácií v tejto oblasti v známej vedeckej databáze www.sciencedirect.com ako aj v iných vedeckých databázach odborných časopisov (www.scopus.com, www.springer.com). Najvyšší nárast záujmu o problematiku rekuperácie, resp. prestupu tepla (474 %) bol zaznamenaný v prípade databázy Európskeho patentového úradu (www.epo.org). Súčasne teda ide o nárast záujmu o úsporné patentované technológie prestupu tepla a

rekuperácie tepla, ktorý v značnej miere vplýva na stav čerpania fosílnych palív používaných pri výrobe tepelnej energie v papierenskom priemysle, ako aj v iných priemyselných odvetviach s analogickou spotrebou tepla. Potenciálnym užívateľom rekuperácie tepla je aj drevársky priemysel pri výrobe aglomerovaných materiálov (DVD, DTD a OSB). Napríklad je známa výroba drevných dosiek, kde sa využívajú značne vysoké teploty počas výrobného procesu. V procese výroby dosky sa podľa patentovanej technológie dosahuje teplota v prvom stupni 210 °C a v druhom stupni sa využíva teplotné rozmedzie od 230 °C do 270 °C, čím sa zvyšuje pevnosť materiálovej dosky a doska má menšie sklony k napúčaniu (von Haas a Melzer 2008). Pri takýchto vysokých teplotách možno využiť poznatky o prestupe a rekuperácii tepla a znížiť tak environmentálne dopady papierenského a drevárskeho priemyslu. Príslušné kroky vychádzajúce z bázy uvedených poznatkov by potom mali viesť k nižšej spotrebe fosílnych palív, prípadne elektrickej energie v energeticky náročných procesoch výroby papierenských a drevárskych produktov. V prípade odvádzania kondenzátu z rekuperačných jednotiek bolo zistených v už uvedenej vedeckej databáze www.sciencedirect.com až vyše 5300 relevantných odkazov, pričom trend záujmu o túto oblasť je viac-menej rastúci. Z uvedených publikácií sa však veľmi veľa týka napr. integrácie zachytávania kondenzátu z rekuperácie tepla v budovách z dôvodu ich energetickej účinnosti (Algarni a kol. 2018; Bujak a kol. 2015), prípadne sú publikácie z pohľadu papierenského, prípadne drevárskeho priemyslu všeobecné a pre priemysel majú najmä informatívny charakter (Jouhara a kol. 2018; Sathitbunanana a Ritthong 2017).

Moderný rekuperátor tepla s integrovanou U-trubicou na odvádzanie kondenzátu

V laboratóriách Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s. Bratislava bol navrhnutý, skonštruovaný a následne testovaný prototyp moderného špirálového rekuperátora (Obr. 1). Bol sledovaný najmä jeho hlavný parameter – účinnosť rekuperácie tepla. Technologický opis postupu výroby a niektoré základné vlastnosti nášho prototypu boli publikované už v roku 2013 v časopise *Energetika* (Pažitný a kol. 2013). Bola optimalizovaná veľkosť prietoku závislého od rýchlosti prúdenia vzduchu v potrubí rekuperačného systému. Veľkosť prietoku závisela v prvom rade od nastavenia frekvencie otáčania ventilátorov v potrubných systémoch spojených s rekuperátorom.



Obr. 1 Vľavo pohľad na vnútornú špirálu prototypu špirálového rekuperátora VÚPC, a.s. Bratislava a vpravo pohľad na vonkajšie čelo prototypu rekuperátora.

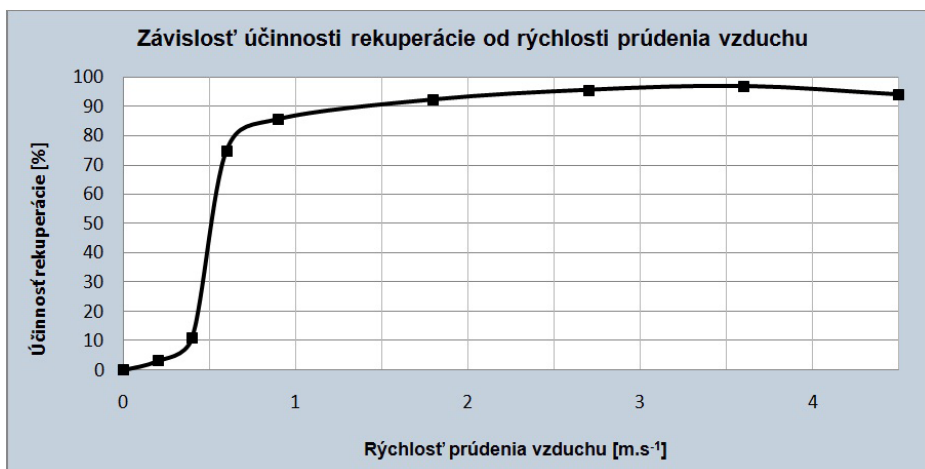
Je známe, že pomery, pri ktorých dochádza ku kvalitatívnym zmenám rýchlostného profilu, ktorý závisí od hydraulického odporu, a tým aj od zmeny hodnoty koeficientu prestupu tepla prúdením, sa menia pri prechode z laminárneho typu prúdenia vzduchu do turbulentného typu prúdenia vzduchu. Zmeny pri uvedenom prechode sú dané kritickou rýchlosťou (Pažitný a kol. 2014). Rozhranie, kedy nastáva prechod laminárneho prúdenia vzduchu k turbulentnému, je definované Reynoldsovým číslom (Afzal a kol. 2013), ktoré možno vyjadriť vzťahom:

$$\dot{V} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 v$$

kde v je stredná rýchlosť prúdenia vzduchu, d je priemer potrubia s kruhovým prierezom a ν je kinematická viskozita prúdiaceho vzduchu. Pre prúdenie v kruhovom potrubí je kritická hodnota Reynoldsového čísla $Re_{krit} = 2320$. Ak hodnota aktuálneho Reynoldsového čísla klesne pod hodnotu 2320, ide o laminárne prúdenie a ak dosiahne aktuálne Reynoldsovo číslo hodnotu vyššiu než 3450, pôjde už o turbulentné prúdenie. Hodnoty rýchlosti prúdenia vzduchu možno merať anemometrom. Výsledky a ďalšie využitie meraní rýchlosti prúdenia vzduchu boli diskutované v nami publikovanej práci (Pažitný a kol. 2014). Po optimálnom nastavení rýchlosti prúdenia vzduchu počas dlhšej prevádzkovej doby výroby papiera je nutné podniknúť ďalšie kroky z dôvodu odstraňovania kondenzátu, pričom vyhodnotením všetkých možných technických riešení pre odvádzanie kondenzátu sme dospeli k záveru, že najlepším riešením je samočinné odvádzanie kondenzátu z rekuperátora prostredníctvom U-trubice (Pažitný a kol. 2016).

Výsledky a diskusia

Ako bolo diskutované v predchádzajúcej práci (Pažitný a kol. 2014), pre nami navrhnutý rekuperátor bola stanovená optimálna rýchlosť prúdov vzduchu na úrovni $3,6 \text{ m.s}^{-1}$ (Obr. 2).



Obr. 2 Závislosť účinnosti rekuperácie tepla od rýchlosti prúdenia vzduchu v rekuperátore

Na obr. 2 je pozorovateľná oblasť laminárneho prúdenia vzduchu, charakterizovaná nízkymi

hodnotami súčiniteľa prestupu tepla prúdením. Reynoldsovmu číslu 2320 zodpovedá rýchlosť prúdenia $0,388 \text{ m.s}^{-1}$ a pod touto hodnotou sa nachádza oblasť laminárneho prúdenia. V prechodnej oblasti platnej pre $Re > 2320$ a zároveň $Re < 3450$, ktorá zodpovedá rýchlosti prúdenia vzduchu $0,576 \text{ m.s}^{-1}$, účinnosť prudko stúpa vďaka prudkému nárastu súčiniteľa prestupu tepla prúdením. Účinnosť v turbulentnej oblasti stále narastala až po dosiahnutie kapacitného limitu rekuperátora. Výsledná teplota vzduchu ohrievaného rekuperovaným teplom sa začala znižovať vďaka ďalšiemu zvyšovaniu prietoku vzduchu. Merania rýchlosti boli uskutočnené pri prevádzkovej teplote vzduchu v rozmedzí od $48,7^\circ\text{C}$ do $54,7^\circ\text{C}$, pričom tieto teploty sa bežne dosahujú pod krytom sušiacej časti prevádzkového papierenského stroja LUDOPRINT, a.s. BOBOT. V prípade poloprevádzkového papierenského stroja VÚPC, a.s. Bratislava sa pri podobnom umiestnení meracích zariadení dosahujú aj nižšie teploty (Pažitný a kol. 2014). Pre priemer potrubia $0,1 \text{ m}$, možno vypočítať objemový prietok prúdenia vzduchu podľa vzťahu:

$$\dot{V} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 v$$

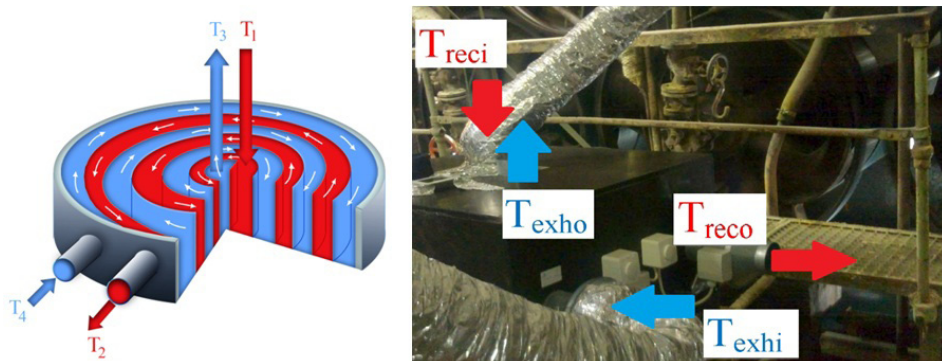
kde $\dot{V}$ je objemový prietok prúdu vzduchu, d priemer potrubia a v je rýchlosť prúdenia vzduchu meraného anemometrom. Výsledná hodnota optimálneho objemového prietoku vzduchu bola $0,0283 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ ($28,3 \text{ l/s}$). Pre strednú hodnotu teploty vzduchu $51,7^\circ\text{C}$ dosahovanú pod sušiacim krytom prevádzkového papierenského stroja je kinematická viskozita prúdiaceho vzduchu $1,8073 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$. Pri zistenej optimálnej rýchlosti prúdenia horúceho vzduchu na úrovni $3,6 \text{ m.s}^{-1}$ v potrubí s kruhovým prierezom s priemerom $0,1 \text{ m}$ možno Reynoldsovo číslo vypočítať podľa nasledovného vzťahu:

$$Re = \frac{d v}{\nu} = \frac{0,1 \text{ m} \times 3,6 \text{ m.s}^{-1}}{1,8073 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}} = 19\,919$$

Podľa vyššie uvedených zákonitostí platí, že prúdenie dosiahnuté počas meraní pri prevádzkovej výrobe papiera bolo turbulentné a z toho vyplýva, že závislosť hydraulického odporu proti pohybu vzduchu prúdiaceho v kruhovom potrubí od rýchlosti prúdu vzduchu je kvadratická. Po nastavení optimálnej rýchlosti prúdenia vzduchu sa dosiahla prevádzková účinnosť rekuperácie tepla na úrovni $91,7\%$. Metodika výpočtu hodnôt účinnosti rekuperácie tepla vychádzala zo závislosti od priemerných rýchlostí prúdov vzduchu na vstupe a na výstupe z rekuperátora, od priemerných hodnôt mernej tepelnej kapacity a hustoty prúdov vzduchu a od vstupných a výstupných teplôt meraných na rozhraní rekuperátora a potrubia, pričom prierez potrubia sme považovali za konštantný. V praxi však hodnoty mernej tepelnej kapacity pre menší teplotný rozsah (v rozmedzí od 0°C do 80°C) možno považovať za konštantné a približne rovnaké. Vychádzajúc z uvedenej metodiky, a tiež ako uvádzame v našej predchádzajúcej práci (Pažitný a kol. 2017), výsledná rovnica pre výpočet účinnosti rekuperácie tepla je nasledovná:

$$\eta_{SHRU} = \frac{\tilde{v}_{cac} \varsigma_{cac} (T_3 - T_4)}{\tilde{v}_{nac} \varsigma_{nac} (T_1 - T_2)} \times 100 \%$$

V predchádzajúcej rovnici predstavuje pomer čitateľa a menovateľa hodnotu skutočného tepelného toku daného rozdielom teplôt chladného vzduchu na vstupe a na výstupe z rekuperátora násobeným príslušnou rýchlosťou a hustotou chladného vzduchu, ktorá sa delí optimálnym tepelným tokom (Fakheri 2007). Hodnota optimálneho tepelného toku je pri reálnych podmienkach daná rozdielom teplôt horúceho vzduchu na vstupe a na výstupe z rekuperátora násobeným príslušnou rýchlosťou a hustotou horúceho vzduchu. Prúdy vzduchu možno označiť dvomi rôznymi spôsobmi – zjednodušeným spôsobom a spôsobom, ktorý sa používa pri reálnej prevádzke, teda prevádzkovým označovaním (Obr. 3).

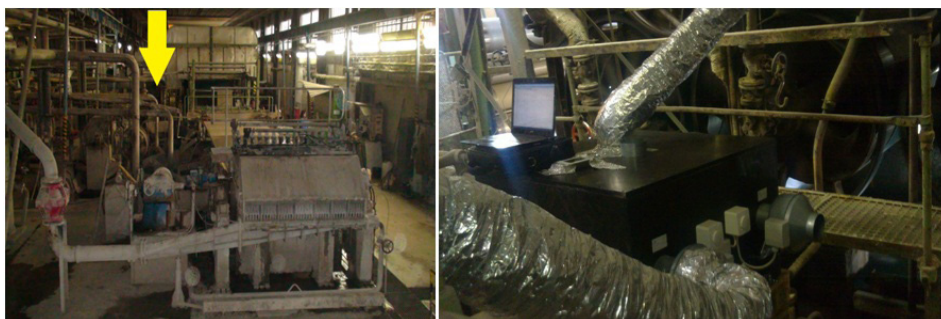


Obr. 3 Moderný špirálový rekuperátor: znázornenie vstupujúcich a vystupujúcich prúdov horúceho a chladného vzduchu so zjednodušeným označovaním (vľavo) a ich zobrazenie pri reálnom umiestnení potrubia v prevádzkovej výrobe papiera spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT s prevádzkovým označovaním (vpravo).

Tab. 1 ukazuje, že najvhodnejšie umiestnenie koncovej časti potrubia, do ktorej vstupuje horúci vzduch na rekuperáciu tepla spod krytu sušiackej časti papierenského stroja s najvyššou teplotou, resp. najvyššou koncentráciou vodnej pary, bolo v strednej oblasti sušiackej časti prevádzkového papierenského stroja spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT. Merania účinnosti rekuperácie tepla boli realizované pri tejto lokalizácii koncovej časti potrubia pripojenej k jednotke rekuperácie tepla (Obr. 4). Na povrchu valca 18 síce boli zistené najvyššie teploty (133,4 °C, 130,6 °C alebo 117,4 °C, tab. 1), ale odvodňovanie vyrobeného papiera bolo v tomto mieste väčšie, teda umiestnenie koncovej časti potrubia nad uvedený valec nebolo technicky vhodné, a to najmä z dôvodu nadmernej tvorby kondenzátu, ktorým by sa potenciálne mohol rekuperačný systém zahliť. Prítomnosť skondenzovanej vody môže pritom skresľovať merania teploty, resp. relatívnej vlhkosti. Ako sme publikovali v našich predchádzajúcich prácach, povrchové teploty merané na povrchu sušiacich valcov umiestnených v sušiackej časti papierenského stroja spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT tiež záviseli od ročného obdobia (Pažitný a kol. 2017).

Tab. 1: Horizontálny teplotný profil sušiacej časti prevádzkového papierenského stroja získaný počas letných a zimných mesiacov – teploty boli merané na povrchu sušiacich valcov papierenského stroja spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT (Pažitný a kol. 2017).

