

Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.

Pulp and Paper Research Institute
Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava



VÝSKUMNÁ SPRÁVA

Názov projektu: Využitie vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva

Názov etapy 1: Príprava vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva

Názov správy: Štúdia realizovateľnosti prípravy vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov

**Autori správy: Ing. Vladimír Ihnát, PhD., Ing. Alois Vojta, Ing. Henrich Lübke,
Ing. Jozef Balberčák, Ing. Eva Neuschlová, PhD., Ing. Peter Medo**

Číslo projektu: APVV-14-0243
tel.: +421-(0)2-911 728 622

VS: 3256-2016

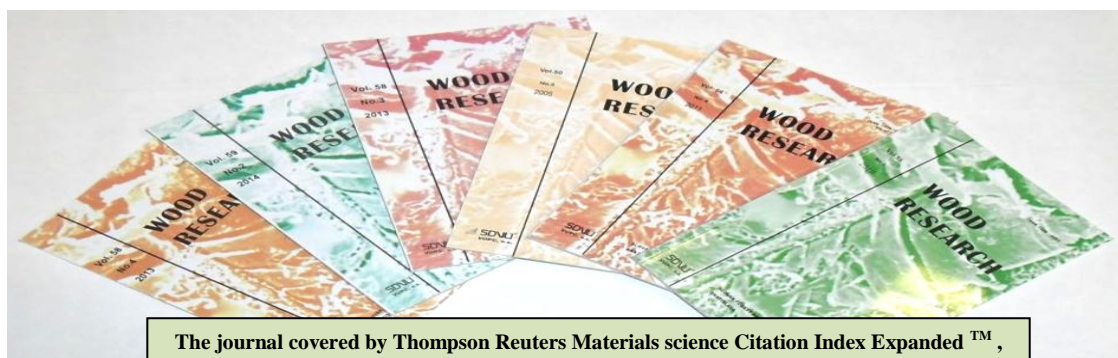
1. Číslo projektu: APVV-14-0243				
2. Prírastkové číslo: 3256		3. Podpis originálu riaditeľom sekcie		
4. Názov a adresa riešiteľského pracoviska: Výskumný ústav papiera a celulózy a.s., Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava úsek Slovenský drevársky výskumný ústav				
5. Vedúci riešiteľského pracoviska: Ing. Štefan Boháček, PhD. generálny riaditeľ a.s.		6. Riešiteľ projektu: Ing. Henrich Lübke		
		7. Riešiteľ čiastkovej úlohy: Ing. Vladimír Ihnát, PhD.		
		8. Druh úlohy: štátna		
9. Názov projektu: Využitie vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva				
10. Názov etapy: Príprava vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva				
11. Autori správy: Ing. Vladimír Ihnát, PhD., Ing. Alois Vojta, Ing. Henrich Lübke, Ing. Jozef Balberčák, Ing. Eva Neuschlová, PhD., Ing. Peter Medo				
12. Názov správy: Štúdia realizovateľnosti prípravy vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov				13. Druh správy: priebežná
14. Dátum ukončenia správy 12.2016	15. Číslo zväzku 1	16. Počet strán textu 29	17. Počet samostatných príloh: 0	18. Počet citovaných prameňov: 24
19. Počet výtlačkov správy 2	20. Dátum začiatku výskumu 07.2015	21. Dátum ukončenia 12.2016	22. Znak MDT	
			23. Stupeň utajenia: Prístupné	
24. Kľúčové slová: recyklácia, recyklačný/zberný dvor, drevené výrobky po skončení doby ich používania, separovaný zber, nulový odpad, drevné vlákno, drevná trieska, drevotriesková doska, OSB, drevovláknitá doska, doska MDF, lepiaca zmes, fluting				

Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.
úsek Slovenský drevársky výskumný ústav
Dúbravská cesta 14, 841 04 Bratislava

Štúdiá realizovateľnosti prípravy vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov

December 2016, Bratislava

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



KLÚČOVÉ SLOVÁ:

recyklácia, recyklácia aglomerovaných materiálov, drevené výrobky po skončení doby ich používania, separovaný zber, recyklačný/zberný dvor, nulový odpad, drevné vlákno, drevná trieska, drevotriesková doska, OSB, drevovláknitá doska, doska MDF, fluting

OBSAH:

ÚVOD	6
Kapitola I.	7
1 Dostupnosť surovínových zdrojov	7
2 Kategorizácia výrobkov z dreva po skončení doby ich používania podľa ich kontaminácie chemickými látkami	9
3 Lepidla a hydrofobizačné prostriedky používané pri výrobe DTD	10
4 Lepidla a prídavné chemikálie používané pri výrobe DVD	11
5 Sorpčné vlastnosti aglomerovaných materiálov na báze dreva	12
6 Súčasný stav likvidácie drevených výrobkov po skončení doby ich používania a odpadov z aglomerovaných materiálov	13
Kapitola II.	14
1 Príprava drevených triesok a vlákien z odpadových DTD a DVD z nábytku a stavebno- stolárskych výrobkov po skončení doby ich používania pre výrobu nových DTD, DVD, MDF a flutingu	14
2 Technologický postup	16
3 Primárne drvenie odpadových aglomerovaných materiálov	18
4 Hydrotermická modifikácia drevnej drviny	19
5 Sekundárna frakcionácia	20
6 Progresívne metódy deštrukcie odpadových aglomerovaných materiálov	24
7 Poloprevádzková výroba	25
Záver	26
Literatúra	28

ZHRNUTIE

Cieľom štúdie je zhodnotiť realizovateľnosť využitia odpadových aglomerátov a ostatných drevených výrobkov s chemickou záťažou po skončení doby ich využívania. Štúdiá zohľadňuje nejednotnú legislatívu v európskom meradle a chýbajúce rýchle detekčné metódy na posúdenie stupňa kontaminácie.

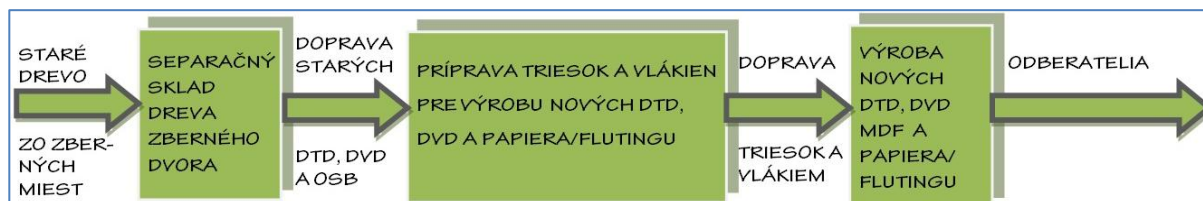
Kapitola I. pojednáva o dostupnosti surovinových zdrojov v kontexte kategorizácie výrobkov z dreva po skončení doby ich používania podľa ich kontaminácie chemickou záťažou, ktorá bola primárne použitá na ich prípravu, ochranu resp. modifikáciu. V prvej kapitole je uvedený aj rozbor základných lepidiel, ktoré sa v minulosti využívali na výrobu aglomerovaných materiálov na báze dreva a ktoré pri recyklácii starých drevených výrobkov predstavujú značný problém. Rozobrané sú aj sorpčné vlastnosti aglomerovaných materiálov z dôvodu súvisu s integrovaním procesu hydrolyzy lepidla do technologického postupu spracovania po počiatočnom drvení materiálu. V závere kapitoly je zhrnutie súčasného stavu likvidácie drevených nepotrebných výrobkov a odpadov z aglomerovaných materiálov na báze dreva.

Kapitola II. je venovaná samotnej príprave triesok a vlákien z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva pre potreby výroby nových materiálov vrátane flutingu. Technologický postup je zobrazený v podobe blokovej schémy. Ďalej sú rozobrané základné technologické operácie a to drvenie, hydrotermická úprava a sekundárna frakcionácia s vlastnými výsledkami experimentálnych prác. V závere kapitoly je popísaný progresívny spôsob deštrukcie odpadových drevených materiálov parnou explóziou a poloprevádzková výroba flutingu v podmienkach VÚPC.

Úvod

Štúdiá realizovateľnosti prípravy vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov bola vypracovaná v rámci prvej etapy projektu APVV-14-0243 Využitie vlákna z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva. V úvodnej etape projektu sa uskutočnilo vyhodnotenie spôsobu prvotnej deštrukcie jednotlivých druhov odpadových aglomerovaných materiálov a určil sa stupeň hydrotermického spracovania vstupnej suroviny aj vzhľadom na zostatkovú hladinu pôvodnej chemickej záťaže. Predmetné technologické operácie boli zaradené do uceleného technologického celku s cieľom maximalizovať využiteľnosť drevnej hmoty z odpadu na báze dreva.

Na odpadový drevený výrobok je potrebné sa pozerat' ako na hnutelnú vec, ktorej sa musíme zbaviť v súlade so zákonom o odpadoch. Vo väčšine prípadov sa pre nás nepotrebné veci vôbec nemusia stať odpadom. Môžu byť užitočné pre niekoho iného, ale často krát ešte spätne aj pre nás. Môžu byť opakované, po ich prípadnej oprave alebo úprave, využité cez sociálne siete, môžu poskytnúť surovinu pre výrobu nových výrobkov, výživné látky pre pôdu, energiu ale môžu výrazne zmeniť aj ekonomiku odpadového hospodárstva komún. Takéto zaobchádzanie s drevným odpadom sa má stať súčasťou tzv. kruhovej ekonomiky a je ho potrebné systémovo podporiť ako je to napr. uvedené na nasledujúcom obrázku pre prípad recyklácie aglomerovaných materiálov.



Dnes často krát skloňovaná „konceptia nulového odpadu“ znamená, že spoločnosť neprodukuje žiadny odpad, ale iba suroviny pre ďalšie priemyselné spracovanie. Tento cieľ je dosiahnuteľný a postupne sa prakticky začína realizovať v stále väčšom počte štátov (Austrália, Nový Zéland, SRN, Kanada, Kalifornia, Dánsko a pod.), ich miest, obcí a firiem. Pod pojmom „nulový odpad“ sa nemyslí zníženie tvorby všetkých odpadov na nulu - to v spoločnosti zameranej na spotrebu nie je možné. Myslí sa tým eliminácia súčasného spôsobu zneškodňovania odpadov (na skládkach a v spaľovniach) na nulu, alebo maximálne priblíženie sa k tomuto cieľu. „Odpady“ - druhotné suroviny, ktoré vznikajú, by mali byť opätovne vrátené na trh (opakované použitie, recyklácia) alebo do prírody (biologický rozklad) a pod.

Kapitola I.

