

# Výskumný ústav papiera a celulózy, a.s.

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



## VÝSKUMNÁ SPRÁVA

**Názov projektu:** Kaskádové zhodnocovanie drevného odpadu z veľkomestských aglomerácií

**Názov etapy 2:** Tvorba referenčných skupín odpadového dreva a procesov jeho materiálového zhodnotenia

**Názov správy:** Triedenie a recyklácia odpadového dreva. (Prípadová štúdia)

**Autori správy:** Ing. Vladimír Ihnát, PhD., Ing. Alois Vojta, Dávid Havlín,  
Ing. Henrich Lübke, Ing. Jozef Balberčák, Ing. Vladimír Kuňa

**Číslo projektu:** APVV-17-0330  
tel.: +421-(0)2-911 728 622

**VS:** priebežná správa

1. Číslo projektu: APVV-17-0330				
2. Prírastkové číslo: -		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. Vladimír Ihnát, PhD.		
		7. Riešiteľ čiastkovej úlohy: Ing. Vladimír Ihnát, PhD.		
		8. Druh úlohy: APVV		
9. Názov projektu: Kaskádové zhodnocovanie dreveného odpadu z veľkomestských aglomerácií				
10. Názov etapy: Tvorba referenčných skupín odpadového dreva a procesov jeho materiálového zhodnotenia				
11. Autori správy: Ing. Vladimír Ihnát, PhD., Ing. Alois Vojta, Dávid Havlín, Ing. Henrich Lübke, Ing. Jozef Balberčák, Ing. Vladimír Kuňa				
12. Názov správy: <b>Triedenie a recyklácia odpadového dreva.</b> (Prípadová štúdia)				
14. Dátum ukončenia správy 10.12.2020	15. Číslo zväzku 1	16. Počet strán textu 29	17. Počet samostatných príloh: 0	18. Počet citovaných prameňov: 13
19. Počet výtlačkov správy 2	20. Dátum začiatku výskumu 07.2018	21. Dátum ukončenia 12.2020	22. Znak MDT	
			23. Stupeň utajenia: Prístupné	
24. Kľúčové slová: Odpadové drevo, výrobky z dreva po skončení doby ich používania, recyklácia, recyklačný dvor, kategorizácia drevených výrobkov, chemická záťaž, katalóg odpadov, referenčné skupiny odpadového dreva, materiálové zhodnotenie				

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

## **Triedenie a recyklácia odpadového dreva. (Prípadová štúdia)**

December 2020, Bratislava

**Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu  
a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0330.**



The journal covered by Thompson Reuters Materials science Citation Index Expanded™,  
CAB International Abstracting Services and Scopus

## OBSAH

<b>Úvod</b> .....	05
1. Kaskádové využívanie dreva.....	05
1.1. Teoretický model kaskádového využívania drevnej hmoty.....	06
1.2. Životný cyklus dreva.....	06
2. Materiálové zhodnocovanie dreva.....	07
2.1. Konštrukčné odpadové drevo a drevo z demolácii budov.....	08
2.2. Odpadové aglomerované materiály na báze dreva.....	09
2.3. Odpadové obalové materiály na báze dreva.....	10
2.4. Drevený nábytok po ukončení doby užívania.....	11
3. Koncept biorafinérie v kontexte kaskádového využívania dreva.....	11
4. Referenčné skupiny odpadového dreva a súčasné postupy materiálového zhodnocovania.....	13
5. Triedenie a recyklácia odpadového dreva. (Prípadová štúdia).....	18
5.1. Ciele a obsah prípadovej štúdie.....	18
5.2. Referenčné skupiny.....	18
5.2.1. Konštrukčné odpadové drevo.....	18
5.2.2. Demoličné odpadové drevo.....	20
5.2.3. Drevené palety odpadové.....	22
5.2.4. Drevený nábytok odpadový.....	23
5.2.5. Drevotrieskové dosky odpadové.....	24
5.2.6. Drevovláknité dosky odpadové.....	26
5.2.7. Preglejky odpadové.....	27
<b>Záver</b> .....	28
Literatúra .....	29