Poradie sušiaceho valca papierenského stroja	Priemerná teplota meraná v letných mesiacoch bez použitia kogenerácie (°C)	Priemerná teplota meraná v letných mesiacoch s použitím kogenerácie (°C)	Priemerná teplota meraná v zimných mesiacoch s použitím kogenerácie (°C)
Valec 1	40.3	53.2	45.0
Valec 2	39.6	45.3	45.8
Valec 3	38.5	49.7	58.0
Valec 4	39.6	46.8	80.8
Valec 5	38.9	48.6	57.0
Valec 6	46.9	66.7	83.7
Valec 7	59.7	59.4	64.2
Valec 8	56.1	52.7	82.0
Valec 9	50.1	77.1	96.5
Valec 10	49.4	57.9	66.3
Valec 11	103.2	116.4	86.9
Valec 12	102.5	92.3	100.8
Valec 13	104.0	110.6	106.7
Valec 14	108.0	119.2	103.9
Valec 15	107.0	120.4	91.0
Valec 16	113.5	121.9	102.0
Valec 17	114.3	95.2	71.4
Valec 18	133.4	130.6	117.4
Valec 19	94.3	90.5	70.2
Valec 20	52.0	66.4	57.5



Obr. 4 Realizácia rekuperácie tepla pomocou vhodného umiestnenia moderného rekuperátora tepla pri prevádzkovej výrobe papiera v spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT.

Merania ukázali, že pri rekuperácii tepla sa tvorí väčšie množstvo kondenzátu, s celkovým objemovým tokom zhruba jeden liter za hodinu (Pažitný a kol. 2017). Pre prevádzkovú výrobu papiera v spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT využitím časovej kapacity v počte hodín 6500 za rok to predstavuje ročnú výrobu vedľajšieho produktu rekuperácie tepla vo forme kondenzátu v celkovom objeme viac než 70 hektolitrov. Zavedením našej patentovanej technológie možno tento kondenzát efektívne odstraňovať a nepriamo tak zabráňovať tepelným stratám v procese výroby papiera, ktoré vznikajú v dôsledku znižovania účinnosti rekuperátora tepla (Pažitný a kol. 2016).

Záver

Zvýšenie účinnosti rekuperácie tepla v priemyselných podnikoch vyrábajúcich celulózu a papier, ako aj v podnikoch z oblasti drevárskeho priemyslu, by malo byť jedným z najdôležitejších krokov vedúcich k úsporám energie a k zvýšeniu energetickej efektívnosti podľa požiadaviek novej európskej legislatívy. Túto možnosť ponúka moderný rekuperátor tepla, ktorý bol navrhnutý, skonštruovaný a následne testovaný v laboratóriách a v poloprevádzke Výskumného ústavu papiera a celulózy, a.s. Bratislava. V poloprevádzkových podmienkach ním možno dosiahnuť účinnosť rekuperácie tepla takmer 100 %. V spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT, ktorá sa orientuje na výrobu a spracovanie papiera, a ktorá predtým nepoužívala rekuperáciu tepla, bol uvedený rekuperátor tepla aplikovaný, pričom boli dosiahnuté vysoké hodnoty účinnosti rekuperácie tepla okolo úrovne 91,7 %. Vysoká hodnota účinnosti rekuperácie tepla je výsledkom optimalizácie umiestnenia koncovkej časti potrubia, do ktorej vstupuje horúci vzduch na rekuperáciu tepla spod krytu sušiacej časti papierenského stroja s najvyššou teplotou, a tiež výsledkom optimalizácie umiestnenia samotného rekuperátora tepla v strednej oblasti sušiacej časti papierenského stroja. Ďalším technickým zlepšením procesu rekuperácie tepla bolo zavedenie našej patentovanej technológie odvádzania kondenzátu vznikajúceho z vodnej pary. Pri prevádzkovej výrobe papiera v spoločnosti LUDOPRINT, a.s. BOBOT využitím časovej kapacity v počte hodín 6500 za rok sa vytvorí až 70 hektolitrov kondenzátu. Kondenzát pochádzajúci z vodnej pary vytváraný v procese sušenia papiera možno teda efektívne priebežne odstraňovať a v procese výroby papiera tak nepriamo zabráňovať tepelným stratám vznikajúcim v dôsledku znižovania účinnosti rekuperátora tepla.

POĎAKOVANIE: Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0788-11.

Literatúra

1. Afzal, N., Seenaa, A., Bushra, A., 2013: Turbulent flow in a machine honed rough pipe for large Reynolds numbers: General roughness scaling laws. *Journal of Hydro-environment Research* 7 (1): 81-90, ISSN 1570-6443.
2. Algarni, S., Saleel, C.A., Mujeebu, M.A., 2018: Air-conditioning condensate recovery and applications – Current developments and challenges ahead. *Sustainable Cities and Society* 37: 263-274, ISSN 2210-6707.
3. Bujak, J.W., 2015: Production of waste energy and heat in hospital facilities. *Energy* 91: 350-362, ISSN 0360-5442.
4. Dieffenbacher GmbH & Co. KG, Eppingen, DE; von Haas, G., DE; Melzer, G., DE; EP 1 668 230 B1, 2008: Spôsob kontinuálnej výroby dosiek z drevného doskového materiálu. Vydané Európskym patentovým úradom dňa 28.5.2008.
5. Fakhri, A., 2007: Heat Exchanger Efficiency. *Journal of Heat Transfer*. 129(9): 1268-1276, ISSN 0022-1481.
6. Jouhara, H., Khordehgah, N., Almahmoud, S., Delpech, B., Chauchan, A., Tassou, S.A., 2018: Waste heat recovery technologies and applications. *Thermal Science and Engineering Progress* 6: 268-289, ISSN 2451-9049.
7. Pažitný, A., Boháček, Š., Balberčák, J., 2014: Znižovanie energetickej náročnosti v papierenskom priemysle. Zborník zo záverečnej konferencie projektu EU HUSK 1001/2.5.2/0025, s. 29-32. 29. apríla 2014, Bratislava.
8. Pažitný, A., Boháček, Š., Medo, P., 2013: Vývoj nových technológií umožňujúcich rekuperáciu tepla a ich aplikácia v papierenskom priemysle. *Energetika* 63 (8-9): 481-483, ISSN 0375-8842.
9. Pažitný, A., Boháček, Š., Medo, P., Balberčák, J., 2015: Application of innovative heat recovery unit in paper industry with potential utilization in wood-processing and furniture industry. *Wood Research* 60 (1): 101-112, ISSN 1336-4561.
10. Pažitný, A., Boháček, Š., Medo, P., Balberčák, J., Schwartz, J., Kuňa, V., Ihnát, V., 2017: Possibilities of Removing Condensate from a Heat Recovery Unit Utilizable in Paper Industry. *Wood Research* 62 (2): 273-282, ISSN 1336-4561.
11. Pažitný, A., Boháček, Š., Medo, P., Brezániová, Z., Russ, A., Stankovská, M., Ihnát, V., Schwartz, J., Gigac, J., Balberčák, J., 2016: "Rekuperačné zariadenie na báze špirály s integráciou odvádzania kondenzátu U-trubicou", Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s. v Bratislave. PP 50043 – 2016 (ÚPV SR, 28.06.2016).
12. Sathitbunanana, S., Ritthong, W., 2017: Techno-Economy Analysis by Green Abatement Cost Curve for Pulp and Paper Industry. *Energy Procedia* 138: 734-738, ISSN 1876-6102.

Stanovenie absorpcie vody hygienických papierov pomocou ultrazvukovej metódy

Juraj Gigac, Monika Stankovská, Mária Fišerová, Elena Opálená
Výskumný ústav papiera a celulózy
gigac@vupc.sk

Abstrakt

Absorpcia kvapalín je dôležitá funkčná vlastnosť tissue papierov, na jej stanovenie sa používajú štandardné metódy. Testovala sa možnosť použitia ultrazvukovej metódy na stanovenie absorpcie vody hárkov buničín. Stanovila sa počiatočná absorpcia vody a rýchlosť saturácie hárkov buničín vodou. Tieto parametre sa porovnali s absorpciou vody po ponorení a schopnosťou absorpcie vody, ktoré sa stanovili štandardnými metódami. Merania sa uskutočnili na laboratórnych hárkoch bielených ihličnatých a listnatých sulfátových buničín, ktoré sa používajú pre výrobu hygienických papierov. Korelačné koeficienty medzi hodnotami nameranými štandardnými metódami a tými, ktoré sa získali pomocou ultrazvukovej metódy boli pre jednotlivé druhy buničín v rozsahu od 0,956 až 0,999 a pre všetky bielené ihličnaté a listnaté sulfátové buničiny boli v rozsahu 0,901-0,921.

Kľúčové slová: Absorpcia vody, bielená sulfátová buničina, laboratórne hárky, ultrazvuková metóda.

Úvod

Jednou z najdôležitejších vlastností tissue papierov je absorpcia kvapalín. K absorpcii kvapalín papierom dochádza jednak dôsledkom toho, že molekuly celulózy obsahujú hydroxylové skupiny, ktoré jej umožňujú tvoriť vodíkové väzby s vodou. Zároveň dochádza k nasiaknutiu vody do pórov. Objem pórov vo vnútri vlákna pozostáva z objemu lúmenu, malých dutín a prasklín v bunkovej stene vlákien. Na permeabilite sa podieľajú hlavne medzivláknové póry. Vodu môžu prijímať aj priehlbiny na povrchu papiera. Dôležitým krokom pri výrobe tissue papiera je mletie buničínových vlákien, pri ktorom dochádza ku skracovaniu a fibrilácii vlákien a tým k zväčšeniu ich špecifického povrchu. Pórovitosť papiera ovplyvňujú sploštenie vlákien a prítomnosť jemných častíc, ktoré závisia od typu drevin.

Ultrazvuková metóda bola vyvinutá na stanovenie dynamiky penetrácie kvapalín v rôznych druhoch papiera. Meria sa intenzita transmitovaného vysokofrekvenčného ultrazvukového signálu s frekvenciou 1 alebo 2 MHz. Princíp merania pomocou ultrazvuku je založený na rozdielnej rýchlosti ultrazvukového signálu v prostredí, v ktorom sa pohybuje. Ultrazvukový

signál sa najrýchlejšie šíri vo vode, naopak, najpomalšie vo vzduchu. Pri interakcii papiera s kvapalinou dochádza k odrazu signálu na rozhraní voda-vzduch, k absorpcii signálu vzdušným filmom a k rozptylu signálu na vzduchových bublinách (Sharma 2005), čo spôsobuje zmenu intenzity transmitovaného ultrazvukového signálu. Bližší popis princípu merania bol detailnejšie opísaný v publikácii Stankovská a kol. 2012a. Táto metóda bola použitá na vzájomné porovnanie papierov s rôznou pórovitosťou, veľkosťou pórov a zaglejením, na rozlíšenie povrchovo glejených alebo natieraných papierov ako aj papierových podložiek pre natieranie (Gigac a kol. 2011). Ultrazvuková metóda sa použila na meranie hydrofóbnosti komerčných a laboratórne pripravených ofsetových a inkjetových papierov (Gigac a kol. 2011, 2014, 2015a, 2015b, 2016a, 2016b; Stankovská a kol. 2016; Xu a kol. 2016) a bariérových papierov (Karlovits a Lavric 2018; Stankovská a kol. 2012b) ako aj na štúdium interakcie papierov s inkjetovými atramentmi. Ultrazvuková metóda bola použitá pri meraní dynamiky penetrácie vodného roztoku izopropylalkoholu do ofsetových (Gigac a kol. 2011), inkjetových (Gigac a kol. 2014, 2016a, 2016b; Stankovská a kol. 2016) a bariérových papierov (Gigac a kol. 2019), kde sa stanovil obsah malých pórov na povrchu papiera. Metóda bola použitá tiež pri štúdiu interakcií novinových papierov s rôznymi druhmi oleja (Wordel a Gemeinhardt 2009) ako aj digitálnych tlačových papierov s vodou a polydimetylsiloxánom (Oliver a kol. 2002).

Cieľom práce bolo otestovať možnosť použitia ultrazvukovej metódy na stanovenie absorpcie vody laboratórnych hárkov z rôznych druhov nemletých a mletých ihličnatých a listnatých sulfátových buničín.

Materiál a metódy

Bielené ihličnaté a listnaté sulfátové buničiny

Bielená borovicová sulfátová buničina – Södra Black (Borovica), bielená sulfátová buničina zo zmesi borovice a smreka (obsah smreka až do 45%) – Botnia Nordic Pine + JNO (Borovica+smrek), bielená buková sulfátová buničina – Bukocel Slovakia (Buk), bielená brezová sulfátová buničina – Södra Gold (Breza I), bielená brezová sulfátová buničina – Botnia Nordic AKI (Breza II), bielená eukalyptová sulfátová buničina – Pontevedra Spain (Eukalyptus I) a bielená eukalyptová sulfátová buničina – Celtejo Portugal (Eukalyptus II).

Mletie buničiny a príprava laboratórnych hárkov

Komerčné bielené ihličnaté a listnaté sulfátové buničiny boli mleté na 20, 25 a 35 °SR v laboratórnom Jokro mlyne podľa normy ISO 5264-3:1979. Laboratórne hárky (60 g m⁻²) z nemletých a mletých buničín boli pripravené v hárkovači Rapid Köthen podľa normy ISO 5269-2: 2004.

Metódy

Absorpcia vody po ponorení po dobu 10 s sa merala podľa normy ISO 5637.

Schopnosť absorpcie vody bola stanovená košíkovou metódou podľa normy ISO 12625-8. Čas ponorenia potom ako košík so vzorkou dosiahol dno nádoby bol 30 s a čas odvodnenia

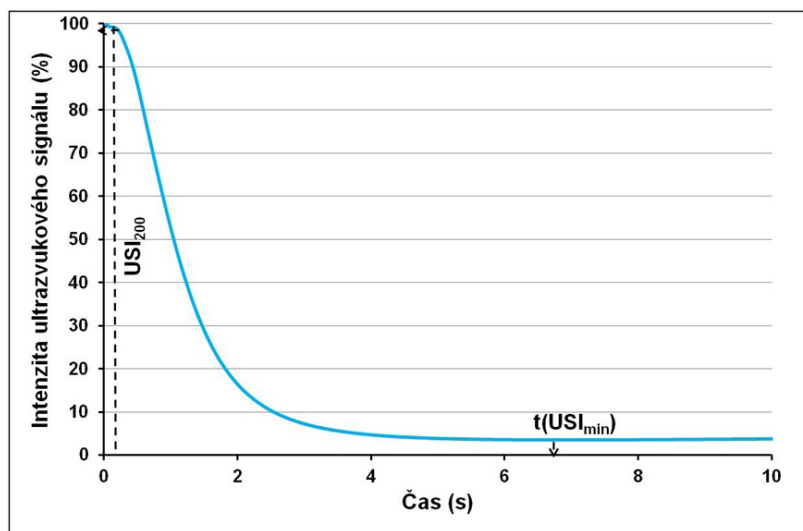
po vynorení pod uhlom 30° bol 60 s. Táto metóda je vhodná predovšetkým pre testovanie hygienických výrobkov. Výsledná hodnota v g.g-1 bola prepočítaná na %.

Dynamika penetrácie vody

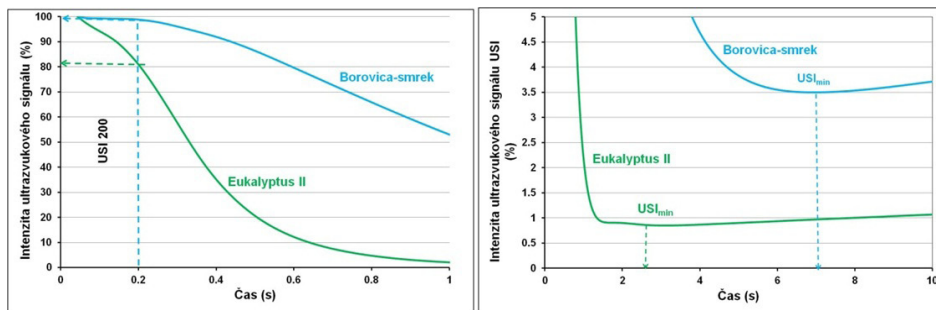
Dynamika penetrácie vody sa merala ultrazvukovým prístrojom PDA C.02 (Emtec, Radnor, PA, USA) s frekvenciou 2 MHz. Testovacia kvapalina bola voda s povrchovou energiou 72 mJ.m^{-2} . Získala sa zmena intenzity ultrazvukového signálu (USI) v čase 43 ms - 10 s pri použití algoritmu SC.