Kapitola je zameraná na popis súčasného stavu riešenej problematiky. Pojednáva o možnej dostupnosti k surovinovej základne z pohľadu dnešnej legislatívy, ktorá nie je ešte dostatočne špecifikovaná v súčasnej dobe. Zvláštna pozornosť je venovaná kategorizácii výrobkov z dreva, ktoré už nespĺňajú svoju primárnu úlohu a dostávajú do pozície nadbytočných predmetov- odpadov. Z pohľadu recyklácie môžu však predstavovať značnú bazu druhotnej suroviny avšak často s obsahom chemických látok, ktoré boli pôvodne použité na ich prípravu, ochranu prípadne inú modifikáciu. Veľkou skupinou chemických látok obsiahnutých v aglomerovaných materiáloch predstavujú lepidlá na rôznej surovinovej báze podľa spôsobu výroby resp. využívania materiálov. V tejto kapitole sa venujeme aj základným vzťahom sorpčných a desorpčných vlastností ako teoretickému podkladu pre napúčanie a hydrolýzu, ktoré sú súčasťou navrhovaného technologického postupu spracovania aglomerovaných materiálov po skončení doby ich využívania.

1. Dostupnosť surovinových zdrojov

Výrobky z dreva po skončení doby ich používania sú priemyselné produkty, vyrobené v prevažnej väčšine z rastlého dreva alebo z materiálov na báze lignocelulóзовých vlákien a ich účelových kombinácií, ktoré sa realizujú na trhu a stali sa z rôznych dôvodov pre užívateľa nepotrebnými. Výrobkami z dreva po skončení doby ich používania pre účely tejto štúdie sa rozumejú najmä nasledovné produkty:

- Veľkoplošné materiály na báze dreva (drevotriekové a drevovláknité dosky, latovky, preglejky, a pod.)
- Drevený nábytok
- Drevené konštrukčné prvky stavieb (strešné konštrukcie, podlahy, obklady, drevené stropné konštrukcie, drevené prístavby a nadstavby)
- Drevené stavebno-stolárske výrobky (okná, dvere)
- Drevostavby a drevené záhradné stavby (drevené chaty, pergoly, altány, karkapoty a ostatné drevené prvky záhradnej architektúry)
- Drevené pomocné konštrukcie pre stavby (výstuže, debnenie, lešenie a lešenárske podlážky)
- Drevené športové potreby

Na Slovensku nie sú k dispozícii reálne štatistické údaje o množstevnom výskyte dreveného odpadu a výrobkov z dreva po skončení doby ich používania v štruktúre ako je uvedená vyššie. Drevený komunálny odpad tvorí z celkového objemu komunálneho odpadu cca 7,8%, t.j. cca 133 000 ton.

Nábytok je vyrábaný v posledných desaťročiach z aglomerovaných veľkoplošných materiálov ako sú drevotriekové dosky (DTD) a drevovláknité dosky strednej objemovej hmotnosti (MDF). Z prírodného masívneho dreva sa vyrábajú niektoré špeciálne druhy nábytku ako sú

stoličky, rámy sedačiek a tiež špeciálne nábytkové steny, ktoré však majú vyššiu cenovú hladinu.

Na Slovensku vzniká v súčasnej dobe ročne ako odpad hypoteticky cca 320 000 ton nábytku po skončení doby jeho používania pri priemernej jeho súčasnej dobe používania 22 rokov, z toho približne 7% (cca 22 400 ton) je nábytok v dobrej a vyhovujúcej kvalite pre ďalší (nasledovný) predaj označovaný ako second hand. Množstvo starého nábytku po skončení jeho využívania prvým majiteľom má výrazne stúpajúci trend. U tejto komodity došlo v priebehu druhej poloviny 20. storočia k zásadnej zmene doby životnosti (životného cyklu). Ak v polovici storočia, po skončení 2. svetovej vojny, doba životnosti nábytku bola cca 50 rokov a nábytok slúžil po dobu celého života jednej generácie, koncom 20. storočia sa doba životnosti skrátila na menej ako polovicu, pričom jedna generácia obmieňa nábytok priemerne 3x v priebehu života. Cyklus obmeny- detský nábytok v rannej mladosti, novomanželský nábytok po založení vlastnej rodiny a seniorský nábytok a zariadenie pred odchodom do starobného dôchodku a po rozpade pôvodnej rodiny odchodom detí. Tento trend sa zrýchľuje a v priebehu nasledovných približne 20 rokov sa skrúti na cca 15 rokov. Výrazne sa zvýšila u nás aj obmena investorského nábytku, najmä po politických a hospodárskych zmenách začiatkom deväťdesiatych rokov. Priemerná životnosť investorského kancelárskeho nábytku v prvom cykle jeho používania klesla od roku 1990 z cca 20 rokov na súčasných cca 10 rokov, u hotelového a reštauračného nábytku bol interval jeho obmeny okolo roku 1990 priemerne 12 rokov, v súčasnej dobe je cca 8-10 rokov a menej.

V stavebnom priemysle vzniká stavebnou a demolačnou činnosťou na Slovensku ročne cca 30 000 ton odpadového dreva, čo je cca 15 % z celkového objemu stavebného odpadu. V týchto údajoch nie je podchytené množstvo tohto odpadu na čiernych skládkach. Pri predpokladanom zvyšovaní podielu dreva na novobudovaných objektoch a najmä s nárastom objemu výstavby obytných drevostavieb a objektov drevenej záhradnej architektúry, čo je v súlade s celoeurópskym trendom, je predpoklad nárastu tejto komodity v priebehu nasledovných rokoch rádo. Drevených športových potrieb po skončení doby ich používania pre recykláciu (opätovné použitie) vzniká ročne cca 2 400 ton. Drevených výrobkov po skončení doby užívania z exteriérov vzniká na Slovensku cca 2 300 ton ročne.

Tab 1: Celková bilancia výrobkov z dreva po skončení doby ich používania v SR

Komodita	v tis. ton/rok
Drevený komunálny odpad TKO	133
Starý nábytok	320
z toho nábytok dobrej kvality	(21.7)
Drevený stavebný odpad /krovy, dvere, okná, podlahy a obklady, drevené prístavby a nadstavby/	30
Drevené odpady z drevovýroby /piliny, hobliny, odrezky/	387.8
Drevené odpady z drevovýroby / kôra a odpadové drevo/	226.7
Drevené obaly /drevené palety a debny, prepravky, káblové bubny	9.6
Drevené výrobky z exteriérov a záhradnej architektúry	2.3
Drevené športové potreby a drevené hračky	2.4

* V tejto bilancii nie sú zahrnuté objemy dreveného odpadu na čiernych skládkach.

2. Kategorizácia výrobkov z dreva po skončení doby ich používania podľa ich kontaminácie chemickými látkami

Dôležitým predpokladom pre úspešné organizované a účelovo riadené bezpečné 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 transformácie. 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.

V Nemecku je platné „Nariadenie spolkovej vlády o požiadavkách na zhodnocovanie a likvidáciu dreva po skončení doby jeho používania“, v nemeckom originále „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. 2298. 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 halogen-organických pojidiel a vrstiev v lepených špárach a spojoch a bez ochranných napúšťadiel/ impregnácie - napr. vnútorné dvere

A III - drevo po skončení doby používania s halogen-organickými pojidkami 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 bifenylov/ terfenylov

PCB drevo - drevo po skončení doby používania opatrené vrstvami a/alebo povrchovou úpravou polychlorovanými bifenyli/ terfenyli, 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 – 1500° C).

Pre zhodnocovanie poslednej komodity (PCB drevo) 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.

3. Lepidla a hydrofobizačné prostriedky používané pre výrobu DTD

Druhou najdôležitejšou surovinou po drevnej hmote vo výrobe trieskových dosiek sú syntetické lepidla (živice) termoreaktívneho typu, a to lepidla močovinoformaldehydové (UF), fenolformaldehydové (PF), melamin- formaldehydové (MEF), močovino- melamin- formaldehydové (MUF). Druh použitého lepidla závisí na účelu použitia toho ktorého typu aglomerovaného materiálu.

Močovinoformaldehydové lepidla /UF/

Močovinoformaldehydové lepidla sú preferované pre výrobu TD a VD polotvrdých vyrábaných suchým spôsobom. Pripravujú sa kondenzáciou močoviny a formaldehydu. Reakcia medzi močovinou a formaldehydom je veľmi zložitá. Kombináciou týchto dvoch chemických zlúčenín sa vytvárajú lineárne polyméry, rozvetvené polyméry a i trojrozmerné siete vo vytvrdených živiciach. Najznámejší výrobcovia UF lepidiel sú DIAKOL STRÁŽSKÉ s. r. o, Strážske a výrobca Dukol a.s. Ostrava, lepidlá napr. sú KRONORES CB 1100 D a KRONORES CB 1200 D. Lepidla sa dodávajú **výrobcom** DTD 40% až 60% sušinou. Pre lepenie triesok sa pridáva tvrdidlo, ktoré zníži pH na hodnotu, pri ktorej prebehne za normálnej alebo za zvýšenej teploty vytvrdenie lepidla. K vytvrdzovaniu UF lepidiel sa v minulosti používal hlavne chlorid amónny NH_4Cl , v súčasnosti sú to tvrdidlá rôzneho zloženia, napríklad, dusičnan amónny NH_4NO_3 , síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, chlorid železitý FeCl_3 , fosforečnan amónny $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ a ich kombinácie. Tvrdidlo sa dávkuje v množstve 0,5–1,5 % a.s. na sušinu triesok ako 10 až 20 % roztok. Účelom hore uvedených, vysoko účinných a reaktívnych tvrdidiel, je skrátenie lisovacích časov na minimálnu možnú mieru.

Melaminformaldehydové lepidla /MF/

Melaminformaldehydové lepidla sú svojou chemickou štruktúrou podobná UF lepidlám. Základnými surovinami pre prípravu MF lepidiel sú melamín a formaldehyd. Melamín je biela kryštalická látka o bodu topenia 354 °C, málo rozpustná vo vode. Tieto lepidla vynikajú veľmi dobrými pevnostnými vlastnosťami, sú odolné studenej a po obmedzenej dobe aj horúcej vode a poveternostným vplyvom. Ich nedostatkom je malá stabilita roztokov a vyššia cena než cena UF lepidiel. Svojimi vlastnosťami sa blíži lepidlám fenolformaldehydovým.

Vzhľadom na vysokú cenu sa používajú prevažne ako zmiešané melamin-močovino-formaldehydové lepidla (napr. KRONOCOL CB 7002 F, výrobca DIAKOL s. r. o, Strážske; www.diakol.sk), označované ako MUF.