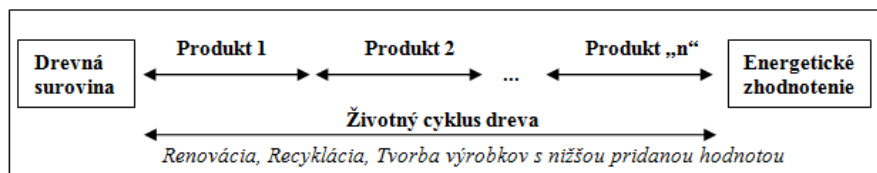
## Úvod

Hlavným cieľom Európskej ekologickej dohody (**Green deal**), ktorú vydala Európska komisia ako súbor politických iniciatív, je dosiahnuť, aby bola Európa v roku 2050 neutrálna z hľadiska klímy. Z pohľadu odpadového hospodárstva tomu môže napomôcť **Koncepcia nulového odpadu**, to znamená, že spoločnosť neprodukuje žiadny odpad, ale iba suroviny pre ďalšie priemyselné spracovanie. V prípade odpadového dreva sa táto myšlienka rozvíja ešte ďalej a presadzuje sa princíp **Kaskádového využívania dreva**. Princíp kaskádového využívania dreva, preferovaný Európskou úniou, je v teoretickej rovine zároveň aj odpoveďou na predikovaný deficit v dodávkach tejto suroviny v nasledujúcich desaťročiach. Tento princíp môže mať výrazne zmierňujúce dopady na celospoločenský tlak na zníženie zaťaženia životného prostredia vplyvom nadmernej ťažby.

Kaskádové využívanie je efektívne využitie zdrojov pomocou zvyškov a recyklovaných materiálov. Z technického hľadiska kaskádové použitie dreva nastáva, keď sa drevo spracuje na výrobok, ktorý sa najmenej raz použije na ďalší výrobok alebo na energetické účely v jednostupňovej kaskáde. Vo viacstupňovej kaskáde sa drevo spracuje na výrobok viackrát. V súčasnej dobe prebieha enormná snaha odborníkov identifikovať a posúdiť prekážky širšieho uplatňovania kaskádových postupov v EÚ a v rámci členských štátov, identifikovať príklady osvedčených postupov, kde sa kaskádové využitie implementovalo v praxi, a posúdiť rôzne opatrenia, ktoré by mohli pomôcť pri širšom uplatňovaní kaskádových postupov.

## 1. Kaskádové využívanie dreva

Posledné štúdie nasvedčujú tomu, že rastúci dopyt po materiáloch a energii by mohol viesť k deficitu dodávok dreva v nadchádzajúcich desaťročiach. Efektívnejšie využitie drevnej hmoty ponúka potenciál pre prekonanie tohto deficitu, ktorý tkvie v princípe tzv. kaskádového využívania dreva. Kaskádové využívanie je stratégia využívania surovín, akým je aj drevo, v chronologicky postupných krokoch čo najdlhšie, najčastejšie a najefektívnejšie pre materiály a pre energiu až na konci životného cyklu (Obr. 1).



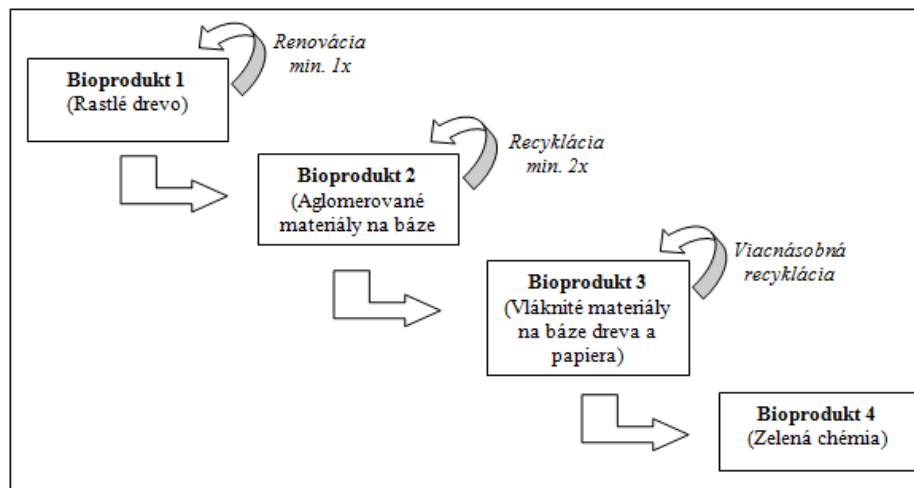
Obr. 1: Schéma stratégie kaskádového využívania dreva.