Výsledky a diskusia

Pri meraní dynamiky penetrácie vody sa získala zmena intenzity ultrazvukového signálu (USI) v čase 43 ms - 10 s pri použití algoritmu SC. Zo stanovenia poklesu USI v 200 ms a času v minime USI sa navrhli algoritmy pre výpočet počiatočnej absorpcie vody a rýchlosti saturácie hárkov buničín vodou. Výsledné hodnoty sa získali z priemernej hodnoty na lícovej a rubovej strane laboratórneho hárku. Obr. 1 ukazuje časový priebeh zmeny intenzity ultrazvukového signálu pri interakcii vody s povrchom lícnej strany laboratórneho hárku zo zmesnej buničiny Borovica-smrek. Ukážka porovnania časovej zmeny intenzity ultrazvukového signálu pri interakcii vody s lícovou stranou hárkov bielenej eukalyptovej buničiny (Eukalyptus II) a hárkov zo zmesnej buničiny (Borovica-smrek), mletých na 30°SR v čase 1 a 10 s je na Obr. 2.



Obr. 1 Časová zmena intenzity ultrazvukového signálu pri interakcii vody s lícovou stranou hárku bielenej sulfátovej zmesnej buničiny (Borovica-smrek), mletej na 30°SR .



Obr. 2: Časová zmena intenzity ultrazvukového signálu pri interakcii vody s lícovou stranou hárkov bielenej eukalyptovej buničiny (*Eukalyptus II*) a zmesnej buničiny (*Borovica-smrek*), mletých na 30°SR v čase 1 s (vľavo) a do 10 s (vpravo).

Počiatková absorpcia vody (HYG 1) sa stanovila z intenzity ultrazvukového signálu v čase 200 ms ((USI₂₀₀) pomocou rovnice:

$$HYG\ 1 = \frac{100 - USI_{200}}{0,2} (\%)$$

kde 0,2 je konštanta. Čím menšia hodnota USI₂₀₀ tým väčšia je počiatková absorpcia vody.

Rýchlosť saturácie hárkov vodou (HYG 2) sa vypočítala podľa rovnice:

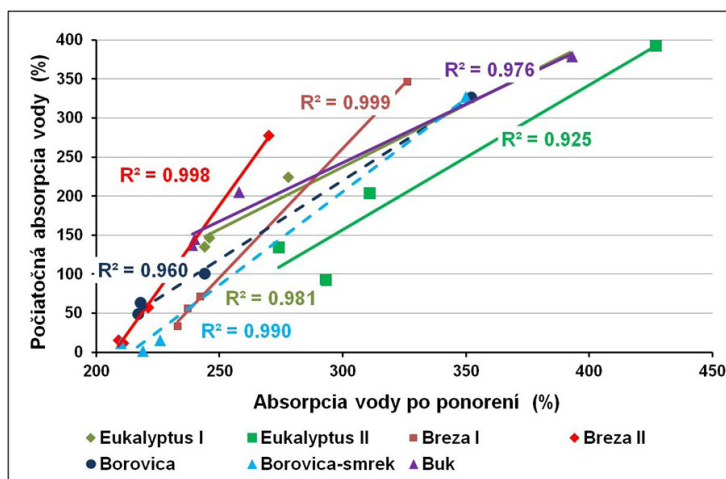
$$HYG\ 2 = 10 \times \frac{1}{\sqrt{t_{USImin}}} (s^{-1})$$

kde t_{USImin} je čas, pri ktorom sa dosiahne minimálna hodnota intenzity ultrazvukového signálu.

Vyššia hodnota HYG 2 znamená vyššiu rýchlosť saturácie hárkov buničín vodou. Jedná sa o rýchlosť dosiahnutia maximálnej absorpcie vody.

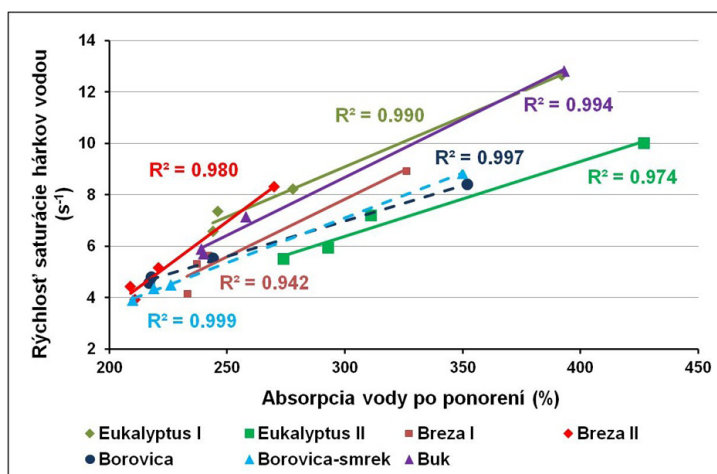
Porovnali sa rôzne parametre absorpcie vody hárkov nemletých a mletých bielených ihličnatých a listnatých buničín. Absorpcia vody sa stanovila ultrazvukovou metódou (počiatková absorpcia vody a rýchlosť saturácie hárkov vodou) a štandardnými metódami pre tissue papiere (absorpcia vody po ponorení a schopnosť absorpcie vody).

Na Obr. 3 je vzťah medzi počiatkovou absorpciou vody a absorpciou vody po ponorení hárkov nemletých a mletých bielených ihličnatých a listnatých sulfátových buničín.



Obr. 3 Vzťah medzi počiatočnou absorpciou vody a absorpciou vody po ponorení hárkov z nemletých a mletých bielych ihličnatých a listnatých sulfátových buničín.

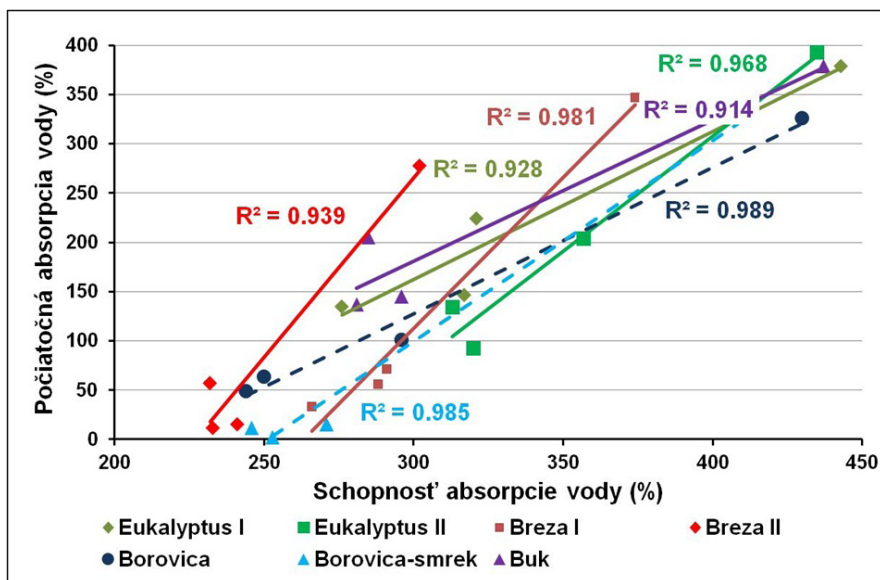
S mletím sa absorpcia vody po ponorení ako aj počiatočná absorpcia vody znižuje, pričom v prípade brezových buničín dochádza k menej výraznému poklesu. Korelačné koeficienty lineárnej závislosti počiatočnej absorpcie vody stanovenej ultrazvukovou metódou a absorpcie vody po ponorení boli v rozsahu 0,925-0,999, kde najvyšší korelačný koeficient sa dosiahol pri brezových buničinách a najnižší pri buničine Eukalyptus II. Vysoké koeficienty determinácie (0,942-0,999) sa získali zo vzťahov medzi rýchlosťou saturácie hárkov vodou a absorpciou vody po ponorení (Obr. 4).



Obr. 4 Vzťah medzi rýchlosťou saturácie hárkov vodou a absorpciou vody po ponorení z nemletých a mletých bielych ihličnatých a listnatých sulfátových buničín.

Najvyšší korelačný koeficient sa získal pri hárkoch z borovicovej buničiny a zo zmesnej buničiny (Borovica-smrek) a najnižší pri brezovej buničine (Breza I).

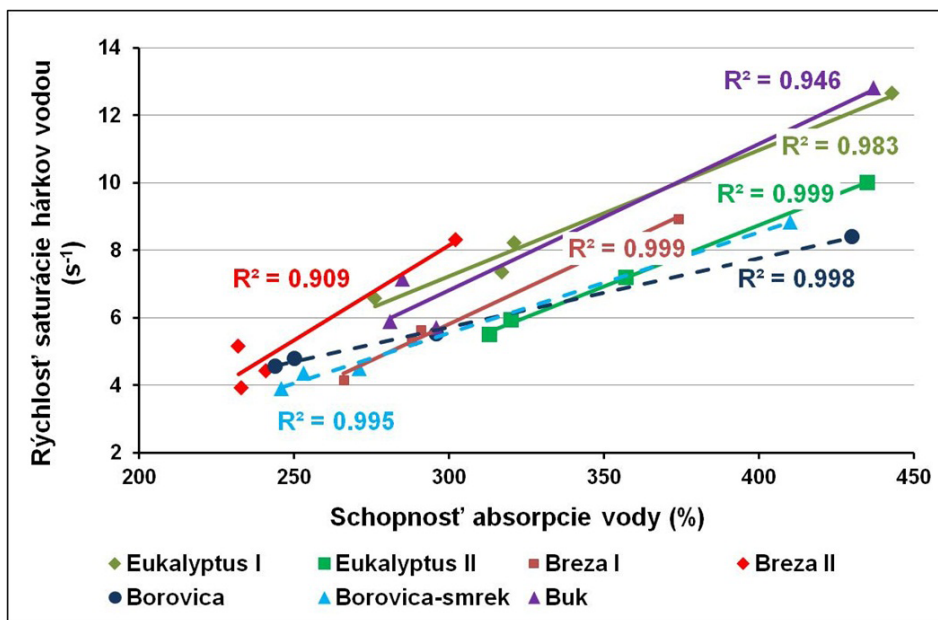
S mletím výrazne klesala schopnosť absorpcie vody a úmerne s tým aj počiatočná absorpcia vody, ako je vidieť na Obr. 5.



Obr.5 Vzťah medzi počiatočnou absorpciou vody a schopnosťou absorpcie vody hárkov z nemletých a mletých bielených ihličnatých a listnatých sulfátových buničín.

Mletím sa rovnako ako absorpcia vody po ponorení, aj schopnosť absorpcie vody hárkov z oboch brezových buničín znižovala menej výrazne oproti ostatným buničínám. Zistila sa lineárna závislosť medzi počiatočnou absorpciou vody a schopnosťou absorpcie vody. Korelačné koeficienty (0,956–0,994) boli iba o niečo nižšie ako to bolo v prípade absorpcie vody po ponorení na Obr. 3.

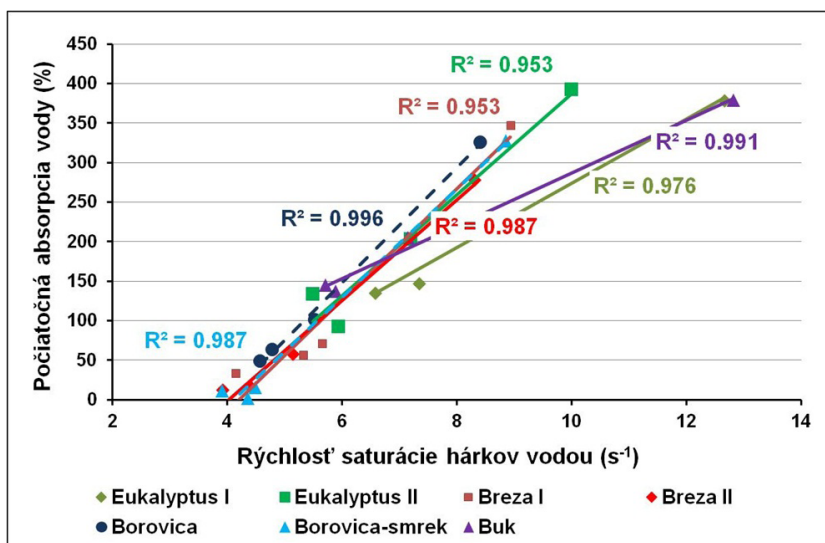
Korelačné koeficienty vzťahov medzi rýchlosťou saturácie hárkov vodou a schopnosťou absorpcie vody z bielených ihličnatých a listnatých sulfátových buničín boli 0,953–0,999 (Obr. 6). Najvyššie korelačné koeficienty sa získali pri buničine z eukalyptu (Eukalyptus II), brezy (Breza I) a borovice. Korelačný koeficient pri brezovej buničine (Breza II) bol výrazne nižší v porovnaní s korelačnými koeficientmi ostatných buničín.



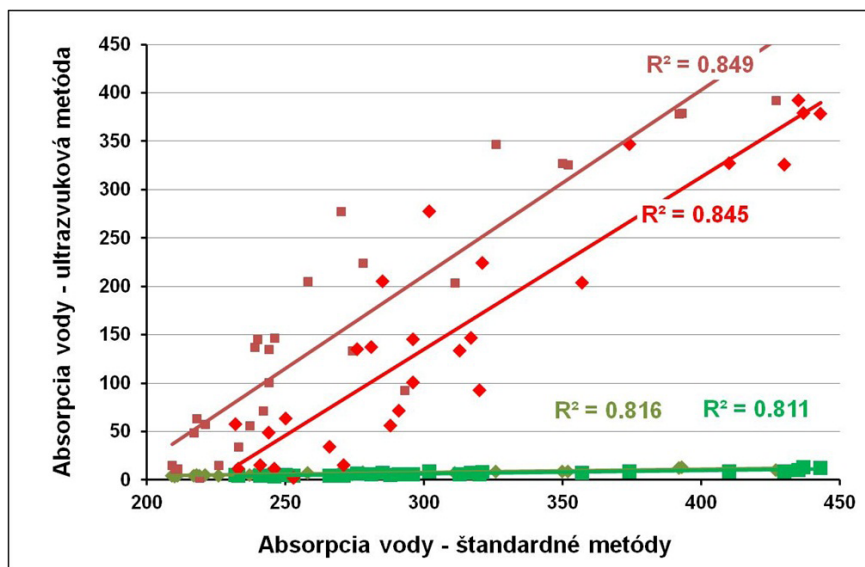
Obr. 6 Vzťah medzi rýchlosťou saturácie hárkov vodou a schopnosťou absorpcie vody z nemletých a mletých bielených ihličnatých a listnatých sulfátových buničín.

Študovali sa aj vzťahy medzi oboma parametrami, získanými pomocou ultrazvukovej metódy (Obr.7), kde sa získali lineárne závislosti s korelačnými koeficientmi (0,976-0,998).

Porovnaním všetkých druhov buničín sa zistilo, že pri podobnej hodnote počiatocnej absorpcie vody sa rýchlosť saturácie hárkov vodou takmer nelíšila s výnimkou buničín z eukalyptu (Eukalyptus I) a buka. V tomto prípade bola rýchlosť saturácie hárkov vodou výrazne vyššia a to predovšetkým pri vyšších hodnotách počiatocnej absorpcie vody.



Obr. 7 Vzťah medzi počiatočnou absorpciou vody a rýchlosťou saturácie hárkov vodou z nemletých a mletých bielených ihličnatých a listnatých sulfátových buničín.



Obr. 8 Korelácie medzi parametrami absorpcie vody získanými ultrazvukovou metódou (počiatočná absorpcia vody a rýchlosť saturácie hárkov vodou) a štandardnými metódami (absorpcia vody po ponorení a schopnosť absorpcie vody) pre všetky nemleté a mleté bielené ihličnaté a listnaté sulfátové buničiny.