Fenolformaldehydové lepidla /PF/

Fenolformaldehydové lepidla sú polykondenzačné produkty vzniknuté reakciou viac funkčných fenolov s formaldehydom v alkalickom prostredí. Pre prípravu tvrditeľných fenolických živíc sú najvýznamnejšie trojfunkčné fenoly, ktoré môžu vytvoriť trojrozmernú, priestorovo zosieťovanú makromolekulu živice po jej vytvrdnutí. Kondenzačnými reakciami fenolu a formalehydu vznikajú spočiatku fenolalkoholy, tzn. mono-methylol-, dimethylol- až hexamethylolfenoly a tieto nadväznou kondenzačnou reakciou spolu vytvárajú dvojrozmerné a postupne trojrozmerné reťazovité spojenia. Najznámejší typy PF lepidiel vyrábaných firmou Hexion Chemicals Pardubice a.s. (www.bakelite.cz), sú BAKELITE PF 1259 HW, BAKELTE PF 149, BAKELITE PF B118.

Izokyanátové lepidla /IK/

Izokyanátové lepidla boli zavedené už v 50. rokoch v Nemecku. Spočiatku to boli dvojkomponentné výrobky. V súčasnosti sa používa jednozložkový produkt skladajúci sa z polymérneho methylenizokyanátu (PMDI). Izokyanátové lepidla vznikajú adičnou polymeráciou polyizokyanátov s viacmocnými alkoholmi alebo polyesterami bohatými na hydroxylové skupiny. Emulzifikovateľný MDI je riediteľný vodou, teda aj parafínovou emulziou. Vzhľadom na väčší objem po riedení sa môže lepidlo dôkladnejšie rozprašovať a rozdeliť na triesky, čo dovoľuje zníženie nánosu lepidla pri jeho rovnakej účinnosti. Z hygienického hľadiska sú priaznivé tým, že neuvolňujú formaldehyd, ktorý je vážnym problémom najmä u UF lepidiel, avšak sú drahé a ich výroba je hygienicky náročná.

Hydrofobizačné prostriedky

Trieskové dosky vykazujú v dôsledku pôsobenia vody a vysokej relatívnej vlhkosti vzduchu značné hrúbkové napúčanie. Toto je zapríčinené jednak napúčaním prírodného dreva, jednak odpružením zlisovaných triesok, ktoré majú snahu vrátiť sa do pôvodného stavu pred zlisovaním. Napúčanie trieskových dosák znižuje kvalitu povrchu (hladkosť), ale aj fyzikálne a mechanické vlastnosti. Pre zvýšenie objemovej stálosti dosiek pri krátkodobom styku s vodou sa pridávajú hydrofobizačné prostriedky. Najčastejšie sa pridáva parafín, a to v množstve 0,5–1,5 % na a.s. triesky. Parafín 50/55 (teplota mäknutia) sa aplikuje buď ako tekutý na triesky alebo, a to častejšie, v podobe parafínovej emulzie o koncentrácii 25–50 % v zmesi s lepidlom a ostatnými prísadami. Hydrofobizácia je však účinná len proti krátkodobému účinku kvapalnej vody a menej účinná proti vodnej pare.

4. Lepidla a prídavné chemikálie používané pri výrobe DVD

Podľa druhu použitia drevovláknité dosky delíme na – izolačné drevovláknité dosky (IDVD) objemovej hmotnosti do 250kg/m³, - polotvrde dosky do 900 kg/m³, ako sú MDF dosky pre použitie v nábytkárskom priemysle a tvrdé dosky s objemovou hmotnosťou nad 900 kg/m³.

Všetky druhy drevovláknitých dosiek sú vhodné pre naše recyklačné zámery. Lepidlá a hydrofobizačné prostriedky pre polotvrde a tvrdé dosky sa používajú rovnaké ako v prípade drevotriekových dosiek v závislosti od použitia dosiek. Pri suchom výrobnom postupe sa ako hydrofobizačný prostriedok môže pridávať tekutý parafín (bod topenia 50-55 °C), a to buď do zvislého predohrievača alebo do mlecej komory defibrátora. V prípade IDVD sa používa ako lepidlo škrob alebo lepidlo na báze PVAc.

5. Sorpčné vlastnosti aglomerovaných materiálov na báze dreva

Sorpčné vlastnosti u materiálov na báze dreva sú vyššie ako u klasického prírodného dreva. Sorpčné vlastnosti týchto materiálov sa líšia, a to podľa použitého lepidla, hydrofobizačných látok, resp. iných chemikálií a technológie výroby. Z týchto dôvodov má potom každý materiál svoju vlastnú izotermu, čiže krivku, ktorá znázorňuje odpovedajúcu vlhkosť materiálu pri danej relatívnej vlhkosti pri meniacej sa hodnote teploty.



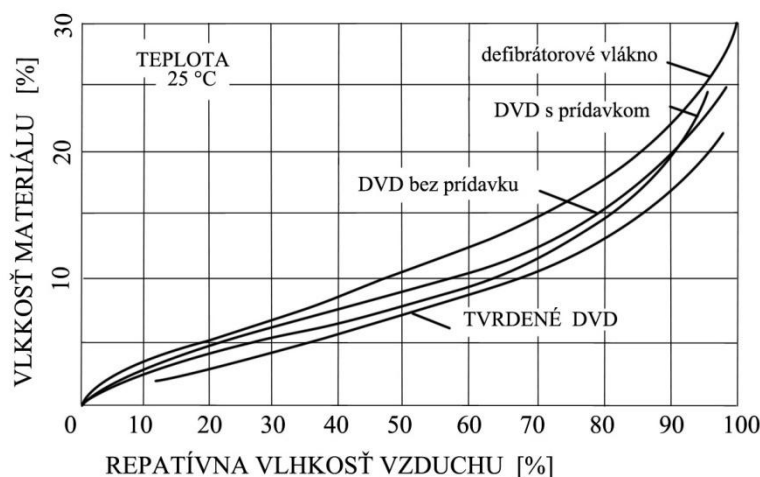
Obr. 1: Veľkoplošné materiály na báze drevných vlákien

Sorpčné vlastnosti drevotriekových dosiek

Rozhodujúci vplyv má druh a množstvo lepidla. Drevotriekové dosky vyrobené s použitím močovinoformaldehydového lepidla majú nižšiu rovnovážnu vlhkosť ako druh dreva, z ktorého dosky boli vyrobené. Príčina spočíva jednak v blokovanií povrchových OH skupín celulózy, ktoré sú nosiči vodíkových väzieb medzi vodou a OH skupinami celulózy a jednak v znížení schopnosti dosky napúčať v dôsledku zlepenia triesok. V prípade použitia melamínformaldehydového lepidla a tiež fenolformaldehydového sú uvedené efekty ďaleko výraznejšie čoho výsledkom je minimálne napúčanie DTD lepené uvedenými lepidlami.

Sorpčné vlastnosti drevovláknitých dosiek

Variabilita vo výrobe drevných vlákien, drevovláknitých dosiek i používaných prídavných látok sa odráža v sorpčných vlastnostiach DVD. Príklady sú znázornené na obr.2. Zatiaľ čo sorpčné vlastnosti vlákien vyrobených rôznymi postupmi sú približne rovnaké, DVD vyrobené z týchto rôznymi postupmi vyrobených vlákien sú rozdielne. Je to spôsobené tým, že až technológiou výroby DVD sa mení dodatočne charakter vlákien.



Obr.2: Desorpčné krivky defibrátorového vlákna a z neho vyrobených DVD tepelne vytvrdených s prídavkom a bez prídavku hydrofobizačných látok (Matovič 1993)

6. Súčasný stav likvidácie drevených výrobkov po skončení doby ich používania a odpadov z aglomerovaných materiálov

Súčasný stav zberu a opätovného zhodnocovania drevených výrobkov po skončení doby ich používania je na Slovensku alarmujúci. Táto komodita nie je zahrnutá do systému separovaného zberu a zhodnocovania výrobkov po skončení doby ich používania, preto neexistuje nijaký efektívny trvale fungujúci a rozvíjajúci sa systém organizácie riadenia ich odberu, logistiky, ukladania, triedenia a technológií ich zhodnocovania. Súčasný stav je založený len na nesystémových a zriedkavých aktivitách samospráv podľa ich variabilných finančných možností, ochote a iniciácii samotného obyvateľstva a aktivitách najmä malých podnikateľov bez akejkoľvek podpory alebo len s malou a nesystémovou podporou zo strany obcí. Preto aj vyradené drevené výrobky tvoria podstatnú časť objemu nespočetného množstva čiernych skládok takmer v každej obci. Na tomto stave sa nič v budúcnosti nezmení, ak sa drevené výrobky po skončení doby ich používania nestanú priamou a organickou súčasťou organizovaného ekonomického a ekologického zhodnocovacieho / recyklačného procesu, ako súčasť programu separovaného zberu na celoštátnej úrovni pod koordinovaním kompetentného odborného orgánu /organizácie štátu alebo samosprávy.

Zahrnutie drevených výrobkov po skončení doby ich používania do systému separovaného zberu ako rovnocennej komodity so sklom, papierom, kovmi, plastmi a biologickým odpadom je základným predpokladom optimalizácie a zvýšenia objemu ich opätovného zhodnocovania a zníženia vysokého a stále rastúceho rozsahu ich výskytu na čiernych skládkach a na skládkach tuhého komunálneho odpadu v SR. Je preto potrebné novelizovať znenie Zákona o odpadoch č. 223/2001 Zb., 5. časť „Nakladanie s odpadmi“, § 39, ods.14, do textu tohto odseku vložiť položku drevo. Bez organizačného ako aj finančného zastrešenia najmä rozbehu tejto novej aktivity separovaného zberu zo strany odborne kompetentnej celoštátnej organizácie bude jej realizácia problémová a nesystémová. Smernica Európskeho parlamentu a rady EÚ č. 2008/98/ES stanovuje pre SR do roku 2020 zabezpečiť zber

a recykláciu 50% z celkovo vyprodukovaných odpadov z plastov, papiera, kovu a skla, ktoré skončia v komunálnom odpade. Táto smernica rovnako ako nadväzujúce slovenské právne predpisy neuvádzajú drevený odpad v systéme separovaného zberu a zhodnocovania.