Zámerom zo spoločenského pohľadu je aj zníženie tlaku na životné prostredie, avšak stav neurčitosti naďalej pretrváva, i keď sa o kaskádovom využívaní často hovorí vo verejnej aj politickej rovine. Spoločné chápanie tohto výrazu a konsenzus o tom, kde a ako kaskádové

použitie dreva by malo byť implementované stále chýba. Integrácia stratégie v jednotlivých krajinách EU sa značne líši. Tento stav vedie k nejasnostiam a nesprávnej interpretácii zo strany zainteresovaných strán. Žiadna z krajín EU neprijala politiku pre kaskádové použitie dreva, avšak množstvo politík a legislatívnych opatrení ovplyvňuje kaskádové využitie a drevospracujúci priemysel všeobecne, napr. stratégie biohospodárstva, lesného hospodárstva, odpadových politík, politík bioenergií, stavebných predpisov atď.

### 1. 1. Teoretický model kaskádového využívania drevnej hmoty

Aj keď je legislatívny stav kaskádového využívania drevnej hmoty neuspokojivý, teoretické modely aplikovateľné v praxi už existujú (Obr. 2). Čiastočné praktické uplatnenie je možné pozitívne hodnotiť hlavne pri recyklácii drevotriekových materiálov, kde v rámci výrobných podnikov, ktoré sú združené v EPF (European Panel Federation), sa na výrobu v roku 2019 použilo iba 24% surovej hmoty, pričom zvyšok tvorilo odpadové drevo (43%) a priemyselné odpady z výroby (33%). Uspokojivé výsledky v celkovej recyklácii dosahuje papierenský priemysel, kde celoeurópsky stupeň recyklácie predstavoval v roku 2019 hodnotu 72% (zdroj: CEPI).



Obr. 2: Teoretický model viacstupňového kaskádového zhodnocovania drevených výrobkov po skončení doby ich používania.

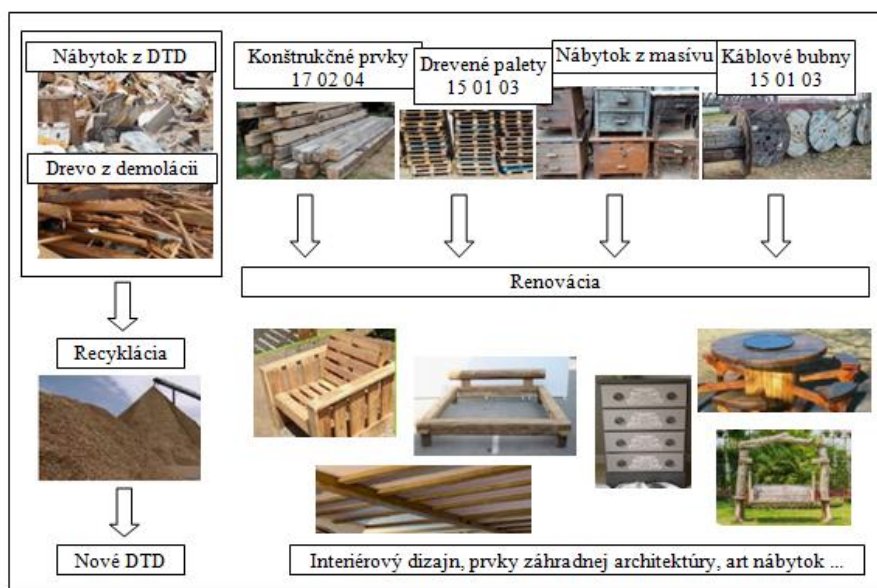
### 1.2. Životný cyklus dreva

Životný cyklus dreva začína už počas rastu stromu. Počas tejto doby strom plní svoju najdôležitejšiu úlohu, kedy vytvára kyslík v rámci fotosyntézy a zároveň plní množstvo ľudstvu prospešných úloh (filtračných, prostredie zvlhčujúcich, zmierňujúcich výkyv teplôt, protihlukových, protieróznych atď.). Toto obdobie trvá okolo 90 rokov a viac, alebo aj menej, v závislosti od nastavenej rubnej doby. Od tohto obdobia sa už počítá životný cyklus dreva vo forme produktu/výrobku. Po ukončení životnosti dreveného výrobku z rôznych dôvodov (nefunkčnosť, morálna zastaralosť, generačná obmena...) zväčša nasledoval hneď proces jeho likvidácie (incinérácia resp. biodegradácia). Životnosť výrobkov z dreva sa v minulom období dala rátať na desiatky rokov v závislosti od typu výrobku (stavebné 50-100 rokov, nábytok 30-40 rokov). Priemyselný (vo veľkom merítku) proces recyklácie priniesla až implementácia

recyklátu do výroby drevotriekových dosiek, čo bolo čiastočne ovplyvnené aj rozvojom mobilných štiepkovacích zariadení.