Zisťovali sa korelácie aj medzi parametrami absorpcie vody, získanými štandardnými metódami a ultrazvukovou metódou pre celý súbor hárkov z nemletých a mletých bielených ihličnatých a listnatých buničín (Obr. 8).

Korelačný koeficient lineárneho vzťahu medzi počiatočnou absorpciou vody a absorpciou vody po ponorení ako aj schopnosti absorpcie vody bol 0,921. Korelačný koeficient vzťahu medzi rýchlosťou saturácie hárkov a absorpciou vody po ponorení bol 0,903 a medzi rýchlosťou saturácie hárkov vodou a schopnosťou absorpcie vody bol 0,900.

Získané korelačné koeficienty boli o málo nižšie ako pri korelačnej analýze hárkov jednotlivých druhov bielených sulfátových buničín (R 0,956 - 0,999).

Záver

Počiatočné absorpcie vody a rýchlosti saturácie buničínových hárkov vodou, stanovené ultrazvukovou metódou sa porovnali s absorpciou vody po ponorení a schopnosťou absorpcie vody stanovenými štandardnými metódami.

Navrhli sa algoritmy pre výpočet počiatočnej absorpcie vody a rýchlosti dosiahnutia maximálnej absorpcie vody z časového priebehu zmeny intenzity ultrazvukového signálu. Zistili sa lineárne závislosti medzi týmito parametrami a absorpciou vody po ponorení a schopnosťou absorpcie vody, stanovených štandardnými metódami, ktorých korelačné koeficienty pre jednotlivé druhy bielených ihličnatých a listnatých sulfátových buničín boli v rozsahu od 0,956 do 0,999 a pre všetky buničiny sa korelačné koeficienty pohybovali od 0,901 do 0,921.

Najvyššie korelačné koeficienty sa dosiahli pre vzťahy medzi absorpciou vody po ponorení a rýchlosťou dosiahnutia maximálnej absorpcie vody jednotlivých buničín.

Lineárne závislosti medzi oboma parametrami, nameranými ultrazvukovou metódou mali korelačný koeficient v rozsahu 0,988-0,998.

Výsledky ukázali vhodnosť použitia ultrazvukovej metódy na stanovenie absorpcie kvapalín papierov s vysokou nasiakavosťou. Výhodou tejto metódy je skrátenie doby analýzy oproti štandardným metódam.

„Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na Základe Zmluvy č. APVV-16-0428“.

Literatúra

1. Gigac, J., Stankovská, M., Fišerová, M., 2018: Improvement of oil and grease resistance of cellulosic materials. *Wood Research* 63(6), 871-886.
2. Gigac, J., Stankovská, M., Opálená, E., Letko, M., 2014: The effect of base papers properties on inkjet print quality. *Wood Research* 59 (5): 717-730.
3. Gigac, J., Stankovská, M., Fišerová, M., Opálená, E., 2015a: Improvement of inkjet print quality via hydrophilic polymers and base paper. *Wood Research* Vol. 60 (5): 739-746.
4. Gigac, J., Stankovská, M., Maholányiová, M., Pažitný, A., 2016a: The effect of pigments and binders on inkjet print quality. *Wood Research* 61(2): 215-226.
5. Gigac, J., Stankovská, M., Opálená, E., 2015b: Porovnanie vplyvu obilnej múky, škrobu a polyvinylalkoholu na tlačové vlastnosti inkjetových papierov. *Papír a celulóza* 70 (4-5): 108-112.
6. Gigac, J., Stankovská, M., Pažitný, A., 2016b: Influence of the coating formulations and base papers on inkjet printability. *Wood Research* 61 (6): 915-926.
7. Gigac, J., Stankovská, M., Kasajová, M., 2011: Interactions between offset papers and liquids. *Wood Research* 56 (3): 363-370.
8. Karlovits, I., Lavrič, G., 2018: Influence of plasma treatment on properties of waxed papers, <https://doi.org/10.24867/GRID-2018-p6> (Original scientific paper)
9. Oliver, J.F., Souza, E., Hayes, R.E., 2002: Application of ultrasonic and porometric techniques to measure liquid penetration in digital printing papers. *International Conference on Digital Printing Technologies*: 505-507.
10. Sharma, N., 2005: Use of ultrasound to predict ink-jet print quality. Thesis. Faculty at Miami University, Ohio: 1-95.
11. Stankovská, M., Gigac, J., Kasajová, M., Fišerová, M., 2012a: Použitie ultrazvukovej metódy pri hodnotení povrchových a permeabilitných vlastností papiera, *Papír a celulóza* 67 (6): 180-184.
12. Stankovská, M., Kasajová, M., Gigac, J., 2012b: Characterization of papers by wetting and dynamic penetration of liquids. IX. International Symposium. Selected Processes at the wood processing , Štúrovo, s. 18.
13. Stankovská, M., Gigac, J., Maholányiová, M., Pažitný, A., 2016: Vplyv podložky, pigmentov a spojiv v náterovej farbe na inkjetovú tlač. *Papír a celulóza* 71 (1): 20-23.
14. Xu, Y., Kuang, Y., Salminen, P., Chen, G., 2016: The influence of nano-fibrillated ellulose as a coating component in paper coating. *Bioresources* 11 (2): 4342-4352.
15. Wordel, H., Gemeinhardt, J., 2009: Ink absorption in the short-term range. *Fogra Research Report* 65.013: 2-11.

Eliminácia lepidlivých nečistôt pomocou chemických prostriedkov

Vladimír Kuňa*, Jozef Balberčák, Monika Stankovská, Andrej Pažitný, Albert Russ
Výskumný ústav papiera a celulózy
kuna@vupc.sk

Abstrakt

V predkladanej práci sú prezentované výsledky aplikácie anorganických minerálov a organických polymérov na elimináciu lepidlivých nečistôt „makrostickies“, pri spracovaní zberového papiera. Vplyv jednotlivých prostriedkov, bol sledovaný na rôznych druhoch vodolátok. Na tmavej vodolátke VL5 s belosťou 53 % ISO a obsahom popola 17,6 % a na vodolátke VL1 s belosťou 64 % ISO a obsahom popola 29,4% a na vodolátke VL0 s belosťou 68,3 % a obsahom popola 35,7 %. Z anorganických minerálov bola dosiahnutá najvyššia účinnosť pri eliminácii makrostickies, použitím bentonitu Hydrocol OT. Pri dávke 5 kg/t a.s. zberového papiera bola dosiahnutá pri vodolátke VL5 účinnosť 65,1% a pri vodolátke VL1 účinnosť 58,7 % a pri vodolátke VL0 52,8%. Z polymérov sa dosiahla najvyššia účinnosť pri aplikácii prostriedku Acefloc 2550. Pri aplikácii na vodolátke VL5, bolo dosiahnuté zníženie obsahu makrostickies o 57,1 % , pri aplikácii na vodolátke VL1 sa dosiahol pokles obsahu makrostickies o 56,5 % a pri vodolátke VL0 o 49,6%.

Kľúčové slová: Makrostickies, nerozvláknenný podiel Sommerville, anorganické plnivé, priemerná veľkosť častíc, montmorilonit.

Úvod

So zvyšovaním recyklácie zberového papiera sa zároveň zvyšuje v zberovom papieri obsah nečistôt a nežiaducich látok, čím sa zhoršuje jeho kvalita. V zberovom papieri sa nachádzajú rozličné zdroje a typy nečistôt. Sú to rôzne mikrobiologické nečistoty, nerozpustné nečistoty ako sú lepidlá, živice, plnivé, prostriedky pre pevnosť za mokra a rozpustné koloidné materiály, ako sú náterové hmoty, latexy. Tieto prostriedky vytvárajú vo vzájomnej kombinácii celú radu lepidlivých nečistôt tzv. mikro a makrostickies.

Hlavným zdrojom stickies sú lepidlá citlivé na tlak (PSA) vďaka ich trvalému termoplastickému stavu, ktorý spôsobuje ich trvalé lepenie. Tieto látky sú obsiahnuté hlavne v etiketách používaných na označovanie cien na rôznych výrobkoch atď. Ďalšou skupinou látok, ktoré sa považujú za stickies, sú lepidlá tavné za horúca, ktoré sú pri izbovej teplote pevné a zmäknú sa až pri teplotách medzi 65°C a 120°C, ale môžu sa vyskytovať aj pri teplote miestnosti. Určené je to predovšetkým ich chemickým zložením. Stickies tohto typu majú tendenciu ukladať sa hlavne

na stacionárnych častiach zariadenia, ako sú potrubia a steny nádrží. Spôsobujú však aj zanášanie pohyblivých častí papierenských strojov, predovšetkým sít, plstí a valcov. Lepidlá, klasifikované ako horúce taveniny, sú hlavne plasty, ako je polyetylén a polypropylén [2].

Buničiny môžu obsahovať stickies vo forme drevnej živice. Drevné živice sú zmesou živých a mŕtvych kyselín, prírodných olejových materiálov a majú hydrofóbny charakter. Okrem toho majú tendenciu byť lepkavé a preto sú náchylné tvoriť usadeniny v papierenskom stroji [6].

Klasifikácia stickies

Existujú dva hlavné spôsoby klasifikácie stickies [2]:

- Podľa ich pôvodu:
 - Primárne
 - Sekundárne
- Podľa ich fyzikálnych alebo chemických vlastností:
 - Mikrostickies
 - Makrostickies

Primárne stickies sú lepkavé látky, ktoré vstupujú do procesu so surovinou. Tieto látky sú stickies, ktoré pochádzajú z tvárnych lepidiel, lepidiel prítomných v knihách, obálkach, poznámkových etiketách, z náterov z časopisov atď. Väčšinou pozostávajú z organických materiálov, napr. styren-butadién, styren akrylové latexové lepidlá, kaučuk, vinyl-akryláty, polyizopren, polybutadién atď. [7].

Sekundárne stickies sú výsledkom fyzikálnych a chemických interakcií, ku ktorým dochádza počas výrobného procesu [1]. Potenciálnym dôvodom tvorby sekundárnych stickies je šoková zmena kritických parametrov procesu, ako je teplota, pH a náboj, ktoré podporujú koloidnú destabilizáciu a aglomeráciu rozpustených a koloidných látok [2].

Klasifikácia na mikro a makro stickies sa určuje podľa veľkosti lepkavých látok. To sa určuje laboratorným triedením, kde makro-stickies sú častice zadržané na laboratorných sítach 100 μm alebo 150 μm a mikro-stickies sú lepkavé častice, ktoré prechádzajú cez tieto sítá, ale sú väčšie ako 1-5 μm [1]. Podľa Doshiho môžu byť mikro-stickies ďalej klasifikované ako suspendované stickies (20 až 100 μm), dispergované stickies (1-20 μm), koloidné stickies (5-0,01 μm) a rozpustené stickies (<0,01 μm) [8].

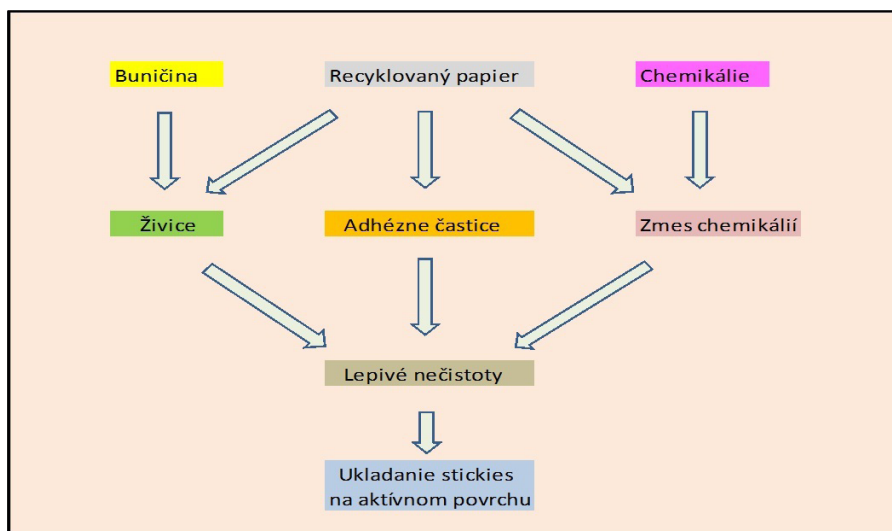
Klasifikácia stickies podľa veľkosti je potrebná kvôli rôznym postupom odstraňovania mikro a makro stickies, špecifickým metódam používaným na ich kvantifikáciu a rôznym stratégiám na minimalizáciu ich vplyvu na výrobu papiera [4]. Navyše veľkosť a koncentrácia stickies má veľký vplyv na kvalitu vyrábaného papiera a využiteľnosť papierenského stroja [9].

Mechanizmus tvorby stickies v procese spracovania zberového papiera.

Aby sme sa mohli zaoberať príčinou tvorby stickies v procese, je dôležité porozumieť mechanizmom ich tvorby a akumulácie. Prvým krokom je pochopiť, aké typy stickies spôsobujú problémy (mikro, makro, primárne, sekundárne). Existujú dva hlavné mechanizmy, kvôli

ktorým môže dôjsť k tvorbe nánosov: tvorba nánosov spôsobená prirodzenou lepivou povahou stickies a tokom látky v dôsledku destabilizácie koloidného materiálu [10].

Obrázok 1 schematicky popisuje možné interakcie medzi recyklovaným papierom, buničinou a chemickými prísadami. Živice prítomné v buničine môžu vytvoriť synergický účinok s mikro-stickies prítomnými v recyklovanom papieri a navzájom sa destabilizovať [10]. Chemikálie použité v procese môžu destabilizovať škodlivé látky prítomné v procese a spôsobiť tvorbu sekundárnych lepiwych látok. Ako už bolo spomenuté, stickies sú pomerne zložité látky a môžu obsahovať organický aj anorganický podiel.



Obr.1 Interakcie prispievajúce k tvorbe makrostickies.

Počas laboratórnych skúšok, boli použité nasledovné chemikálie a zanáškové skladby :

Vodolátka VL5 – 92,5 % zmes novín a časopisov + 7,5 % výmet PS2

Vodolátka VL1 - 13 % zmes novín a časopisov + 79,5 % biely kancelársky odpad + 7,5 % výmet PS2

Vodolátka VL0 – 2,5 % zmes novín a časopisov + 90 % biely kancelársky odpad + 7,5 % výmet PS2

Hydrocol OT – alkalizovaný mikromletý bentonit s priemernou veľkosťou častíc 4 μm (Clariant), HOT

Bentonit 4 – alkalizovaný mikromletý bentonit s veľkosťou častíc 6 μm (POL), B4

Bentonit 7 – alkalizovaný mikromletý bentonit s veľkosťou častíc 10 μm (POL), B7

CaCO₃ – mikromletý uhličitan vápenatý s priemernou veľkosťou častíc 5 μm (Omya), CC3

Finntalc 10 – mikromletý mastenec s priemernou veľkosťou častíc 3 μm (FIN), FIN

Acefloc 2550 – priestorovo sieťovaný polyamín (Allied Solutions) A255

Acefloc 4450 – polydadamac (Allied Solutions) A455

Polymín SK – modifikovaný polyetylénimín (BASF) PSK

Stanovenie lepidých nečistôt:

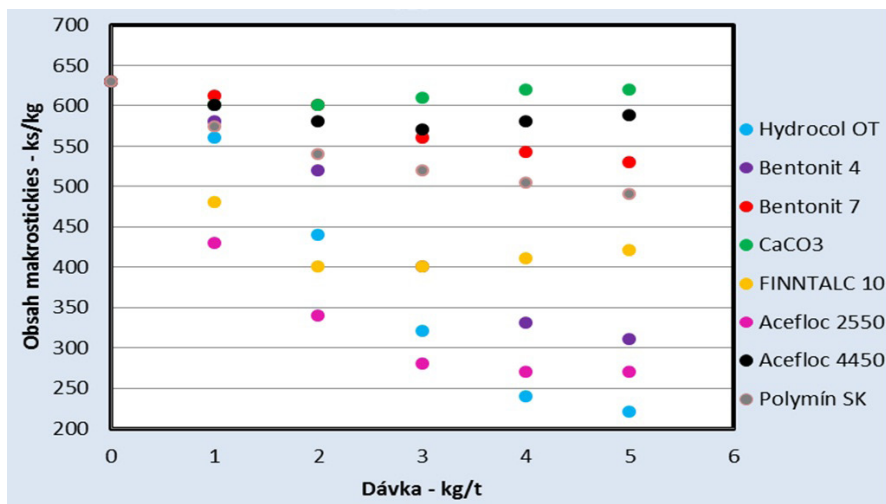
1. Na stanovenie lepidých nečistôt sa použije vzorka o množstve 30 g a.s., ktorá sa za stáleho preplachovania vodou vytriedi v zariadení Sommerville na platni s veľkosťou štrbín 150 μm . Doba triedenia je 20 minút.
2. Látka zachytená na triediacej platni sa kvantitatívne prenesie pomocou hárkovača Rapid-Kothen na filtračný papier o priemere 220 mm tak, aby bola rovnomerne rozložená po celej jeho ploche. Filtračný papier s vytriedenou látkou sa nechá sušiť voľne na vzduchu.
3. Hárky s vytriedenou a vysušenou vlákninou sa vložia medzi dva čisté filtračné hárky s priemerom 220 mm. Lisujú sa v lise s vyhrievanými platňami pri teplote 160 $\pm$ 10°C a tlaku 2,5 MPa, po dobu 4 min.
4. Po vylisovaní a vychladnutí sa hárky od seba oddelia a spočítajú sa nečistoty väčšie ako 0,1 mm², ktoré sa otláčili alebo prilepili na filtračný papier. Vyhodnotenie počtu lepidých nečistôt sa udáva v ks /kg a.s. látky.