Obdobne ani v Nemecku nie je drevený odpad súčasťou systému organizovaného separovaného zberu a zhodnocovania odpadov. V Nemecku však, v súvislosti s rastúcim objemom nelegálne deponovaných výrobkov z dreva po skončení doby ich používania na čiernych skládkach a na skládkach tuhého komunálneho odpadu ako aj s rastúcou potrebou druhotných drevných materiálových vstupov do výroby najmä aglomerovaných materiálov na báze drevných častíc (drevotrieskové a drevovláknité dosky, drevo cementové prvky pre stavebníctvo a pod.) iniciujú v súčasnej dobe vplyvné organizácie Združenie výrobcov drevných materiálov (Verband der Holzwerkstoffindustrie VHI) a Spolkové združenie odpadového hospodárstva (Bundesabfallwirtschaftsverband BAV) doplnenie platného Zákona o obehovom hospodárstve (Kreislaufwirtschaftsgesetz, BGBl. I, S. 212), osobitne §14 tohto zákona, ktorý stanovuje systém a štruktúru komodít separovaného zberu odpadov, o komoditu drevené výrobky po skončení doby ich životnosti do systému separovaného zberu. Rovnako so sklom, kovmi, papierom, plastmi a bioodpadmi. Táto novelizácia zákona je prezentovaná ako kľúč k pokroku v recyklačnej politike a k dosiahnutiu vyšších objemov recyklovaných a zhodnotených odpadov ako celku.

Pri likvidácii odpadov z aglomerovaných materiálov, sa stretávame s chemickými látkami tzv. kontaminantmi, ktoré sa v natívnom dreve nevyskytujú. Veľkoplošné materiály sú vyrábané v prevažujúcom množstve s močovinoformaldehydovým lepidlom a jeho modifikáciami. Rovnako problematické sú aj materiály pre povrchovú úpravu (PVC). Odpady s podielom zložiek aromatickej fenolovej povahy a chlóru sú príčinou vzniku dioxínov a polycyklických aromatických uhľovodíkov. Osobitne nebezpečné sú polychlórované dibenzidioxíny PCDD a polychlórované dibenzofurány PCDF. PCDD/F sú tepelne stabilné do 900 °C a vznikajú ľahko pri zohrievaní chlórovaných organických látok na teplotu 300 °C. Ďalším kontaminantom v materiáloch na báze dreva sú fenolformaldehydové živice. Z hľadiska spaľovacieho procesu je dôležité, že tieto sú katalyzované hydroxidom sodným NaOH. Hydroxid sodný je však inhibítorom oxidačných reakcií a dôsledkom tohto môže byť príčinou vysokých koncentrácií CO v spalinách.

Kapitola II.

1. Príprava drevných triesok a vlákien z odpadových DTD a DVD z nábytku a stavebno- stolárskych výrobkov po skončení doby ich používania pre výrobu nových DTD, MDF a flutingu

Problém pri recyklácii odpadového dreva spôsobujú hlavne vyššie uvedené chemické záťaž ako aj škodlivé chemické látky pôvodne obsiahnuté v náterových, ochranných a impregnačných substanciiach, ktorých zbavovanie sa predstavuje technický problém. U aglomerovaných materiálov na báze dreva najväčší problém predstavuje značné množstvo

obsiahnutého vytvrdnutého lepidla. Korektná likvidácia takéhoto druhu odpadu sa v súčasnosti vykonáva spaľovaním v súlade s príslušnou legislatívou.

Veľmi zložitá je separácia močovinoformaldehydových, melamínmočovinoformaldehydových a fenolformaldehydových živíc z odpadových materiálov na báze dreva. Zosieťované fenolformaldehydové živice sú nerozpustné a netaviteľné látky. Nedajú sa rozpustiť ani roztaviť, pretože pri vyšších tlakoch a teplotách dochádza zároveň k termickej degradácii dreva. Čo sa týka mechanickej separácie, vysoká adhézia živíc k drevu, resp. nasiaknutie bunecnej štruktúry dreva, si vyžaduje mechanické "vymlátenie" živice z drevnej hmoty pri nízkych teplotách. Použitie nízkych teplôt resp. mletie drevnej hmoty na prášok nie je schodným ekonomickým riešením pre potreby drevárskeho a celulózo-papierenského priemyslu. Taktiež používanie agresívnych rozpúšťadiel nespĺňa primárne ciele recyklácie, pretože jednu chemickú záťaž odstraňuje iná.

Využitím odpadových triesok a vlákna z drevených výrobkov po skončení ich životnosti (starý nábytok, konštrukčné dosky zo stavebných demolácií a pod.) sa zabráni ich spaľovaniu hneď po prvom použití.

Využije sa princíp dezintegrácie drevnej častice (štiepka, trieska) na drevnú časticu menších rozmerov - drevné vlákno. Takto získané vlákno s väzobnou schopnosťou bude možné použiť jednak na výrobu drevovláknitých materiálov určených pre drevársky priemysel a tiež na materiál určený pre papierenský priemysel. Problematická časť vytvrdnutých živíc t.j. uvoľňovanie formaldehydu sa rieši k drevu šetrným termochemickými spôsobom, ktorý je bežný pri výrobe polobuničiny. Voľný formaldehyd, ktorý sa naviazal na celulózo- vlákna v priebehu lisovacieho cyklu pomaly hydrolyzuje, vplyvom vlhkosti sa uvoľňuje z nedostatočne vytvrdenej živice alebo dlhodobou degradáciou samotnej živice. Samotná teplota a vlhkosť majú najvýznamnejší vplyv na emisie formaldehydu. Pri samotnej doske nárastom relatívnej vlhkosti vzduchu z 30 na 90% sa emisia zdvojnásobuje lineárnym spôsobom. Aj keď je mechanizmus uvoľňovania zložitý proces, predpokladá sa, že hlavná reakcia je hydrolyza koncových najslabších väzieb vytvrdenej močovino- formaldehydovej živice. Tento proces je podporovaný vlhkosťou a kyselinami obsiahnutými v dreve a kyslými podielmi tvrdidla.

Všetky tieto skutočnosti je možné zohľadniť pri termochemickom spracovaní a s najväčšou pravdepodobnosťou budú predmetom patentovej ochrany.

Ďalšou dôležitou súčasťou predspracovania je tzv. akcesibilita, čiže prístupnosť činidiel k najslabším vrstvám vytvrdnutej živice pri spracovaní. Optimalizácia dezintegrovania na častice menších rozmerov, stále vhodných pre spracovanie hrá v tomto bode dôležitú úlohu.

Hlavným prínosom riešenia projektu je mechanickým dezintegrovaním väčších kúskov dreva získanie drevného vlákna za výhodných energetických podmienok. Z takto získaného vlákna po chemickej úprave (napr. čiastočnej delignifikácii) sa pripraví polobuničina, ktorá sa použije na výrobu papieroviny (napr. na výrobu kartónov). Samotným rozvlákňovaním dochádza k mechanickej deštrukcii lepených spojov a pri chemickej delignifikácii prebieha čiastočná hydrolyza chemickej záťaže (obsiahnutých lepidiel), čím sa znižuje obsah voľného formaldehydu a VOC (Volatile Organic Compound) v konečnom výrobku.

Problém pri recyklácii drevených aglomerovaných materiálov predstavuje značné množstvo

obsiahnutého vytvrdnutého lepidla na báze močovinoformaldehydových, melamín močovinoformaldehydových a fenolformaldehydových živíc v závislosti od účelu primárneho využitia (stupeň odolnosti voči absorpcii vzdušnej vlhkosti). Mechanická separácia vytvrdnutých živíc z dreva bez porušenia drevnej hmoty je nereálna. Zosieťované živice sú nerozpustné látky. Nedajú sa rozpustiť iba čiastočne napučiť a roztaviť taktiež nie, pretože pri vyšších tlakoch a teplotách dochádza zároveň k termickej degradácii dreva.

Metóda defibrácie po predchádzajúcej hydrolyze je schodným riešením využitia drevnej hmoty z uvedených materiálov avšak už v podobe drevného vlákna. Optimalizácia hydrolyzného procesu za súčasného sledovania zostatku chemických zložiek lepidla je dobre uskutočniteľná v laboratórnych podmienkach a bude si vyžadovať riadený experiment s dostatočným množstvom prevedených testov. Okrajové podmienky pre teplotu a tlak sú definované drevnou hmotou aby sa nedeštruovala bunková stena dreva, no napriek tomu aby dochádzalo k čiastočnej delignifikácii za účelom ich plastifikácie. Uvedená metóda umožní získať polochemickú buničinu, ktorá vyhovuje obom navrhovaným technológiám (pre polotvrdu dosku aj pre papier) a zároveň rieši problém chemickej záťaže dreva. Metóda riešenia je v súlade s Life Cycle Assessment a s uplatňovaním environmentálnej značky drevených a papierenských produktov. Likvidácia chemickej záťaže separovanej v roztoku nie je predmetom riešenia projektu. Cieľom je popísať priebeh uvoľňovania do roztoku z vedeckého hľadiska, avšak celková kapacita projektu pravdepodobne neumožní riešenie jej likvidácie. Metódy testovania kvalitatívnych parametrov hotových výrobkov (fluting, MDF) sú dobre známe a zakomponované v príslušných STN EN.

2. Technologický postup

Na základe vykonaných experimentov v rámci prvej etapy projektu bol zostavený technologický postup pre recykláciu starých aglomerovaných materiálov z výrobkov z dreva po skončení doby ich používania:

- Drvenie rozmerných starých aglomerovaných dosiek

Technológia kontinuálneho drvenia odpadu na nízkootáčkových nožových (diskových) drvičoch s masívnou hnacou silou hnacích hriadeľov. Umožňuje viactonážne spracovanie bez separácie s prašnosťou a hlučnosťou obmedzenou na minimum.

- Varenie/parenie drviny

Technológia diskontinuálneho beztlakového varenia resp. naparovania bez použitia chemických prísad s dokonale zabezpečeným odsávaním pár a filtrovaním uvoľňovaného formaldehydu s možnosťou regulácie zádržnej doby materiálu v nastavených podmienkach.

- Separácia kovových a plastových povrchových častíc od drviny

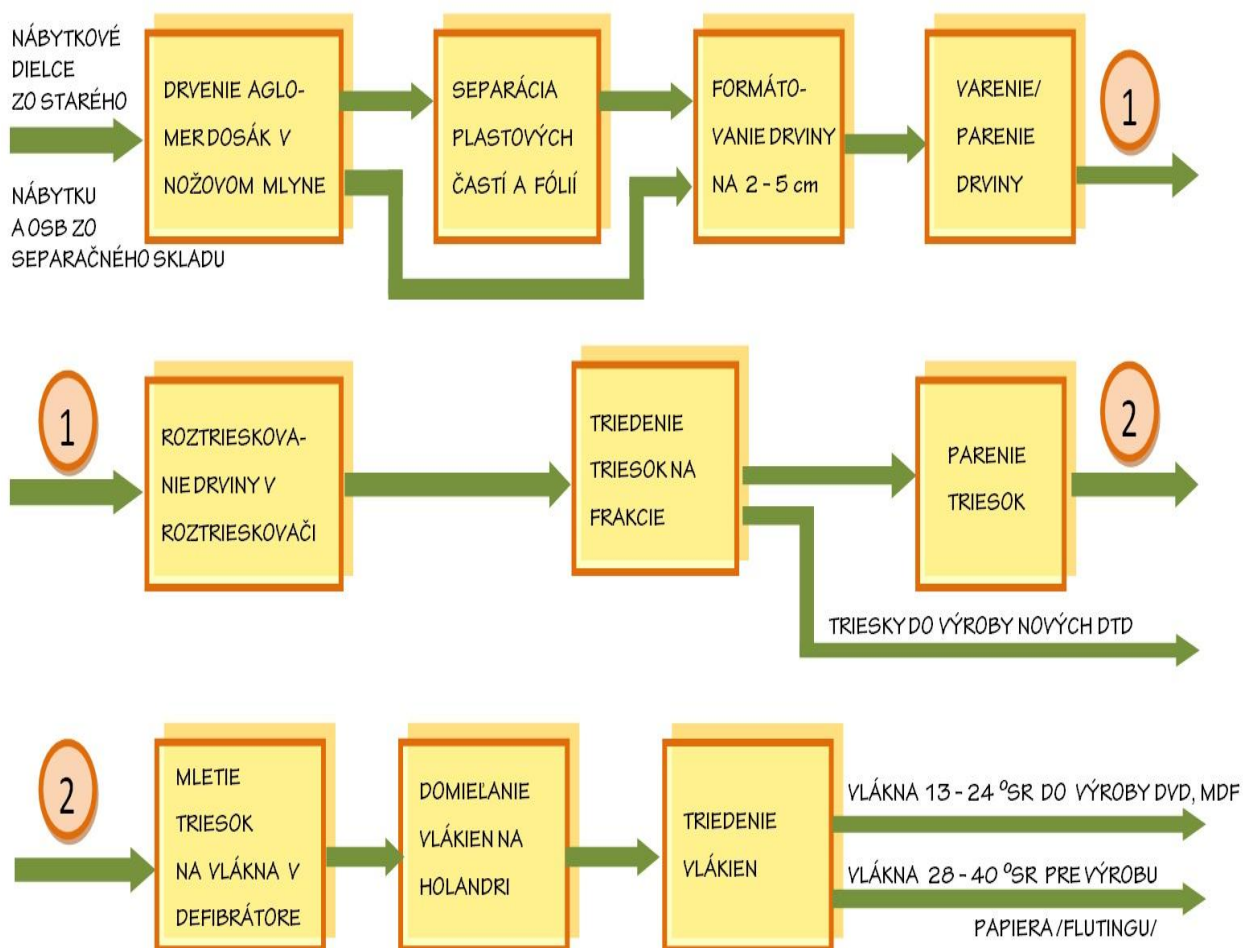
Štandardné technológie umožňujúce kontinuálne magnetické resp. sedimentačné odstraňovanie kovových a nežiaducich plastových častí pred spracovaním drviny na jemnejšiu frakciu.

- Formátovanie drviny

Technológia sekundárneho drvenia/roztlačania hydrotermicky upravených zmäknutých drevných zhlukov odpadových aglomerovaných materiálov na jemnejšiu frakciu.

- Roztrieskovanie drviny (existujúca technológia)
- Triedenie triesok na rozmerové frakcie (existujúca technológia)
- Parenie triesok (existujúca technológia)
- Mletie triesok na vlákna (existujúca technológia)
- Domieľanie vlákien (existujúca technológia)
- Triedenie vlákien (existujúca technológia)

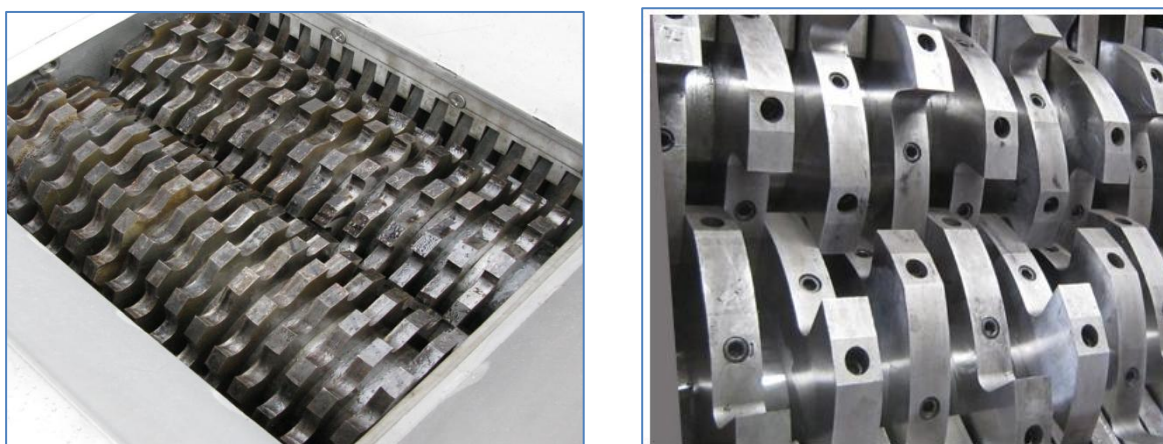
Vyššie uvedený technologický postup je univerzálny pre staré aglomerované dosky lepené lepiacimi zmesami močovino- formaldehydovou ako aj melamín- močovino- formaldehydovou. Môže byť čiastočne modifikovaný podľa výsledkov overovacích experimentov v priebehu riešenia projektu. Zásadné zmeny sa však nepredpokladajú.



Obr.3: Bloková schéma prípravy triesok a vlákien z odpadových aglomerovaných materiálov

3. Primárne drvenie odpadových aglomerovaných materiálov

Drvenie je efektívne riešenie primárneho spracovania veľkokapacitného drevného odpadu s hlavným cieľom redukovať jeho volumínóznosť. Mohutné technológie sú schopné spracovať drevný materiál aj s nevytriedenými kovovými a plastovými prvkami. Poskytuje ekonomicky nenáročné riešenie pri veľkých spracovaných hodinových objemoch. Na rozdiel od štiepkovania technológia je založená na nízkootáčkových zariadeniach s mohutným prevodovým výkonom. Spracovaný materiál nevyžaduje predúpravu. Drvením vzniká konzistentný materiálový tok sypkej drviny, ktorý je možné ďalej zhutňovať šnekovými zariadeniami, premiestňovať čelnými nakladačmi alebo iným dopravníkovým zariadením na ďalšie spracovanie. Frakcia drvenia je závislá od konštrukcie drviaceho zariadenia (obr.4).



Obr.4: Drviace nože (disky) dvoch rôznych priemyselných drvičov na drevo



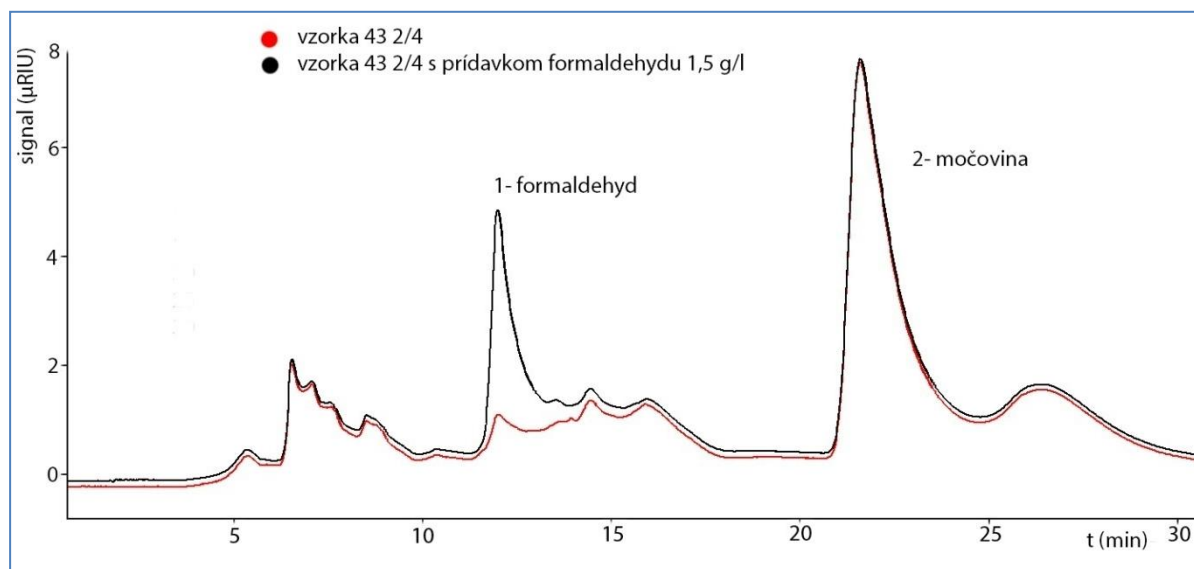
Obr.5: Nožový mlyn/drvič G 400/600 spoločnosti Terier s.r.o. s podávacím dopravníkom a odsávaním prachu

Z uvedeného rozboru druhov veľkoplošných aglomerovaných drevných materiálov sa dá predpokladať, že jednotlivé materiály sa budú chovať pri deštrukcii hlavne podľa druhu lepidla, ktoré bolo použité pri výrobe materiálu.

4. Hydrotermická modifikácia drevnej drviny

Stanovenie formaldehydu a močoviny HPLC metódou v odpadnej vode po varení odpadových drevotriekových dosiek pred roztrieskovaním.