Vodolátka VL5

Vodolátka VL5, použitá pri laboratórnych skúškach , mala nasledovné vlastnosti :

- priemernú belosť ISO 53,0 %
- priemerný obsah plniva 18,5 %
- priemerný obsah makrostickies 450 ks/kg

V priebehu laboratórnych skúšok, bol sledovaný vplyv rozličných chemických prostriedkov na obsah lepidých nečistôt (makrostickies) v suspenzii vodolátky. Vplyv použitých chemických prostriedkov na obsah makrostickies vo vodolátke VL5, uvádzame na obr.2.



Obr. 2 Vplyv chemikálii na obsah makrostickies, vodolátka VL5.

Najlepšie výsledky pri eliminácii makrostickies, boli dosiahnuté pri aplikácii modifikovaného mikromletého bentonitu Hydrocol OT. Pri dávke HOT 5 kg/t a.s. vodolátky bol dosiahnutý pokles obsahu makrostickies zo 630 ks/kg na 220 ks/kg, čo predstavuje účinnosť 65,1 %. Veľmi dobrá účinnosť pri eliminácii makrostickies, bola dosiahnutá aj pri aplikácii bentonitu B4, kde sa dosiahol pokles obsahu makrostickies zo 630 ks/kg na 310 ks/kg, čo predstavuje 50,8 účinnosť. Zároveň skúšky potvrdili skutočnosť, že čím má bentonit nižšiu zrnitosť, tým lepšie účinkuje pri eliminácii makrostickies. Aplikácia mikromletého mastenca FINNTALC 10 mala svoje opodstatnenie len do dávky 2 kg/t, kedy bol dosiahnutý pokles makrostickies o 230 ks/kg, čo predstavuje účinnosť 36,5 %. Aplikácia mikromletého uhličitanu nemala prakticky žiaden vplyv na obsah makrostickies v testovanej vodolátke zberového papiera. Z použitých organických polymérov, bola dosiahnutá najvyššia účinnosť eliminácie makrostickies, pri aplikácii prostriedku Acefloc 2550. Pri dávke 5 kg/t, bol dosiahnutý pokles makrostickies o 360 ks/kg, čo predstavuje účinnosť 57,1%. Aplikáciou polyetylénimínu Polymín Sk, bola dosiahnutá pri dávke 5 kg/t len účinnosť 22,2 %.

Vodolátka VL1

Vodolátka VL1, použitá pri laboratórnych skúškach, mala nasledovné vlastnosti :

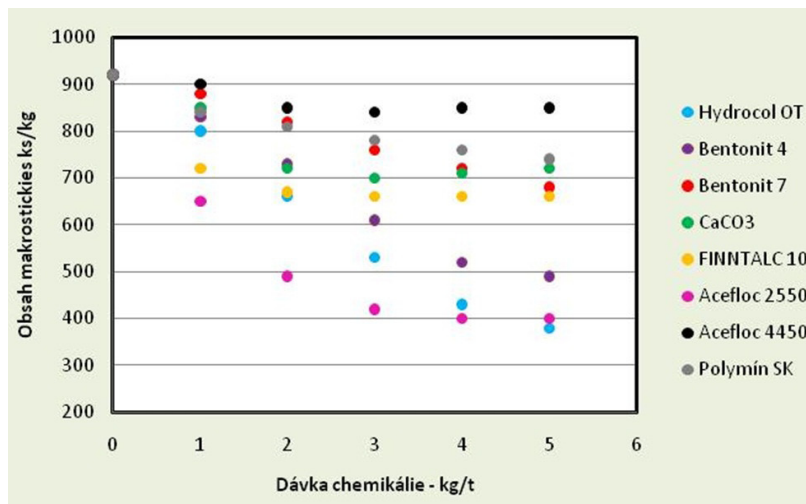
- priemernú belosť ISO 64,0 %
- priemerný obsah plniva 29,4 %
- priemerný obsah makrostickies 920 ks/kg

K suspenzii vodolátky VL1, boli pridávané rôzne druhy a množstvá chemikálií. Po homogenizácii vzorky a zdržnej dobe 30 minút, bol stanovený obsah makrostickies, podľa vyššie uvedeného postupu. Vplyv jednotlivých druhov a množstiev chemikálií na obsah makrostickies vo vodolátkach, je uvedený v tab.1 a na obr. 3.

Tab.1 Vplyv prídavku chemických prostriedkov na obsah MS – ks/kg a.s. vodolátka VL1.

Vzorka	Dávka chemikáliei kg/t						pokles MS %
	0	1	2	3	4	5	
Hydrocol OT	920	800	660	530	430	380	58,7
Bentonit 4	920	830	730	610	520	490	46,7
Bentonit 7	920	880	820	760	720	680	26,1
CaCO ₃	920	850	720	700	710	720	23,9
Finntalc 10	920	720	670	660	660	660	27,2
Acefloc 2550	920	650	490	420	400	400	56,5
Acefloc 4450	920	900	850	840	850	850	8,7
Polymín SK	920	840	810	780	760	740	19,6

Z chemických prostriedkov použitých na elimináciu makrostickies (ďalej MS), bola dosiahnutá najvyššia účinnosť pri použití modifikovaného bentonitu Hydrocol OT, kedy bol dosiahnutý pokles MS o 58,7 % pri dávke 5 kg/ t a.s. vodolátky. Veľmi vysoká účinnosť 46,7%, bola dosiahnutá pri aplikácii bentonitu B4 s priemernou veľkosťou častíc 5 µm. Z organických prostriedkov, bola dosiahnutá najvyššia účinnosť pri použití priestorovo sieťovaného polyamínu Acefloc 2550. Pokles obsahu MS dosiahol 56,5 %, pričom najvyšší nárast účinnosti prostriedku bol do dávky 3 kg/t a.s. vodolátky.



Obr.3 Vplyv chemikálií na obsah makrostickies, vodolátka VL1.

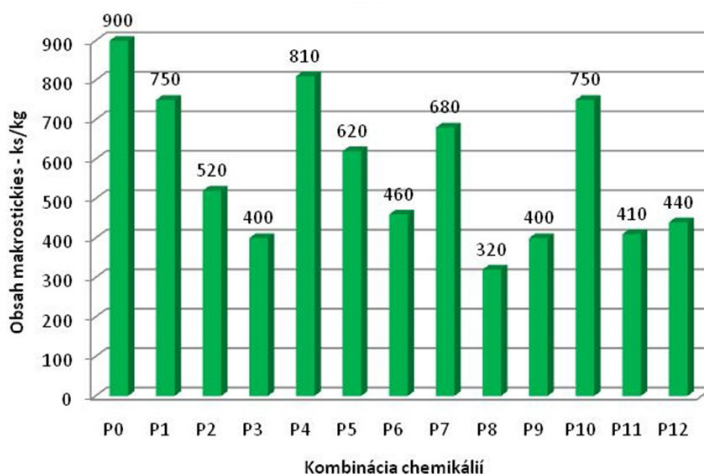
Ďalšia časť laboratórnych testov bola zameraná na použitie kombinácie anorganických a organických prostriedkov na elimináciu lepičích nečistôt. V tab. 2 a na obr. 4 uvádzame vplyv

kombinácie prostriedku Acefloc 2550 a rôznych druhov bentonitov na obsah MS.

Tab.2 Vplyv kombinácie chemikálií na obsah makrostickies-VL.

Vzorka	AC2550 kg/t	HOT kg/t	B4 kg/t	MS ks/kg	pokles MS %
P0	0	0		900	0,0
P1	0	1		750	16,7
P2	0	3		520	42,2
P3	0	5		400	55,6
P4	0		1	810	10,0
P5	0		3	620	31,1
P6	0		5	460	48,9
P7	1	1		680	24,4
P8	1	3		320	64,4
P9	1	5		400	55,6
P10	1		1	750	16,7
P11	1		3	410	54,4
P12	1		5	440	51,1

Z použitých kombinácií chemikálií bola najvyššia účinnosť, pri eliminácii MS, dosiahnutá pri kombinácii 1 kg/t Acefloc2550 + 3 kg/t Hydrocol OT, kedy došlo k zníženiu obsahu MS o 64,4%. Vyšší prídavok bentonitu už mal za následok zníženie účinnosti. Laboratórne výsledky potvrdili skutočnosť, že okrem dávky chemikálií, má na účinnosť vplyv aj ich kvalita. Čím je bentonit viac modifikovaný a jemnejšie mletý, tým sa dosahuje jeho aplikáciou vyššia účinnosť pri eliminácii MS.



Obr. 4 Vplyv kombinácie chemikálií na obsah MS, vodolátka VL1.

Vodolátka VL0

Vodolátka VL0, použitá pri laboratórnych skúškach , mala nasledovné parametre:

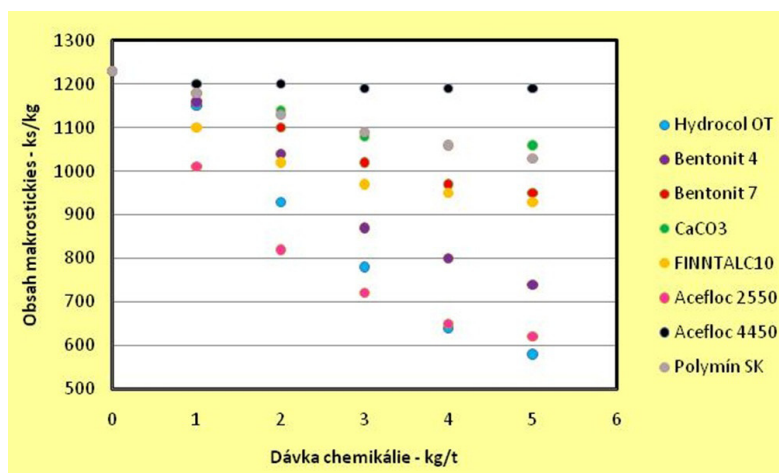
- priemernú belosť ISO 68,3 %
- priemerný obsah plniva 35,7 %
- priemerný obsah makrostickies 1230 ks/kg

K suspenzii vodolátky VL0, podobne ako pri vodolátke VL1, boli pridávané rôzne druhy a množstvá chemikálií. Po homogenizácii vzorky a zdržnej dobe 30 minút , bol stanovený obsah makrostickies, podľa vyššie uvedeného postupu. Vplyv jednotlivých druhov a množstiev chemikálií na obsah makrostickies vo vodolátkach, je uvedený v tab.3 a na obr. 5

Tab.3 Vplyv prídavku chemických prostriedkov na obsah MS - ks/kg a.s. vodolátky VL0

Vzorka	Dávka chemikálii kg/t						pokles MS
	0	1	2	3	4	5	%
Hydrocol OT	1230	1150	930	780	640	580	52,8
Bentonit 4	1230	1160	1040	870	800	740	39,8
Bentonit 7	1230	1180	1100	1020	970	950	22,8
CaCO ₃	1230	1200	1140	1080	1060	1060	12,2
Finntalc 10	1230	1100	1020	970	950	930	17,1
Acefloc 2550	1230	1010	820	720	650	620	49,6
Acefloc 4450	1230	1200	1200	1190	1190	1190	3,3
Polymín SK	1230	1180	1130	1090	1060	1030	16,3

V súlade s výsledkami laboratórnych testov na vodolátke VL1 aj na vodolátke VL0, bola dosiahnutá najvyššia účinnosť pri použití modifikovaného bentonitu Hydrocol OT, kedy bol dosiahnutý pokles MS o 52,8 % pri dávke 5 kg/t a.s. vodolátky. Z organických prostriedkov, bola dosiahnutá najvyššia účinnosť pri použití priestorovo sieťovaného polyamínu Acefloc 2550. Pokles obsahu MS dosiahol 49,6 %.

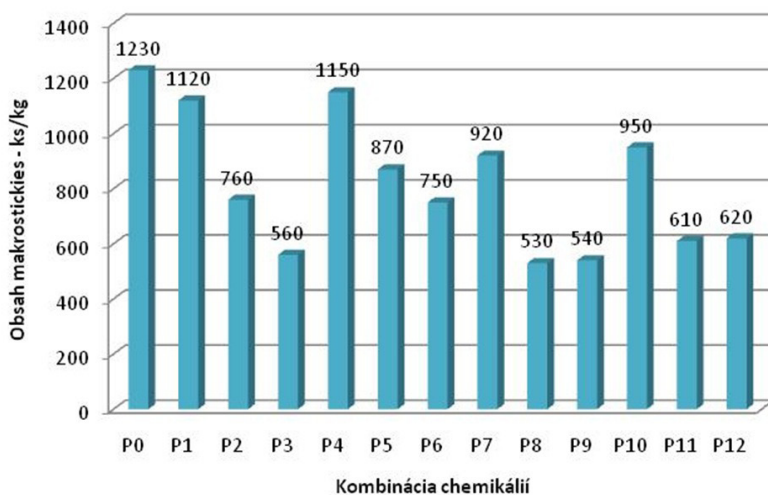


Obr. 5 Vplyv chemikálií na obsah makrostickiek, vodolátka VLO.

Ďalšia časť laboratórnych testov bola zameraná na použitie kombinácie anorganických a organických prostriedkov na elimináciu lepiých nečistôt. V tab. 4 a na obr. 6 uvádzame vplyv kombinácie prostriedku Acefloc 2550 a rôznych druhov bentonitov na obsah MS.

Tab.4 Vplyv kombinácie chemikálií na obsah makrostickiek-VLO.

Vzorka	AC2550 kg/t	HOT kg/t	B4 kg/t	MS ks/kg	pokles MS %
P0	0	0		1230	0,0
P1	0	1		1120	8,9
P2	0	3		760	38,2
P3	0	5		560	54,5
P4	0		1	1150	6,5
P5	0		3	870	29,3
P6	0		5	750	39,0
P7	1	1		920	25,2
P8	1	3		530	56,9
P9	1	5		540	56,1
P10	1		1	950	22,8
P11	1		3	610	50,4
P12	1		5	620	49,6



Obr. 6 Vplyv kombinácie chemikálií na obsah MS, vodolátka VLO.

Z použitých kombinácií chemikálií bola najvyššia účinnosť pri eliminácii MS dosiahnutá pri kombinácii 1 kg/t Acefloc2550 + 3 kg/t Hydrocol OT, kedy došlo k zníženiu obsahu MS o 56,9 %. Veľmi dobré výsledky boli dosiahnuté aj kombináciou chemikálií Acefloc 2550 a bentonit B4, kedy bola dosiahnutá účinnosť 50,1 %. Opäť sa potvrdila skutočnosť, že čím je bentonit viac modifikovaný a jemnejšie mletý, tým sa dosahuje jeho aplikáciou vyššia účinnosť pri eliminácii MS.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy číslo APVV-16-0409.