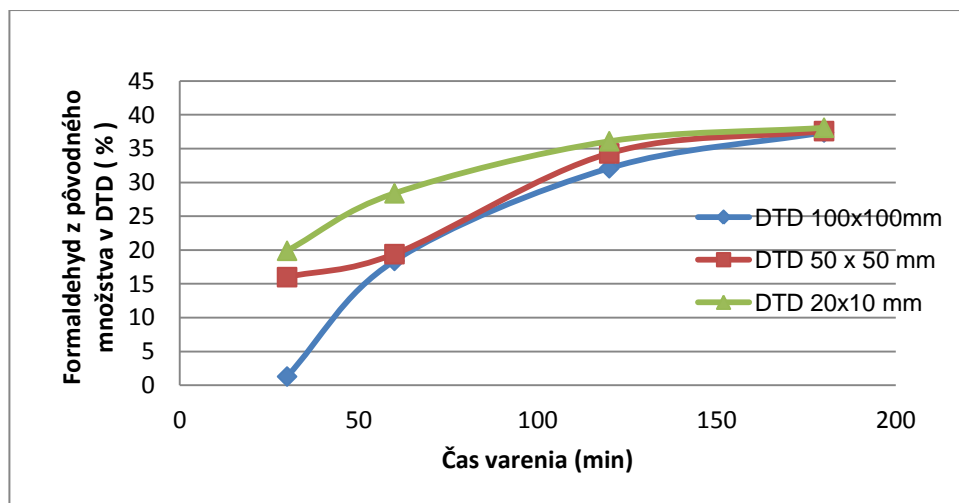
Pôvodná hodnota formaldehydu a močoviny obsiahnutá v DTD sa varením postupne znižuje v dôsledku hydrolyzy močovinoformaldehydového lepidla. Pri 10% obsahu MF a.s. lepidla na a.s. triesky pripadá na 100 g DTD 3225 mg formaldehydu a 5860 g močoviny, pričom na 1 mol močoviny pripadá 1,1 mol formaldehydu. Množstvo uvoľňovaného formaldehydu závisí od času varenia a od veľkosti vzorky DTD (Obr.8). Varením väčších vzoriek prebieha uvoľňovanie formaldehydu v dôsledku hydrolyzy lepidla vo vzorke pomalšie ako u menších vzoriek. Varenie menších vzoriek počas 30 minút spôsobí hydrolyzu 20% množstva lepidla. Množstvo formaldehydu vo výluhoch z varenia DTD bolo merané chromatografickým systémom HPLC od spoločnosti CHROMSERVIS SK s.r.o. s dvoma kolónami - Rezex Pb²⁺ na stanovenie formaldehydu a kyseliny močovej a Rezex ROA H⁺ na stanovenie formaldehydu.



Obr.6: HPLC analýza vzorky DTD výluhu metódou vnútorného štandardu.

Mobilná fáza pozostávala z deionizovanej vody v prípade použitia kolóny Rezex Pb²⁺ a v prípade kolóny Rezex ROA H⁺ sa použil 0,005N roztok kyseliny sírovej v deionizovanej vode. Analýzy na kolóne Rezex Pb²⁺ sa uskutočňovali pri teplote 80°C a prietoku 0,7 ml/min resp. Analýzy na kolóne Rezex ROA H⁺ sa uskutočňovali pri teplote

30°C a prietoku 0,5 ml/min. Na určenie formaldehydu a močoviny bola použitá metóda vnútorného štandardu (Obr. 6).



Obr.7: Percento formaldehydu vo výluhu z pôvodného množstva formaldehydu v DTD

Je predpoklad, že množstvo formaldehydu v pripravených trieskach z odpadových DTD po úprave s vodou bude minimálne znížené o hodnoty znázornené na obr.7. Množstvo formaldehydu vo výluhu je orientačný parameter, dôležite bude množstvo formaldehydu v pripravených DTD.

5. Sekundárna frakcionácia

a) Deštrukcia DTD lepených močovino- formaldehydovým lepidlom

Deštrukcia vzduchosuchých DTD

Na deštrukciu týchto kusov materiálu sme použili bubnové trieskovacie zariadenie od firmy Pallmann (obr.8). Vzorky o rozmere 10x10 cm, vlhkosti 8,5% boli roztrieskované na trieskovači s použitím okruží s priečnymi nožmi (veľkosť štrbiny - 2,8 mm, dĺžka štrbiny - 140 mm). Pri trieskovaní vznikalo veľké množstvo prachu a pripálených drobných triesok menších ako 5 mm nevhodných na ďalšie použitie. V ďalšom pokuse sme v trieskovači vymenili priečne nože za okružie s pozdĺžnymi štrbinami (dĺžka- 54,1mm, šírka- 5,5 mm), táto zmena spôsobila zahorenie produkovaných drevných častíc nevhodných na ďalšie použitie.

Z vykonaných experimentov vyplýva, že pri roztrieskovaní vzducho- suchého aglomerovaného materiálu s vlhkosťou 8.5% dochádza ku povrchovému uhoľnatiu materiálu a vysokej prašnosti. Pre roztrieskovanie aglomerovaného materiálu je potrebné, aby materiál mal vysoký obsah vody a bol napučaný. Napučaním dôjde k čiastočnému alebo úplnému uvoľneniu väzieb medzi drevom a lepidlom a tiež ku čiastočnej hydrolýze močovino- formaldehydového lepidla.



Obr. 8: Roztrieskový stroj Defibrator vo VÚPC

Deštrukcia mokrej DTD

Vzorky o rozmeroch 10x10 cm boli namáčané/namáčané a varené vo vode a vážené na stanovenie obsahu prijatia vody po takejto úprave. Úprava sa uskutočnila 48 hod máčaním vzoriek DTD lepenej UF lepidlom v studenej vode a varením 30 min., 60min. 120 minút a 180 minút s miešaním (Tab.1).

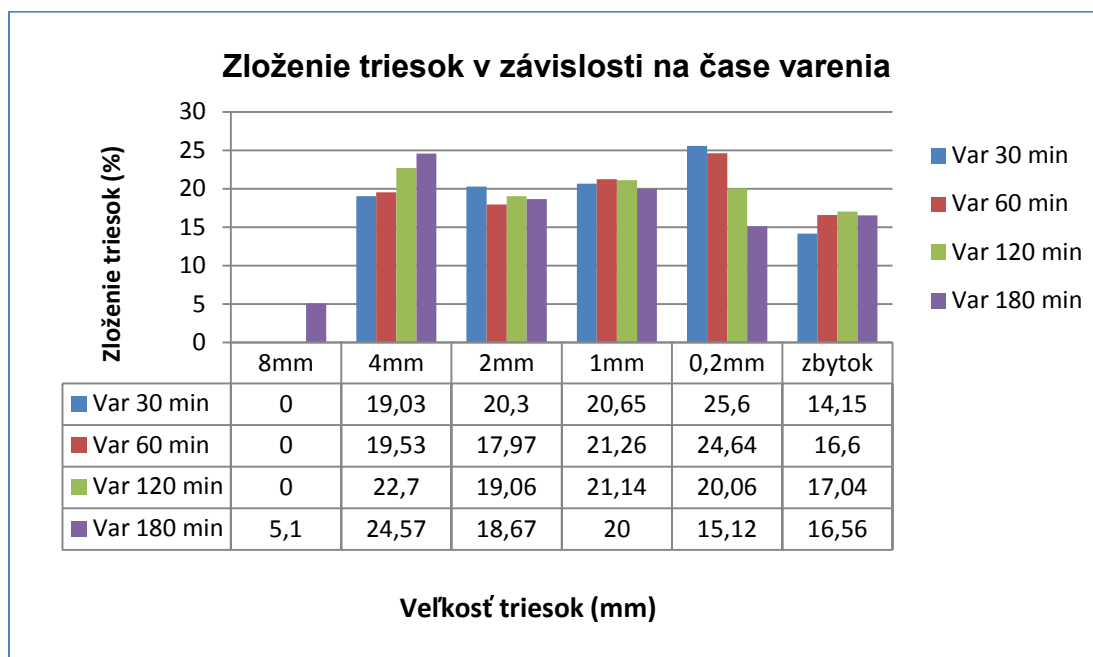
Tab. 1: Percento vody v DTD lepenej UF lepidlom po hydrotermickej úprave

Vzorka č.	Hmotnosť suchá a.s. (g)	Hmotnosť po 48 hod v studenej vode (g)	Hmotnosť po 30 min varu (g)	Hmotnosť po 60 min varu (g)	Hmotnosť po 120 min. varu (g)	Hmotnosť po 180 min varu, rozmiešanie (g)	Relatívna vlhkosť $W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \cdot 100 / m^2$ (%)
1	150,14	201,37	-	-	-	.	25,5%
2	160,77	-	345,90	-	-	.	53,5%
3	153,53	-	-	390,19	-	-	60,6%
4	153,96	-	-	-	446,10	-	65,5%
5	154,28	-	-	-	-	453,50	66%

Takto upravené vzorky DTD po máčaní vo vode a varení boli roztrieskované a získané triesky boli po sušení pri 105 °C delené na frakcie sitovaním. Trieskovanie sa uskutočnilo s okružím s priečnymi nožmi, s okružím s pozdĺžnymi štrbinami a s okružím s výstupkami. Bolo zistené že:

- Pri výrobe triesok z nábytkovej DTD spracovanej v studenej vode a varením hore uvedeným spôsobom s použitím priečných nožov bol produkovaný veľmi jemný materiál s veľkosťou do 0,5mm. Vzorka DTD o veľkosti 10cm x 10cm máčaná v studenej vode 48 hodín v priebehu pokusu začala tlieť, pokus bolo nutné ukončiť. Máčanie v studenej vode pre takto veľkú vzorku je nedostatočné pre následné roztrieskovanie.

- Roztrieskovanie na trieskovači s okružím s pozdĺžnymi štrbinami (dĺžka- 54,1mm, šírka- 5,5 mm) upravených vzoriek DTD varením viedlo k tvorbe triesok, ktoré sme charakterizovali sitovou skúškou (obr.9).



Obr.9: Skladba triesok vzoriek DTD po úprave varením a následnom roztrieskovaní na okruží s pozdĺžnymi štrbinami

Na základe uvedených výsledkov možno konštatovať:

- Máčanie v studenej vode je nedostatočné pre následné trieskovanie takto veľkých vzoriek DTD
- Rozdiel medzi trieskami z rozvarenej dosky a trieskami získanými trieskovaním dosiek po varení je hlavne pri frakcii nad 4 mm a pri frakcii 0,2 mm.
- Frakcia 0,2mm je u roztrieskovaných vzoriek varených 30 min., 60 min. a 120min. o 5% až 10% vyššia ako u neroztrieskovanej vzorky
- Spočítane frakcie 0,2mm a ostatok sú u roztrieskovaných vzoriek v rozsahu 44,1%, 42,4%, 45,11, zatiaľ u vzorky bez roztrieskovania je to 31,68%
- Frakcia nad 4 mm je u vzorky bez roztrieskovania 29,67% , u roztrieskovaných vzoriek je v rozsahu 19,3% až 22,7% t.j. o cca 10% vyššia.
- Frakcia nad 8 mm u roztrieskovaných vzoriek sa nevyskytuje.
- Spracovaním odpadovej nábytkovej DTD varením za miešania získame pôvodnú skladbu triesok
- Trojvrstvová DTD má cca 30% podiel jemných povrchových triesok resp. častíc.

Spracovanie DTD s povrchovou fóliou.

Nábytková DTD s povrchovou fóliou bola rozvarená vo vode počas 120 min tak, aby bolo možné odstrániť zo vzoriek povrchovú fóliu. Fólia bola odstránená spolu s nalepenou časťou povrchových triesok. Po odstránení fólie boli vzorky spracované na trieskovači s okružím s výstupkami. Získané triesky boli charakterizované sitovou skúškou (tab.2). Získané

výsledky sitových skúšok dokladujú výrazné zvýšenie podielu jemných častíc a výrazný pokles častíc nad 4 mm pri tomto spôsobe trieskovania DTD.

Podobne sa uskutočnila skúška DTD spolu s povrchovou fóliou. Vzorka bola varená 2 hod a následne bola roztrieskovaná spolu s povrchovou fóliou na okruží s výstupkami (tab. 2/ vzorka č. 2). Takto získané triesky majú štruktúru zloženia ešte viac posunutú ku jemnejším časticiam ako v predchádzajúcom prípade. Pripravené triesky/častice by boli vhodné na povrchové vrstvy DTD.

Tab. 2: Skladba triesok z DTD upravenej varením a následným trieskovaním

Sito (mm)	Vzorka č.1 (%)	Vzorka č.2 (%)	Vzorka č.3 (%)	Vzorka č.4 (%)	Vzorka 3+4 (%)	Vzorka č.5 (%)	Vzorka č.6 (%)	Vzorka č.7 (%)	Vzorka č.8 (%)	Vzorka č.9 (%)
8	-	-		1,2	0,85	-	2,36	-	1,68	-
4	1,74	.		34,7	23,51	17,5	31,08	-	28,80	13,11
2	18,73	9,39	1,29	33,7	23,34	19,8	20,09	21,71	23,11	16,94
1	36,26	36,58	16,17	23,1	20,68	21,9	20,29	35,23	22,64	31,05
0,2	34,10	44,52	58,05	5,6	22,61	24,7	21,93	38,46	17,42	33,0
ostatok	9,17	9,51	24,49	1,7	9,11	16,1	1,25	4,6	6,35	5,9
spolu	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*** Legenda:**

Vzorka1 – Skladba triesok vzoriek DTD po úprave 2 hod. varením a následnom trieskovaní na okruží s výstupkami

Vzorka 2 – Skladba triesok vzoriek DTD s povrchovou fóliou po úprave 2 hod. varením a následnom trieskovaní na okruží s výstupkami

Vzorka 3 - Skladba povrchových triesok z výrobného závodu

Vzorka 4 - Skladba stredových triesok z výrobného závodu

Vzorka 3+4 – Prepočítaná skladba triesok DTD z výrobného závodu s 30% zastúpením povrchových triesok

Vzorka 5 - Skladba triesok vzoriek DTD s povrchovou fóliou po úprave 30min. varením a následnom trieskovaní na okruží s pozdĺžnymi štrbinami

Vzorka 6 - Skladba triesok vzoriek laminovanej DTD pripravenej s MUF po úprave 180 min. varením, roztlačením a následnom trieskovaní na okruží s pozdĺžnymi štrbinami

Vzorka 7- Skladba triesok vzoriek laminovanej DTD pripravenej s MUF po úprave 180 min. varením, roztlačením a následnom trieskovaní na okruží s výstupkami

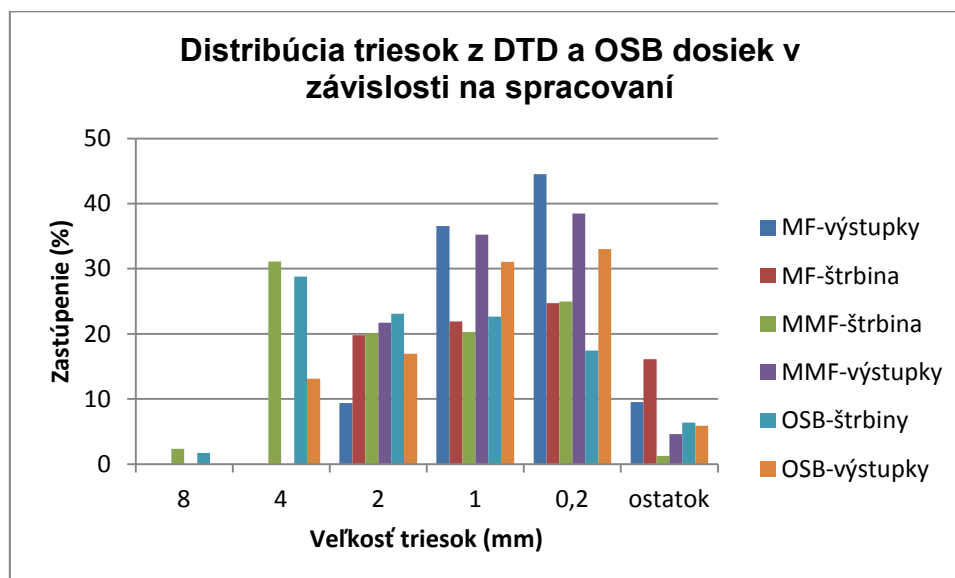
Vzorka 8 - Skladba triesok vzoriek OSB dosky pripravenej s MUF po úprave 180 min. varením, roztlačením a následnom trieskovaní na okruží s pozdĺžnymi štrbinami

Vzorka 9 - Skladba triesok vzoriek OSB dosky pripravenej s MUF po úprave 180 min. varením, roztlačením a následnom trieskovaní na okruží s výstupkami

b) Deštrukcia trojvrstvových DTD lepených melamín- močovino- formaldehydovým lepidlom

Vzorky drevotrieskových a OSB dosiek o rozmere 100mm x 100mm lepené melamín-močovino- formaldehydovým lepidlom po varení 180 minút boli celistvé a pri spracovaní na trieskovacom zariadení dochádzalo ku povrchovému uhoľnatiu materiálu. Pristúpili sme preto ku mechanickej deštrukcii vzorky stláčaním v lise. Takto upravené vzorky sa následne roztrieskovali na okruží s pozdĺžnymi štrbinami a na okruží s výstupkami (tab. 2). Získané

triesky budú vhodné pre výrobu DTD a triesky nad 2mm pre výrobu vlákna pre drevovláknité dosky. Častice získané na okruží s výstupkami po rozdelení na 2mm site by boli vhodné na výrobu DTD hlavne pre povrchové triesky.



Obr.10: Skladba triesok vzoriek DTD a OSB po úprave varením a následnom roztrieskovaní na okruží s pozdĺžnymi štrbinami a na okruží s výstupkami.

Vyrobené triesky z OSB dosiek na okruží s pozdĺžnymi štrbinami (tab.2/vzorka č.8) majú podobnú skladbu ako u laminovanej DTD lepenej melamín- močovino- formaldehydovým lepidlom (tab.2/vzorka č.6). Triesky z OSB dosky sú vhodné na výrobu DTD, na výrobu vlákna pre MDF dosky sú vhodné triesky nad 2 mm.

Triesky pripravené na okruží s výstupkami (tab. 2/vzorka č.9) by sa dali použiť pre povrchovú vrstvu pri výrobe DTD. Skladba triesok vzoriek DTD a OSB po úprave varením a následnom roztrieskovaní na okruží s pozdĺžnymi štrbinami a na okruží s výstupkami je znázornená na grafe (Obr.9).

6. Progresívne metódy deštrukcie odpadových aglomerovaných materiálov

Parná explózia je príkladom netypického spôsobu delignifikácie, pri ktorom lignocelulózový materiál je vystavený krátkemu pretlaku (cca 4 min), ktorý zodpovedá teplote okolo 200-230 °C. Tento pretlak je náhle uvoľnený až na hodnotu atmosférického tlaku, pričom vzniká silná parná explózia spojená s hlučným výfukom pary. Technickým problémom je dosiahnuť kontinualitu tohto procesu. Pre nízku kvalitu výsledného produktu vlákničky tento proces nedosiahol výraznejší úspech pri príprave vlákna avšak stal sa uznávanou metódou predprípravy lignocelulózových materiálov pri jeho hydrolýznom spracovaní a to hlavne pre nedrevné materiály akými je slama, bagasa a pod.

Z pohľadu uvoľňovania väzieb drevo- lepidlo- drevo pri frakcionácii drviny aglomerovaných materiálov sa však načrtá nová oblasť využitia procesu parnej explózie zaradenej hneď po prvotnom drvení odpadového materiálu.



Obr. 11: Diskontinuálny parný reaktor vo VÚPC

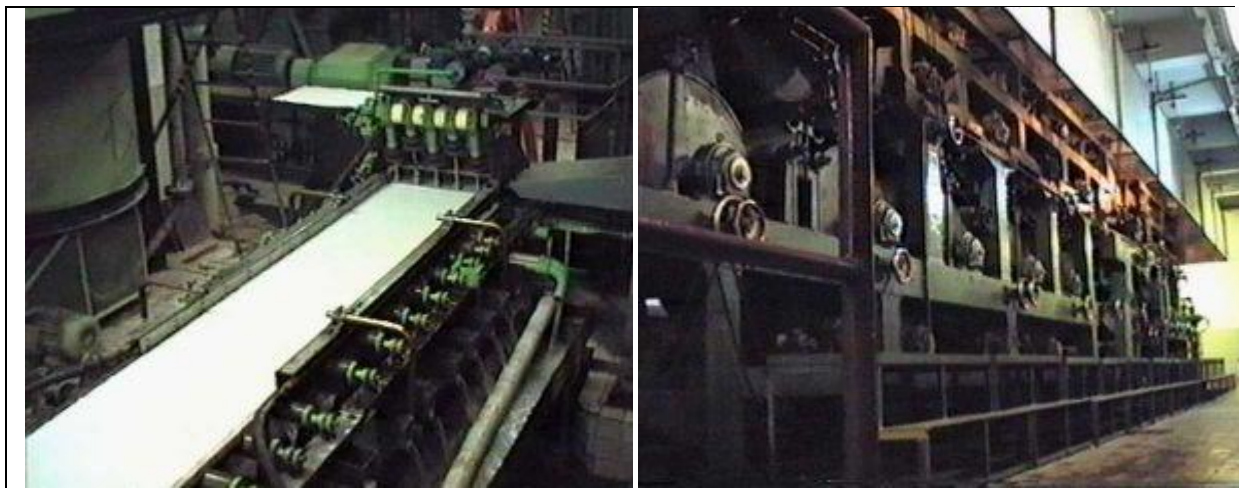
7. Poloprevádzková výroba

Laboratórna príprava MDF dosiek sa vykoná v priebehu riešenia projektu s použitím polobuničiny pripravenej podľa patentovej prihlášky VÚPC, a.s. - PP 50023-2012 a tiež s použitím drevného vlákna získaného z odpadových DTD a OSB dosiek. Nová technológia zohľadní hladinu formaldehydu v získanom odpadovom drevnom vlákne tak, aby výsledná hodnota formaldehydu v MDF doske bola vyhovujúca podľa normy. U pripravených dosiek budú hodnotené fyzikálno- mechanické vlastnosti podľa STN EN.