Literatúra

1. Sarja, T., Measurements, Nature and Removal of Stickies from Deinked Pulp, 2007, Faculty of Technology of the University of Oulu: Oulu, Finland. p. 82.
2. Putz, J., Stickies in recycled fiber pulp, in Recycled fiber and deinking, L. Göttching, Pakarinen, H., Editor 2000, Fapet Oy: Helsinki, Finland. p. 441-498.
3. Blanco, A., Miranda, R., Negro, C., Garcia-Suarez, C., Garcia-Prol, M., Sanchez, A., Full characterization of stickies in a newsprint mill: the need for a complementary approach TAPPI Journal, 2007. 6(1): p. 19-25.
4. Doshi, M.R., Dyer, J.M. Review of Quantification Methods for PSA and Other Stickies. In: TAPPI Recycling symposium. 2000.
5. Hubbe, M.A., Rojas, O.J., Venditti, R.A., Control of tacky deposits on paper machines – A review. Nordic Pulp and Paper Research Journal, 2006. 21(2).
6. Hubbe, M.A., Stickies, Pitch, and Secondary Fiber - A Chemist's View, In: Opportunities in Wet-End Chemistry: Feature Essay 2000, <http://www4.ncsu.edu/~hubbe/new>.

7. Gribble, C., Matthews, P., Gantenbein, D., Turner, A., Schoelkopf, J., Gane, P., Adsorption of surfactant-rich stickies onto mineral surfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2010. 352: p. 483-490.
8. Doshi, M.R., Blanco, A., Dorris, G.M., Hamann, A., Haynes, D., Houtman, C., Putz, H-J., Johansson, H., Venditti, R.A., Comparison of microstickies measurement methods part 1: sample preparation and measurement methods. *Progress in Paper Recycling*, 2003. 12(4): p. 35-42.
9. *Recycled Fiber and Deinking*. Vol. 7. 2000, Helsinki, Finland: Fapet Oy.
10. Monte, M., MacNeil, D., Negro, C., Blanco, A., Interaction of dissolved and colloidal material during the mixing of different pulps. *Holzforschung* 2010. 64: p. 277-283.
11. Bajpai, P.K., Effects of Increased Closure Water-Loop Systems in Pulp and Paper Industry. *Ippta*, 2012. 24(2): p. 91-93.
12. Monte, M., Blanco, A., Negro, C., Tijero, J., Development of a methodology to predict sticky deposits due to the destabilization of dissolved and colloidal material in papermaking - application to different systems. *Chemical Engineering Journal*, 2004. 105: p. 21-29.
13. Monte, M.C., Sanchez, M., Blanco, A., Negro, C., Tijero, J., Improving deposition tester to study adherent deposits in papermaking. *Chemical Engineering Research and Design*, 2012: p. 9.
14. Laurila-Lumme, A., Pakarinen, H., Leino, H.J., Process for substantially retarding dissolution of calcium carbonate in a papermaking system, 2003.
15. Jansson, A.C. Carbon Dioxide based applications for optimization of Calcium Carbonate containing papermaking process. in *TAPPI Paper Conference*. 2009. St.Louis, MO.
16. Engstrand, P., Johansson, B., Paper recycling, in *The Ljungberg Textbook* 2005, KTH Stockholm, Sweden.
17. Holik, H., Unit operations and equipment in recycled fiber processing, in *Recycled Fiber and Deinking*, L. Göttching, Pakarinen, H., Editor 2000, Fapet Oy: Helsinki, Finland. p. 91-201.
18. Heimonen, J., DIP concepts for tissue. *PPI*, 2005. 47(6): p. 47-52.
19. Selder, H., Benito, R., DIP for magazine papers. *PPI*, 2005. 47(7): p. 26-29.
20. Delagoutte, T., Stickies characterization along the deinking lines of the SCA tissue mills, 2008: Grenoble. p. 68.
21. Shammass, N.K., Wang L.K., Selke, W.A., Completely closed water systems in paper mills, in *Flotation Technology* 2010, Humana Press: New York. p. 401-427.
22. Lassus, A., Recycled fiber and deinking, in *Recycled Fiber and deinking* 2000, Fapet Oy: Jyväskylä. p. 241-264.
23. Lassus, A., Deinking Chemistry, in *Recycled Fiber and deinking* 2000, Fapet Oy: Jyväskylä. p. 241-264.
24. Fogarty, T.J. Cost effective, common sense approach to stickies control. In: *Pulping Conference*. 1992. TAPPI Proceedings.

Základné trendy celulózo-papierenského priemyslu krajín CEPI

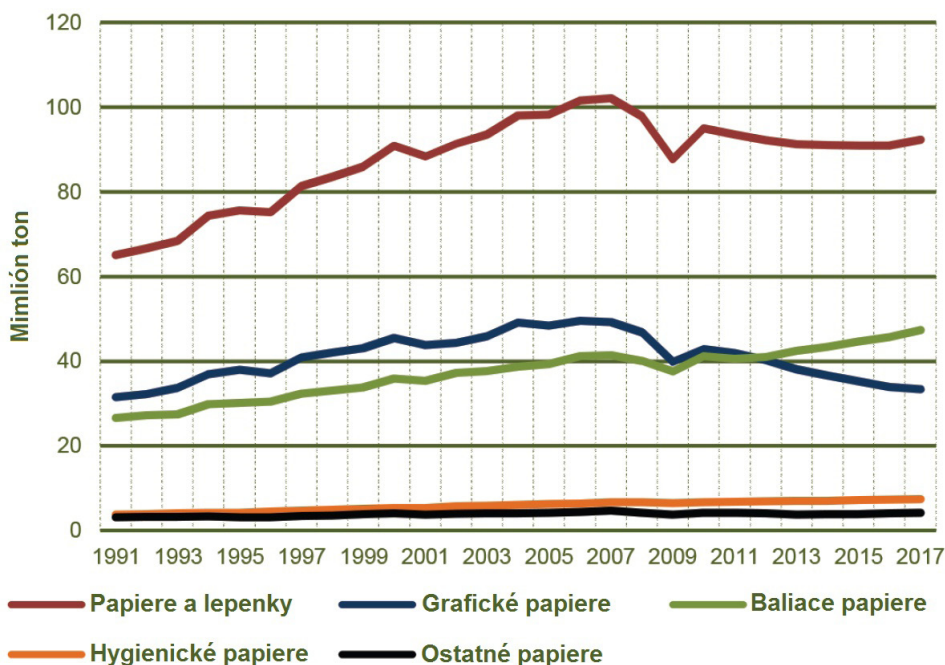
Peter Medo*, Štefan Boháček, Miroslav Vajs, Juraj Dlhopolček, Alena Zuzánková
Výskumný ústav papiera a celulózy, Bratislava
medo@vupc.sk

Abstrakt

Celkové vyrobené množstvo papiera, kartónu a lepenky v krajinách CEPI (Confederation of European Paper Industries) sa v roku 2017 odhaduje na 92,3 mil ton, čo predstavuje 1,5 % -ný medziročný nárast. Naďalej pokračuje pokles vo výrobe grafických papierov a rast obalových papierov. Medziročný nárast výroby vlákna predstavuje 2,2 % s celkovou produkciou cca 38, 1 mil. ton za rok 2017. Návratnosť papiera pre recykláciu porovnaním s rokom 2016 vzrástla o cca 1,3 %.

Úvod

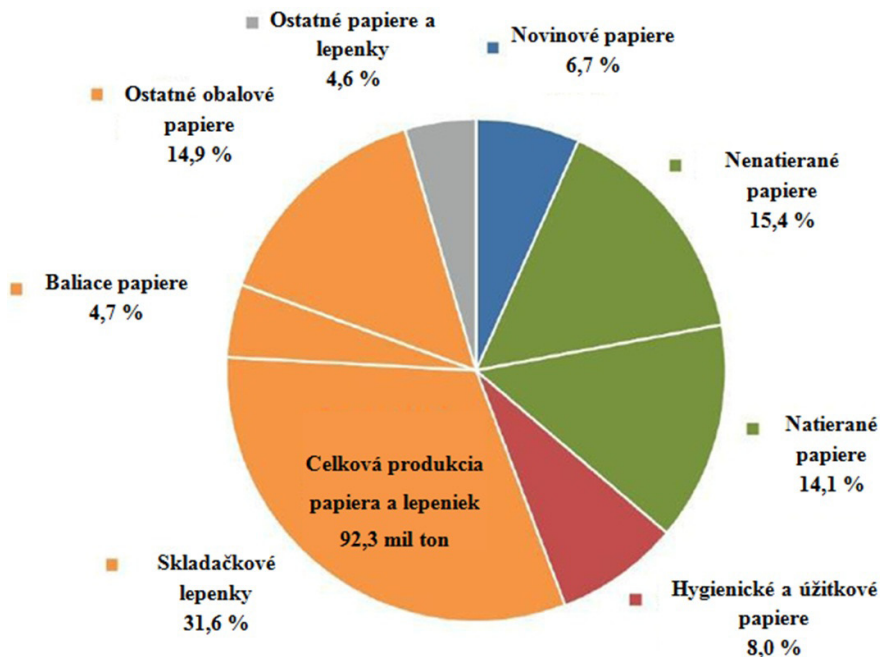
Na základe predbežných štatistických údajov výroba papiera, kartónu a lepenky členských krajín CEPI v roku 2017 v porovnaní s minulým rokom vzrástla o 1,5 %. Odhad celkovej výroby v roku 2017 je cca 92.3 mil. ton. Rovnako ako v roku 2016 nové výrobné kapacity a obnova existujúcich vykompenzovali stratu produkcie, ktorá nastala uzavretím niektorých výrobných zariadení v priebehu roka. Podľa predbežných odhadov svetová výroba papierenskej produkcie v roku 2017 tiež vzrástla o 1,5 % a dosiahla takmer 420 mil. ton. Japonsko zaznamenalo mierny rast, kým v USA je produkcia bez zmeny. Výroba v Kanade, Južnej Kórei a Indii sa znížila. V Číne produkcia rástla rýchlejšie, ako v predchádzajúcich rokoch: + 4,7 % v roku 2017, voči roku 2016 s + 2,9 % -ným rastom. Výrazný nárast tiež zaznamenali v krajinách Brazília a Rusko.



Obr. 1 Výroba papiera, kartónu a lepenky v CEPI krajinách (v mil. ton).

Posledné trendy vo výrobe grafických a obalových druhov pokračujú

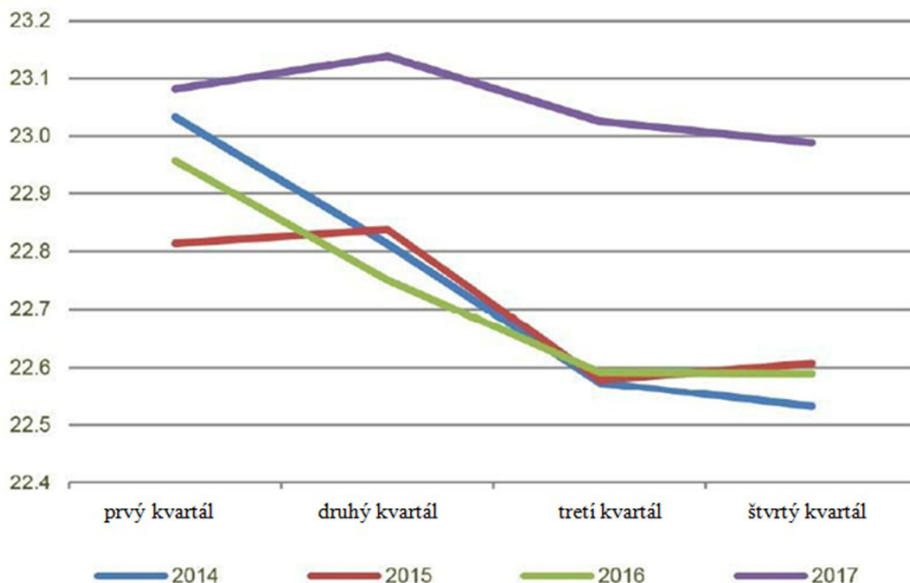
Rozdiely trendu produkcie grafických druhov papierov v porovnaní s obalovými druhmi pokračujú poklesom vo výrobe grafických druhov a pokračujúcim rastom obalových druhov. Celková výroba grafických druhov papiera klesla o cca 1,5 %. Výroba novinového papiera - hlavne denníkov - klesla podľa odhadu o cca 5,4 %. Mierne odlišné trendy sa ukazujú pri výrobe časopiseckých a katalógových papierov, reklám, telefónnych zoznamov atď. Produkcia natieraných drevitých papierov klesla o 1,0 % kým výroba natieraných bezdrevných papierov vzrástla o 2,0 %. Výroba nenatieraných drevných papierov klesla o 2,1% a u natieraných bezdrevných druhov papiera sa odhaduje pokles o 1,3 %. Celkový odhad rastu výroby natieraných druhov papierov je 0,5 %, kým u nenatieraných druhov sa odhaduje pokles 1,6 %. Výroba bezdrevných grafických papierov ukazuje mierny pokles 0,1 %, kým u drevitých papierov je pokles 1,5 %.



Obr. 2 Výroba papiera, kartónu a lepenky podľa druhov v krajinách CEPI v roku 2017.

Odhad rastu výroby obalových druhov papiera porovnaním s rokom 2016, je 3,7 %. V rámci obalových druhov, hlavne obalov využívaných pri preprave a krabíc z vlnitej lepenky, bol zaznamenaný silný nárast výroby, o 5 %. Výroba skladačkovej lepenky spolu s ostatnými obalovými druhmi, ako sú obaly pre malé tovary, alebo pre knižné dosky, vzrástla o 0,5 %. Produkcia je ovplyvnená súčasným trendom, využívať obaly s nízkou plošnou hmotnosťou, čo ovplyvňuje výkony merané v tonách. Podiel obalových druhov je 51,2 % (50,2 % v roku 2016) k celkovej výrobe papiera, kartónu a lepenky, kým podiel výroby grafických druhov papierov je 36,2 % (37,3 % rok 2016).

Nárast výroby sanitárnych a hygienických úžitkových papierov sa odhaduje o cca 1,1 %, v porovnaní s rokom 2016 a ich podiel na celkovej produkcii sa odhaduje na 8 %. (8 % v roku 2016). Výroba ďalších druhov papierov, kartónov a lepeniek priemyselne a špeciálne účely – vzrástla o 2,5 % (4,6 % z celkovej výroby, 4,5 % voči roku 2016).

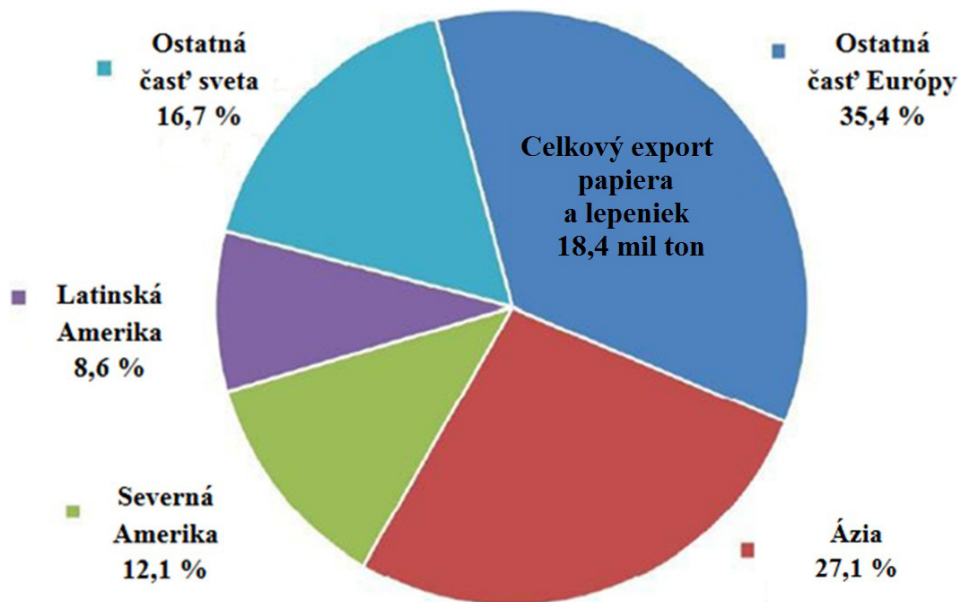


Obr. 3 Kvartálne sledovaná výroba papierov, kartónov a lepeniek.

Nárast dodávok papiera, kartónu a lepenky krajín CEPI sa očakáva na úrovni 1,8 %.

Na základe kumulatívnych dát na konci tretieho kvartálu roku 2017 sa očakáva, že dodávky za celý rok narastú o 1,8 %, v porovnaní s rokom 2016. Vnútorne dodávky vzrastú o cca 1 %. Na konci septembra 2017 dodávky grafických papierov klesli o 1,7 %, kým obalových druhov papierov dodávky narástli o 4,1 %.

Export do konca septembra 2017 vzrástol o 5,4 % s tým, že hlavnými trhmi sú európske krajiny, ktoré tvorili 35 % z celkového exportu (37 % za rovnaké obdobie v roku 2016). Dodávky do ázijských krajín tvorili 27 % (26 % v roku 2016), 12 % -ný sa predpokladá export do Severnej Ameriky (rovnako ako v roku 2016), 9 % do Latinskej Ameriky a 17 % do ostatných krajín.



Obr. 4 Export papierov, kartónov a lepeniek v jednotlivých regiónoch v roku 2017.

Predbežné štatistiky zaznamenávajú, že import papiera, kartónu a lepenky do regiónu klesol o cca 3,6 % v porovnaní s rokom 2016. Import z ďalších európskych krajín za prvé tri kvartály tvorí 44 % z celkového importu (44 % za rovnaké obdobie roku 2016). Import zo Severnej Ameriky dosiahol podiel 31 % (30 % v roku 2016) s rozdelením zostatkových 26 % z ďalších oblastí – Ázia 11 %, Latinská Amerika 6 %, zostatok sveta 9 %.

Odhad nárastu celkovej spotreby papiera, kartónu a lepenky je o cca 0,5 %.

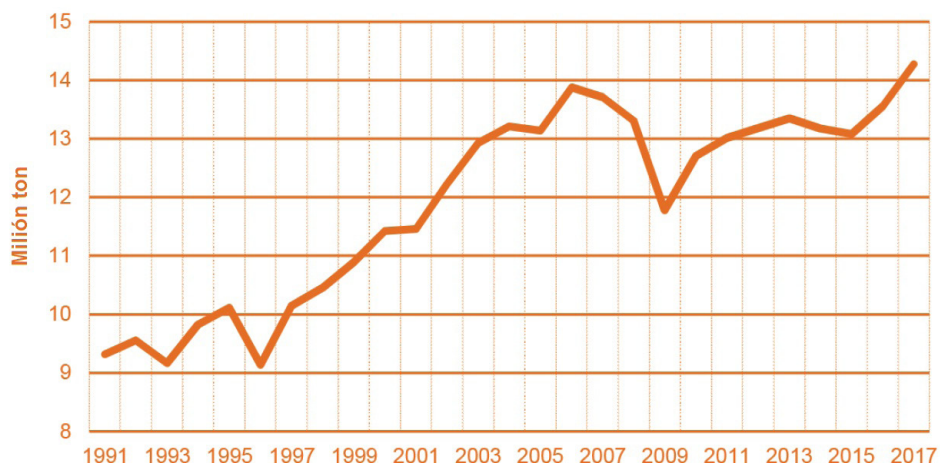
Na základe posledných dostupných dát celková spotreba papiera, kartónu a lepenky v krajinách CEPI za rok 2017 vzrástla o 0,5 %, v porovnaní s rokom 2016. Ako dôsledok priaznivého ekonomického prostredia v EÚ a silného globálneho rastu a obchodovania je už štvrtý rok zaznamenaný rast spotreby papiera.

Pre HDP EÚ sa očakáva rast 2,1 % za rok 2018 po 2,3 % raste v roku 2017.

Celková produkcia vlákien vzrástla o 2,2 % a výroba komerčnej vlákny o 5,3 %.

Predpokladaný rast výroby vlákien (integrovanej a komerčnej) predstavuje 2,2 % v porovnaní s predchádzajúcim rokom a s celkovou produkciou cca 38, 1 mil. ton. Výroba mechanických druhov vlákien vzrástla o cca 0,8 % a výroba buničín vzrástla o cca 2,7 %, v porovnaní s rokom

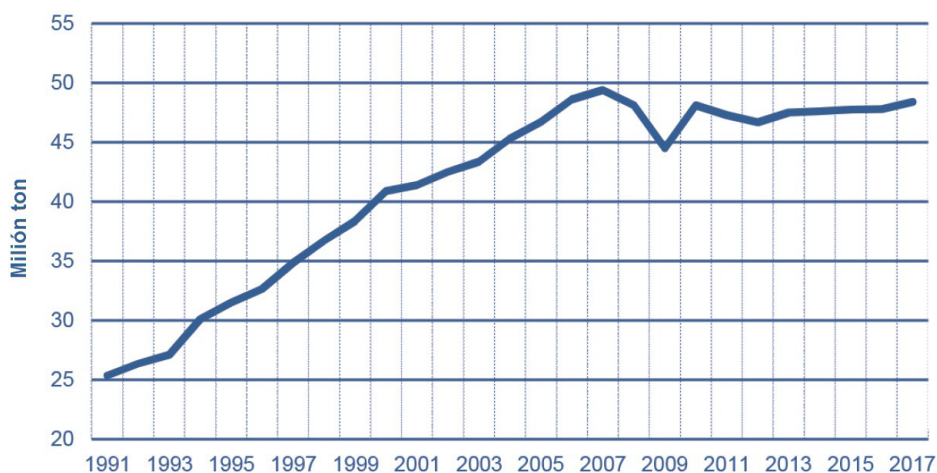
2016. Odhadom produkcia komerčnej vlákniny vzrástla o 5,3 %, ako dôsledok významných investícií do nových kapacít.



Obr. 5 Výroba komerčnej vlákniny v krajinách CEPI.

Návratnosť papiera pre recykláciu porovnaním s rokom 2016 vzrástla o cca 1,3 %.

Odhadom je návratnosť papiera pre recykláciu v krajinách CEPI 48,4 mil. ton, čo je nárast o cca 1,3 %, v porovnaní s rokom 2016.

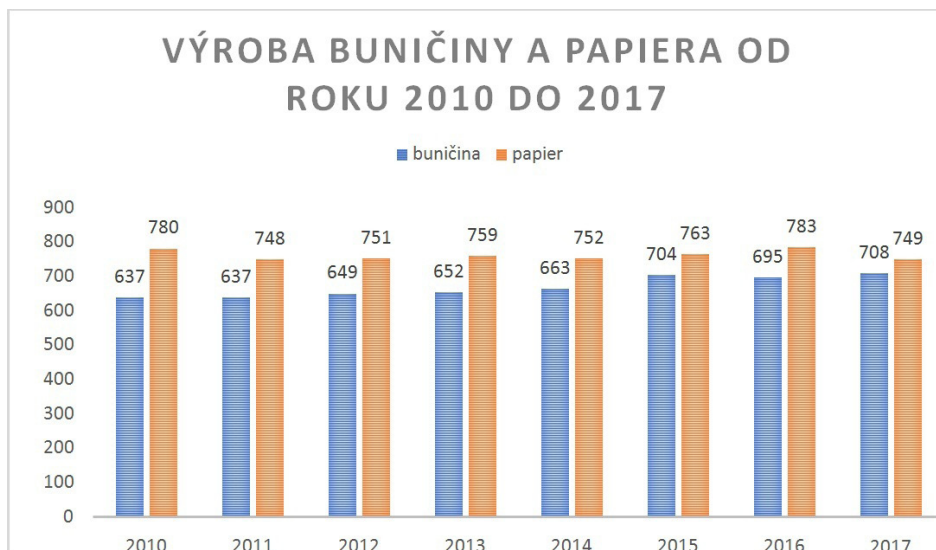


Obr. 6 Návratnosť papiera pre recykláciu v krajinách CEPI.

Výroba buničiny sa za rok 2017 oproti predošlému zvýšila o 13 tis. ton a výroba papiera sa znížila o 34 tisíc ton.

Mondi SCP plánuje investíciu na výrobu vlnitej lepenky. Vďaka plánovanej investícii by malo vzniknúť 90 nových pracovných miest. S realizáciou projektu ružomerská spoločnosť začala v prvom kvartáli roka 2018.

Po roku by sa malo začať s výrobou nového výrobku. Uvažuje sa s výrobou už len dvojvrstvového recyklovaného kartónového vlnitého papiera s povrchovou vrstvou z bielennej buničiny v maximálnom objeme 300 tisíc ton za rok.



Obr. 7 Výroba buničiny a papiera od roku 2010 do 2017.

Tezaurus – terminologický riadený slovník pre problematiku celulózo-papierenského priemyslu

Alena Zuzánková*

Výskumný ústav papiera a celulózy, Bratislava
zuzankova@vupc.sk

Abstrakt

Tezaurus – riadený terminologický slovník- sa v informačnom prostredí stále považuje za účinný podkladový materiál pri zostavovaní prehľadu na danú tému. Pri zakladaní výskumných úloh a projektov, ale aj v priebehu ich riešenia sa realizujú rešerše a študijné práce na hodnotenie aktuálneho stavu vývoja a techniky. Absencia tezauru na Slovensku a v tomto regióne je považovaná za nedostatok, keďže vo všetkých krajinách s vyspelým celulózo-papierenským priemyslom je materiál – tezaurus - bežne využívaný, ako informačný prostriedok na rýchlu orientáciu v riešenej problematike. Cieľom projektu APVV bolo vybudovať jednojazyčný tezaurus, ako prostriedok na zjednotenie terminológie a jeho využitie, ako účinný podkladový materiál pri zostavách rešerší, štúdií, projektov a výskumných prác. V rámci procesu otvoreného prístupu k výsledkom výskumu a k informáciám je TEZAURUS – CELPAP sprístupnený odbornej verejnosti na webovej stránke VÚPC, a.s.

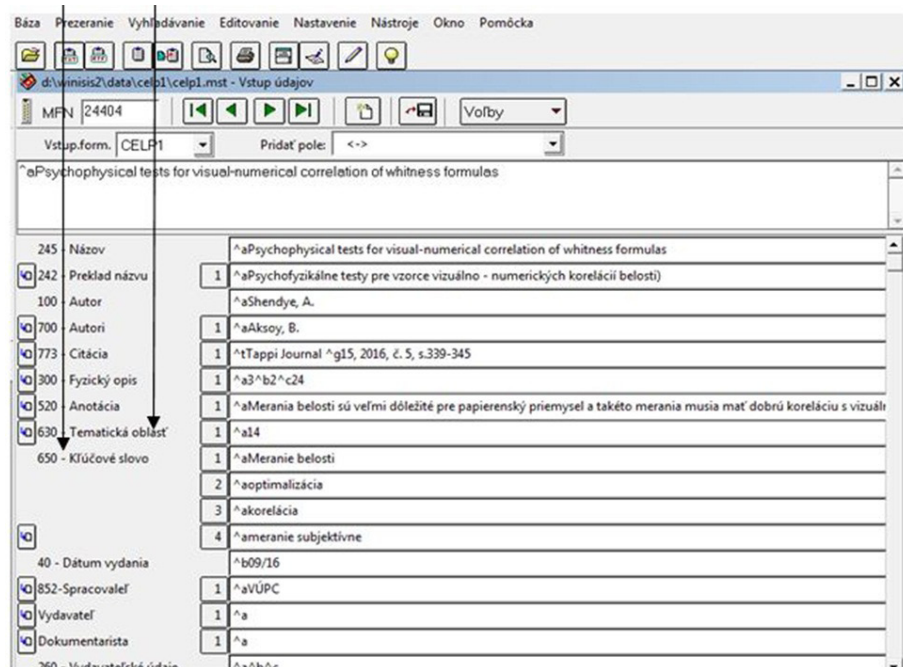
Kľúčové slová: Tezaurus, terminologický riadený slovník, celulózo-papierenský priemysel, .

Úvod

Informačné vedy vo všeobecnosti považujú riadený slovník špecifických termínov- tezaurus - pre danú vednú oblasť za nadstavbu existujúceho informačného systému. Informačná veda, ako interdisciplinárny vedný odbor sa zaoberá širokým rozsahom aktivít od analýz, zberu, klasifikácie, uchovávaní a archivácie vyhľadaných informácií a ich následným rozširovaním používateľom informácií. Informačná veda, aplikovaná pre technické vedy sa hlavne orientuje na postupy so zlepšovaním orientácie a prehľadu vo veľkom rozsahu informácií, na stanovenie limitov špeciálnej terminológie, vytvorením skupín tematicky vymedzených informácií (tematické skupiny - TS) s príbuznou tematikou a s cieľom vytvoriť vzájomné technicko – ekonomické väzby medzi termínmi. Väčšina krajín s rozvinutým celulózo-papierenským priemyslom, ako Švédsko, Fínsko, Kanada bežne tezaurus v informačnej praxi využíva. Používatelia informácií majú

možnosť bežne využívať tezaurus ako prostriedok pri príprave podkladov pre rešerše a študijné materiály. Absencia tezauru danej vednej oblasti v našom regióne sa považuje za nedostatok, pretože prax stále potvrdzuje, že aj v čase rozvinutých počítačových techník má tezaurus svoje opodstatnenie, hlavne ako podkladový materiál pre zrozumiteľné pomenovanie riešeného problému v rámci prípravy rešerši, ako aj pri vyhľadávaní väzieb medzi termínmi. Okrem výskumu má tezaurus opodstatnenie aj v oblasti informácií pri hľadaní súvislostí a väzieb medzi termínmi, pri zabezpečovaní podkladov napríklad pri konzultáciách s používateľmi informácií. Súčasne poskytuje podklady pre rešeršné a študijné práce výskumných a projektových úloh, spolu aj so vzdelávacími aktivitami.

Celulózo-papierenský priemysel má v tomto regióne dlhodobú tradíciu z čoho vyplýva aj existencia termínov, ktoré sa postupne, historicky včlenili do terminológie. V súčasnosti sa niektoré termíny v bežne používanej terminológii stále zo zotrvačnosti používajú, aj keď sú už neaktuálne a nezodpovedajú súčasnej úrovni znalostí vo vede a technike. Práve tezaurus je informačný materiál, ktorý má terminológiu zjednocovať a podporovať používanie správnej terminológie. Priebežná aktualizácia termínov, sledovanie nových trendov vývoja v danej vednej oblasti a súčasná evidencia nových termínov, posúva tezaurus medzi informačné materiály vyššej úrovne, ktoré sú vhodné pri príprave podkladov navrhovaných výskumných úloh a projektov. Na splnenie uvedených cieľov je potrebné priebežne sledovať odbornú literatúru, ako zdroj aktuálnych informácií a tak získavať podklady pre správne zatriedenie termínu do väzieb a prepojení v rámci dohodnutej hierarchickej štruktúry. Zostava tezauru s orientáciou na technické vedy sa riadi normou ISO 2788 (1), ktorá pre lepšiu orientáciu v množstve termínov odporúča vytvoriť tematické skupiny (TS) tematicky príbuzných (podrobnejšie spracované ďalej). Zostava tematických skupín (TS) by mala optimálne prekryť rozsah spracovávaných informácií. Výber vhodného termínu na základe frekvencie jeho výskytu v odbornej literatúre a následný výber zodpovedajúcej tematickej skupiny (TS) sú prvoradé kroky zaradenia nového termínu do terminologického slovníka. Následným vyznačením jeho väzieb a prepojením na nadriadené, širšie termíny (ŠT), ďalej vytvorením okruhu podriadených, užších termínov (UT) a príbuzných termínov (PT) sa termín umiestni v sieti dohodnutej hierarchickej štruktúry tezauru.



Obr. 1 Hlavné selekčné prvky softvéru WinISIS využívané pri tvorbe tezauru.