Obr.12: Poloprevádzkové diskontinuálne zariadenia na výrobu vláknitých dosiek Defibrator vo VÚPC

Poloprevádzková výroba DVD a MDF bude realizovaná na diskontinuálnom poloprevádzkovom zariadení VÚPC, a.s. typu Defibrator (obr. 12) a vyrobené dosky budú mať rozmer 600 x 600 mm. Nová technológia výroby papiera – flutingu - z odpadových aglomerovaných materiálov na báze dreva sa experimentálne overí v priebehu riešenia projektu na papierenskom stroji VÚPC, a.s. (obr.13) v reálnych prevádzkových podmienkach aj s analýzami, ktoré sa vykonajú s využitím softvérov Repay, Papstar, Recopt a Optimen. Na tomto papierenskom stroji bude prebiehať po skončení riešenia projektu aj malotonažna výroba papiera - fluting - stredová vrstva lepenky - podľa komerčných objednávok



Obr.13: Papierenský stroj VÚPC (Sitová časť- vľavo, sušiacia časť- vpravo)

ZÁVER

Riešenie projektu umožňuje využitie doteraz nevyužívanej, významnej suroviny- odpadových aglomerovaných materiálov zo starých výrobkov z dreva, ktoré sú veľmi obmedzene recyklovateľné. Dôvodom je veľmi komplikovaná separácia močovino- formaldehydových a fenol – formaldehydových živíc z odpadových materiálov na báze dreva.

Využitím odpadového vlákna z drevených výrobkov po skončení ich životnosti (starý nábytok, konštrukčné dosky zo stavebných demolácií a pod.) sa zabráni ich spaľovaniu hneď po prvom použití. Využije sa princíp dezintegrácie drevnej častice (štiepka, trieska) na drevnú časticu menších rozmerov- drevné vlákno. Takto získané vlákno s väzobnou schopnosťou bude možné použiť aj na výrobu iných drevovláknitých materiálov určených pre drevársky priemysel. Problematická časť vytvrdených živíc t.j. uvoľňovanie formaldehydu sa rieši k drevu šetrným termochemickým spôsobom, ktorý je bežný pri výrobe polobuničiny.

Pre recykláciu starých aglomerovaných materiálov z výrobkov z dreva po skončení doby ich používania bol navrhnutý a experimentálne sa overuje podľa jednotlivých technologických sekvencií s poloprevádzkovou koncovkou vyššie uvedený technologický postup výroby recyklovaných drevených triesok a vlákien pre výrobu nových DTD a MDF dosiek a tiež papiera- flutingu.

VÚPC má potrebné experimentálne ako aj výrobné- technologické zariadenia pre úspešnú realizáciu výsledkov riešenia projektu a to ako v odbore drevovláknitých dosiek tak aj v odbore výroba papiera- flutingu, ako je dokumentované vyššie. Vyššie uvedený technologický postup recyklácie starých aglomerovaných dosiek z drevárskych výrobkov po skončení doby ich používania, ktorý je výsledkom doterajších výskumných a experimentálnych prác, je plne realizovateľný vo výrobných prevádzkach VÚPC, a.s. Môže však byť pokračujúcimi experimentálnymi prácami na riešení projektu ako aj laboratórnymi

a poloprevádzkovými overeniami čiastočne modifikovaný, najmä s prihliadnutím na ekonomiku výroby nových aglomerovaných dosiek a papiera - flutingu po skončení riešenia projektu a zavedením ich malotonážnej produkcie.

Pre prípravu triesok a vlákničky pre výrobu nových DTD a MDF dosiek z odpadových DTD a OSB dosiek sú dôležité nasledujúce zistenia vyplývajúce z doposiaľ vykonaných experimentov:

- Roztrieskovaním vzducho- suchého aglomerovaného materiálu dochádza ku tvorbe prachu a pri kusoch materiálu okolo 10 cm dochádza ku zahoreniu materiálu so vznikom dymu a prachu.
- Pre roztrieskovanie aglomerovaného materiálu je potrebné, aby materiál mal minimálne 40% relatívnu vlhkosť.
- 48 hodinové máčanie vzoriek o veľkosti 10x10 cm odpadových nábytkových DTD dosiek v studenej vode s relatívnou vlhkosťou 25% je nedostatočné, pri roztrieskovaní týchto materiálov dochádza ku uhoľnateniu povrchu materiálu.
- 180 min. varením týchto materiálov vo vode dochádza k ich rozpadnutiu na pôvodné častice
- Rozdiel medzi trieskami z rozvarenej dosky a trieskami získanými trieskovaním dosiek po varení je hlavne pri frakcii nad 4 mm a pri frakcii 0,2 mm.
- Súčet frakcií 0,2mm a zvyšok sú u roztrieskovaných vzoriek DTD v rozsahu 44,1%, až 45,1, zatiaľ u vzorky bez trieskovania je to 31,68%, frakcia nad 4 mm je u vzorky bez trieskovania 29,67% , u trieskovaných vzoriek je v rozsahu 19,3% až 22,7% t.j. o cca 10% vyššia. Frakcia nad 8 mm u trieskovaných vzoriek sa nevyskytuje.
- Odpadové DTD a OSB dosky o veľkosti 10 x 10 cm lepené melamín- močovino- formaldehydovým lepidlom pre použitie v exteriéry musia byť upravované varením a následným roztláčením. Takto upravené môžu byť roztrieskované.
- Odpadové DTD a OSB dosky lepené MUF upravované uvedeným spôsobom a trieskované na okruží s pozdĺžnymi štrbinami majú skladbu triesok vhodnú na výrobu DTD.
- Odpadové DTD dosky s povrchovou fóliou upravované uvedeným spôsobom a roztrieskované na okruží s výstupkami majú skladbu triesok vhodnú na povrchovú vrstvu DTD
- Množstvo formaldehydu v pripravených trieskach z odpadových DTD po úprave s vodou bude znížené v závislosti na spôsobe spracovania

Literatúra

1. Nariadenie spolkovej vlády SRN Altholzverordnung – AltholzV, z 15. augusta 2002, BGBl. I S. 3302, v znení z 20. októbra 2006, BGBl. I, Nr. 48, S. 2298
2. Moňok, B., Plánička, R., 2005, : Koncepcia smerovania k nulovému odpadu. Informačný materiál pre samosprávy, 2005
3. Slovenská agentúra životného prostredia SR : Produkcia odpadu a nakladanie s odpadom v SR, [cms enviroportal sk](http://cms.enviroportal.sk), 2010
4. Štatistický úrad Slovenskej republiky : Štatistika odpadov podľa jednotlivých krajov SR, Enviromagazín č. 1/2009
5. Zákon SRN o obehovom hospodárstve Kreislaufwirtschaftsgesetz, BGBl. I, S. 212, 2012
6. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Infoblatt Abfallwirtschaft, Gebrauchtmobiliar zur Wieder – oder Weiterverwendung, marec 2011
7. Stavebná fakulta STU Bratislava, Cestné vedeckovýskumné laboratórium -CL, Štatistika recyklácie stavebného odpadu – skladba odpadu, www.svf.stuba.sk, 2007
8. Verband der Holzwerkstoffindustrie VHI, Berlin, SRN, Bekenntnis des Bundestages zur Kaskadennutzung zu Stärkung des Recyclings, www.VHI.de, 2011
9. Mahút, J., Réh, R., Víglaský, J. - Kompozitné drevené materiály - Časť I. Technická univerzita vo Zvolene, 2004.
10. Sedliačik, M., Sedliačik. J. Chemické látky v drevárskom priemysle. Technická univerzita vo Zvolene, 1998.
11. Perlác J., Poláčik A., Sedliačik M., 1983. Lepidlá a veľkoplošné materiály, Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 1983.
12. Lübke, H., V., Boruvka, V., Babiak, M., 2008: Fibers of secondary lingo- cellulose materials and their influence on properties of insulating fiberboards. *Drvna industria* 59 (4) 157 – 162.
13. Lübke, H., Ihnát, V., Boruvka, V., 2014: Straw pulp as a secondary lignocellulosic raw material and its impact on properties of properties of insulating fiberboards. Part I. Characteristic of straw fibre from the perspective of the mass creation. *Wood Research*. Vol. 59 (5): 747-755.
14. Ihnát, V., Lübke, H., Boruvka, V., Babiak, M., Schwartz, J., 2015: Straw pulp as a secondary lignocellulosic raw material and its impact on properties of properties of insulating fiberboards. Part II. Preparation of insulating fiberboards with straw content. *Wood Research* 60(2): 235-246.. *Wood Research*. Vol. 60 (2): 175-188.
15. Ihnát, V., Boruvka, V., Lübke, H., Babiak, M., Schwartz, J., 2015: Straw pulp as a secondary lignocellulosic raw material and its impact on properties of properties of insulating fiberboards. Part III. Preparation of insulating fiberboards from separately milled lignocellulosic raw materials. *Wood Research*. Vol. 60 (3): 457-466.
16. Salinger. C.M., 1989 – Chemische Grundlagen und Besonderheiten der Holz – Holzwerkstoffverbrennung. *Holztechnologie*, 30, 6

17. Erbreich . M., 2004. Die Aubereitung und Wiederverwendung von Altholz zur Herstellung von Mitteldichtden Faserplatten (MDF). Disertačná práca. Universität Hamburg Fachbereich Biologie.
18. Grigoriou, A., 1996. The ecological importance of wood products. *Scientific Annals of the Department of Forestry and Natural Environment* (39/2), 703–714.
19. Risholm-Sundman, M., Vestin, E., 2005. Emissions during combustion of particleboard and glued veneer. *Holz als Roh- und Werkstoff* 63, 179– 185.
20. Rowell, R., Spelter, H., Arola, R., Davis, P., Friberg, T., Hemingway, R., Rials, T., Luneke, D., Narayan, R., Simonsen, J., White, D., 1993. Opportunities for composites from recycled wastewood-based resources: a problem analysis and research plan. *Forest Products Journal* 43 (1), 55–63.
21. Michanickl, A., 1996b. Recovery of fibers and particles from woodbased products. In: *Proceedings No 7286: Wood and Paper in Building Applications*. Forest Products Society, pp. 115–119.
22. Vojtech Nagy, 1971: Výskum vplyvu niektorých základných doskotvorných činiteľov na technológiu výroby drevovláknitých dosák suchým spôsobom a na kvalitu dosák. *Drevársky výskum. Ročník XVI, číslo 4*, str. 207-217.
23. Mo, X., Cheng, E., Wang, D., Sun, X S., 2003: Physical properties of medium-density wheat straw particleboard using different adhesives. *Industrial Crops and Products* 18(1): 47-53.
24. Požgaj, A., Chovanec, D., Kurjatko, S., Babiak, M., 1997: Wood structure and properties. *Príroda*. 485 p.