K hlavným zdrojom informácií pre zostavu tezauru patria aj predchádzajúce skúsenosti z prác spojených s budovaním vlastnej databázy ADIS CELPA aplikovaním knižničného softvéru WinISIS. Na základe vlastného výberu selekčných prvkov, ktoré vyžaduje knižničný softvér WinISIS sa určili kľúčové slová, autori, citácia, názvy článkov atď. Softvér WinISIS prieběžne podporuje tvorbu slovníkov vybraných selekčných prvkov. Pre zostavu tezauru sú najvýznamnejšie slovníky kľúčových slov, prípadne ich viacslovných verzií, v ktorých je súčasne evidovaná aj ich frekvencia výskytu v spracovanej odbornej literatúre. Frekvencia výskytu kľúčových slov (termínov) patrí aj k základným kritériám pri ich výbere do terminologického slovníka – tezauru.

Z prác spojených s budovaním databázy ADIS CELPA sa prebrali aj skúsenosti so zostavou a náplňou tematických skupín (TS) pre tezaurus, ktoré sú významné pre technické odbory, ktoré pracujú s rozsiahlou tematikou informácií z rôznych vedných oblastí. Potvrdilo sa, že rozdelenie balíka informácií na jednotlivé skupiny s príbuzným predmetným zameraním sa v zahraničných materiáloch informačných stredísk s podobným profesionálnym zameraním veľmi neodlišujú od nášho rozdelenia. (2,3,4). Zo sledovania vyplynulo, že každá z 15 tematických skupín má, v našom prípade rozdelenia, rozsiahlejšiu predmetnú náplň z dôvodu udržať tezaurus, ako modifikovateľný informačný materiál s možnosťou priebežných zmien a úprav.

Každý väčší zásah do terminologického slovníka (včlenenie nového termínu, resp. vyčlenenie

neaktuálneho termínu) sa konzultuje s odborníkmi v danej špecifickej vednej oblasti. Informačný pracovník musí uskutočnené zmeny premietnuť do hierarchickej štruktúry tezauru a začleniť ich do vytvorenej siete vzájomných vzťahov pod širšie, nadriadené termíny, priradené užšie, podriadené termíny, vrátane rozpisu príbuzných termínov, ktoré sú vo vzťahu k hodnotenému termínu. Všetky zmeny sa musia robiť komplexne s prihliadnutím na vzťahy a v celom rozsahu zostavy tezauru a následne odsúhlasiť odborníkmi v danej vednej oblasti. Súčasne sa uskutočnia aj konzultácie informačnými a počítačovými špecialitami na získanie prehľadných a zrozumiteľných výstupov. Vypracovanie informačného materiálu – tezauru – sa vždy považuje za tímovú prácu odborníkov.

Zostava tematických skupín (TS)

- TS1: Suroviny na výrobu vlákien, papierenských vlákien, papierov, kartónov, lepeniek a papierenských výrobkov; udržateľné zdroje surovín, drevná hmota, chémia dreva, vlastnosti a štruktúra dreva, vlastnosti a štruktúra vlákna;
- TS2 : Recyklácia a spracovanie druhotných surovín a ich využitie v papierenskom a ďalších odboroch, deinking ;
- TS3 : Biotechnológie, biorafinácia, biopalivá, spracovanie biomasy, celulóza a jej zložky zlúčeniny, využívanie nanotechnológií na výrobu nanovláken;
- TS4: Výroba nebielených a bielených vlákien, špeciálnych druhov vlákien, vrátane prania a triedenia vlákien, rôzne fyz.- chemické procesy, využívané chemikálie a vedľajšie produkty pri výrobe vlákien;
- TS5: Technologické procesy pri príprave papierenských vlákien, príprava vodolátky, mletie, triedenie, prídavné prostriedky pri zušľachtovaní, pre zlepšenie odvodňovania, retencie, formácie papiera, vrátane fyzikálno-chemických procesov pri výrobe papiera;
- TS6: Technológie výroby papierov, kartónov a lepeniek (vrátane nasávaných výrobkov a netkaných textílií);
- TS7: Sortimenty papierov, kartónov a lepeniek a inovované papierenské produkty;
- TS8 : Úprava, natieranie, zušľachtovanie a spracovanie papierov, kartónov a lepeniek;
- TS9: Polygrafia - suroviny, farby, technológie tlače, odstraňovanie tlačovej farby
- TS10: Obnova, rekonštrukcie, investície, inovácie technologických zariadení a procesov;
- TS11: Prevádzka závodov celpap priemyslu (zariadenia strojné, meranie a regulácia, automatizácia, údržba, logistika, prevádzkové procesy, simulácia procesov, chemické a systémové inžinierstvo);
- TS12: Úspora materiálov, vody a energií, obnoviteľná energia;
- TS13 : Ochrana životného prostredia, odpady tuhé, kvapalné a plynne, znečisťovanie, ekológia, udržateľnosť vývoja, hygiena a bezpečnosť práce;
- TS14: Skúšobníctvo, vlastnosti fyzikálne, mechanické, optické, riadenie kvality, analýza vlákien, vlákien, buničín, papierov, kartónov a lepeniek;
- TS 15: Ekonomika a výskum v celpap priemysle, bioekonomika, vedné disciplíny, štatistika, počítačová technika, bázy dát, digitalizácia, informatika.

termíny	F	TS1	2	P	Použí termín	Použí pre termín	Širší termín	Užší termín	Príbuzný termín
dávkovače	6						zariadenia strojné		
dávkovanie	5						procesy výrobné		výroba papierov
dávkovanie							príprava vodolátky		výroba vlákien
deacetylácia	4						procesy chemické	acetylácia	výroba vlákien
deacidifikácia	4	odkyslenie					procesy chemické	acidifikácia	starnutie papiera
dedičstvo písomné							odkyslenie papiera	starnutie papiera	archivácia
dedičstvo industriálne							história		priemysel celulózpapierný
dedičstvo kultúrne							dedičstvo písomné		
defibrácia	4						procesy výrobné		rafinácia
defibrátory	10						zariadenia strojné		rafinéry
deflokulácia	6						proc.fyz.-chemické	príprava látky	výroba papierov
deformácia	14						vlastnosti fyz. - mechanické	deformácia elastická	

Obr. 2 Tlačový výstup tezaura – ukážka a legenda k použitým skratkám.

TS - tematická skupina pre zaradenie termínov s príbuzným tematickým zameraním

P - Použí vhodnejší termín

PP - Použí Pre –vyznačené pri menej používanom, prípadne neaktuálnom termíne

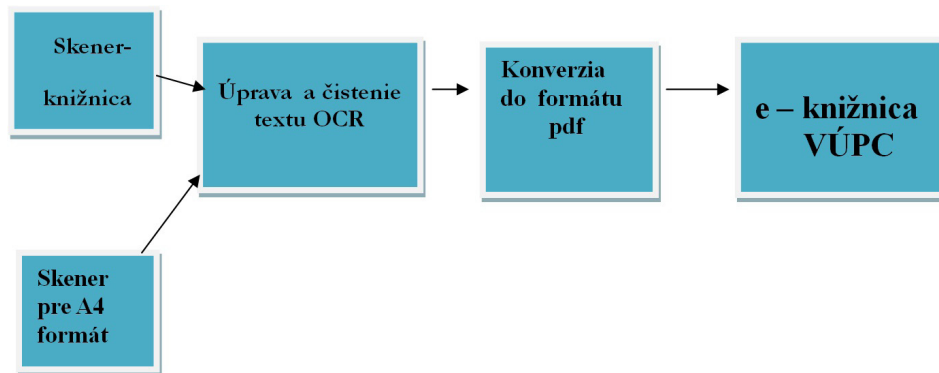
ŠT - Širší, nadradený Termín

UT - Užší, podradený Termín

PT - Príbuzný Termín

Cieľom uvedenej zostavy tematických skupín (TS) je, aby sa rozdelením na 15 tematických skupín obsiahlo optimálne množstvo informácií rôznych vedných disciplín, ktoré sa týkajú celulózo-papierenského priemyslu v podstatných aj vo vedľajších témach. Rozsah spracovávaných tém je zrejmý z nasledujúci príkladov - botanické vedy, ktoré sa zaoberajú obnovou a pestovaním drevnej hmoty (dendrológia), - mechanické a chemické postupy spracovania dreva na vlákenniny technológiami výroby rôznych druhov papierov, kartónov a lepeniek, - aplikácia prídavných chemických činidiel v procesoch výroby na dosiahnutie požadovaných vlastností, - vedné disciplíny spojené ich spracovaním a sledovaním vplyvu výrobných postupov na životné prostredie, spotrebu energie, vody atď. Rozdelenie celého balíka informácií na tematické skupiny (TS) umožňuje lepšiu orientáciu v rozsiahlom množstve

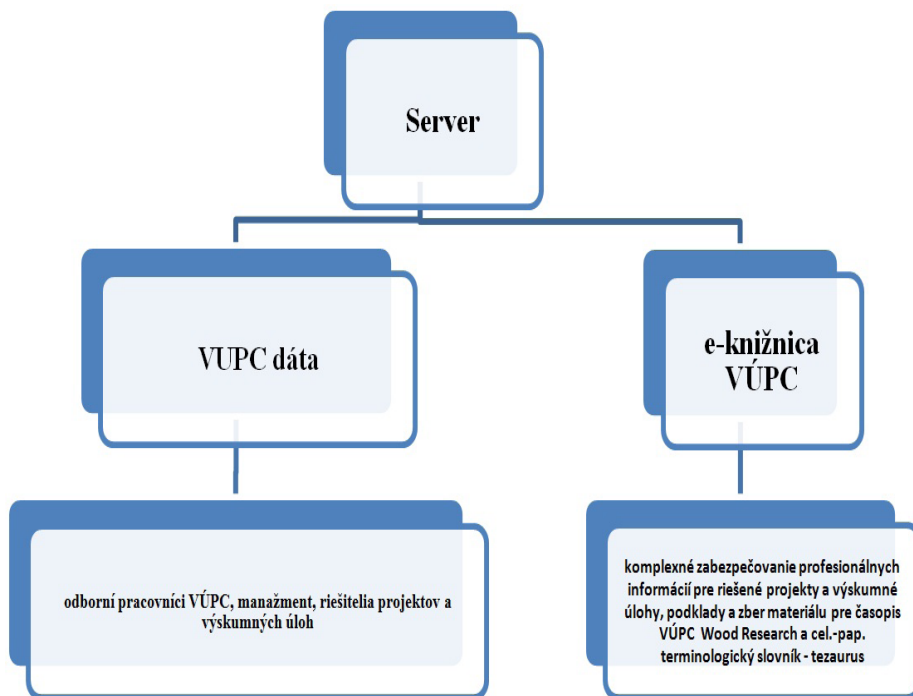
informácií a pomáha vyberať vhodné termíny a tým aj limitovať počet vstupujúcich termínov do systému.



Obr. 3 Postup digitalizácie informačných materiálov pre e-knižnicu.

Zameranie informačného strediska na koncového užívateľa informácií a aktívna účasť pri riešení výskumných úloh a projektov umožňujú priebežne získavať aktuálne zdroje informácií pre efektívnu akvizíciu knižničných a časopisových materiálov v zhode s tematikou riešených úloh. Výsledkom je profesionálny, aktívne využívaný informačný fond odborných materiálov, ktorý je v súčasnosti sprístupnený odborným pracovníkom prostredníctvom internej počítačovej siete VÚPC priamo z pracovných počítačov.

Digitalizovaný informačný fond je prínosom pre organizáciu v mnohých smeroch. Zabezpečené je uloženie informačných materiálov bez možnosti ich poškodenia, napríklad manipuláciou. Digitalizácia podstatne zlepšuje sprístupnenie a pružnejšie využívanie materiálov, ktoré dosiaľ ležali uložené bez povšimnutia v archívoch. Digitalizácia je súčasne zaujímavá aj z hľadiska priestorových požiadaviek na knižničné priestory. V prípade vzácných publikácií, alebo materiálov s historickou hodnotou, ktoré sa vo fonde VÚPC tiež vyskytujú je významná možnosť pracovať, časovo neobmedzene, s originálom v elektronickej forme, bez jeho možného poškodenia. Knižničný skener, vhodná počítačová technika a výkonný server spolu tvoria internú počítačovú sieť VÚPC, ktorá pozostáva z priečinkovej štruktúry na ukladanie informácií a súborov s možnosťou ich následného zdieľania so spolupracovníkmi. Štruktúru tvoria dva základné toky informácií; jeden je určený na ukladanie manažérskych informácií a druhý je využívaný pre potreby e - knižnice (obr. 3). Vzájomné prepojenie digitalizácie s bežnými knižnično – informačnými službami a spätná väzba na užívateľov informácií významne prispievajú k dopĺňovaniu nových termínov do tezauru a k jeho priebežnej aktualizácii.



Obr. 4 Interná počítačová sieť VÚPC

e priebežné kontroly prác pri zostavovaní tezauro sa úspešne aplikoval softvér MS Office Access 2013, ktorý poskytuje lepšiu vizualizáciu a orientáciu v zostave hierarchickej štruktúry tezauro (obr. 4). V rámci popularizácie výsledkov riešenia projektu je finálny materiál tezauro v rámci Open Access sprístupnený odbornej verejnosti na webovej stránke VÚPC (www.vupc.sk) pod názvom TEZAURUS CELPAP, spolu s manuálom využívania.

Tezaurus pre oblasť celulózo-papierenského priemyslu

8. október 2017

21:23:22

Termíny	TS	P	PP	ŠT	UT	PT
A		*	*	*	*	*
abies	1	jedľa		ihličnany		drevo vlákninové
				suroviny		zdroje lesné
abrazivita	14	odolnosť voči oderu		vlastnosti povrchové		sila trecia
absorbenty	4			prostriedky pomocné		
absorpcia	14		vstrebávanie	procesy fyz.-chemické	absorpcia energie	akumulácia
				vlastnosti fyzikálne	absorpcia svetla	
					absorpcia žiarenia	
absorpcia energie	14			absorpcia		spotreba energie
absorpcia svetla	14			vlastnosti optické		absorpcia
absorpcia vody	14			vlastnosti fyzikálne		obsah vlhkosti
absorpcia žiarenia	14			vlastnosti fyzikálne		žiarenie
acacia	1	agát		listnáče		drevo vlákninové
				suroviny		zdroje lesné
acetaldehyd	4			aldehydy		benzaldehyd
acetát celulózy	4			acetáty		rozpuštnosť
acetáty	4			chemikálie	acetát celulózy	buničina pre chem.sprac.

Strana 1

Obr. 5 Záznam výstupu z TEZAURUS- CELPAP.

Zostava terminologického riadeného slovníka - tezauru je projektovaná ako otvorený systém s možnosťou modifikácie termínov s rôznym odôvodnením, ako je napríklad aktualizácia, pridávanie nových termínov, prípadne ich vylúčenie pre zastaranosť alebo nízku frekvenciu využívania. Práca s tezaustom musí byť vždy komplexného charakteru, aby sa zachytili všetky zmeny vyplývajúce z prepojenia termínu na celú sieť paradigmatických vzťahov jeho hierarchickej štruktúry.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0757-12.

Literatúra :

1. STN ISO norma 2788 „Dokumentácia. Pokyny pre tvorbu a vývoj jednojazyčného tezauru, SUTN 2011
2. ISO 25964 Tezaurus a spolupráca s inými slovníkmi, 2013
3. Abstract Bulletin of Paper Science and Technology, Elsevier Engineering Information, ISSN: 1523-388.USA
4. Thesaurus of Pulp and Paper , ISBN 0-87010-000-9, Institute of Paper Science and Technology, 1991

ZBORNÍK VÝSKUMNÝCH PRÁC

Január 2019

EDITOR

Doc. Ing. Štefan Šteller, CSc.

GRAFICKÁ ÚPRAVA

Ing. Peter Medo



**Centrum pre rozvoj drevárskeho,
nábytkárskeho a celulózo-
papierenského priemyslu**

Odporúčaná citácia:

In: *Zborník výskumných prác. Január 2019.* Centrum pre rozvoj drevárskeho, nábytkárskeho a celulózo-papierenského priemyslu. Bratislava. str 89. Dostupné online: www.centrumdp.sk

© Printed by Pulp and Paper Research Institute, Dubravská cesta 14, 841 04, Bratislava