Stratégia kaskádového využívania implementuje proces recyklácie ako nosný proces vzhľadom na množstvo materiálu, ktorému je možné týmto spôsobom predĺžiť životnosť. Pri šetrnom zaobchádzaní počas likvidácie nepotrebných drevených výrobkov mu môže predchádzať proces renovácie, ktorý postupne naberá na popularite. Ak sa drevený materiál využije „materiálovo“ minimálne ešte raz, okrem svojho pôvodného určenia, hovoríme o jednostupňovom kaskádovom využívaní (Obr. 3).

Pri študovaní odbornej literatúry zistíme, že väčšina autorov preferuje viacstupňové kaskádové využívanie, čiže drevo sa materiálovo zhodnotí hneď niekoľkokrát, pričom aj incinerácia zvyšku sa považuje za jeho zhodnotenie, tentokrát energetické.



Obr. 3: Príklady jednostupňového kaskádového využívania dreva.

## 2. Materiálové zhodnocovanie dreva

Prvotná zodpovednosť za správne využívanie drevnej suroviny pripadá sortimentácii drevených výrezov a spôsobu využívania poťažobných zvyškov. Jednotlivé zatriedenie do kvalitatívnych stupňov predurčujú jej prvotné použitie. Kvalitatívne zhodnocovanie (dosiahnuť čo najvyššiu pridanú hodnotu pre daný kvalitatívny stupeň) je regulované cenovou politikou za vstupnú surovinu a závisí od technickej a technologickej vyspelosti spracovateľa. Celá táto oblasť až po výrobu prvotného výrobku z dreva sa zdá byť už uzavretá z pohľadu materiálového zhodnocovania avšak napriek tomu sa stále stretávame s nedostatočným dôrazom pri sortimentácii, neschopnosťou spracovať niektoré kvalitatívne stupne a/alebo schopnosťou dostatočne využiť vlastnosti tej ktorej dreviny. Osobitne je potrebné spomenúť nízku schopnosť správne zareagovať pri kalamiách.

Sekundárna zodpovednosť je to, čo chceme v súčasnosti docieľiť a to je „**kaskádovo**“ využívať drevnú hmotu podľa segmentov odpadového dreva. Nasledujúce segmenty odpadového dreva spoločne predstavuje najväčšie využitie dreva podľa objemu v súčasnosti v EÚ:

### **2.1. Konštrukčné odpadové drevo a drevo z demolácii budov**

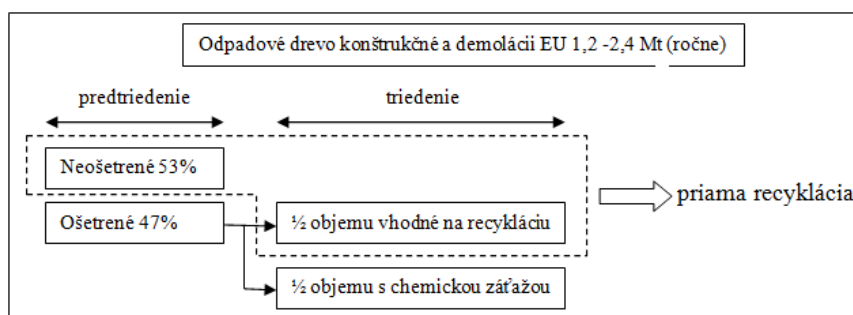
V súčasnosti sa väčšina vyťaženého dreva spotrebuje na stavebné účely. Zvyšky dreva sa vytvárajú vo forme odrezkov, polámaných kúskov, obalov alebo nosných konštrukcií už počas stavebných procesov. Štatistiky o dreve neobsahujú samostatnú kategóriu pre tieto množstvá, ale poskytujú základ pre hrubý odhad tohto toku odpadu v EÚ v rozmedzí 1,2 až 2,4 Mt ročne. Jednou z veľkých výziev je ekonomický zber pomerne malých a rozptýlených množstiev. Súčasťou problému je, že tento druh odpadu sa často nezhodnocuje osobitne, ale naopak sa zbiera, nakladá s ním aj zneškodňuje v zmesi s iným stavebným a demolačným odpadom. V súčasnosti recyklačné kanály závisia spôsobu triedenia a klasifikácie drevného odpadu. Predpisy o materiáloch v drevotriekovom priemysle sú také, že drevný tento odpad je z veľkej časti vylúčený z recyklácie.

Dôležitú úlohu zohráva to, že pre toto drevo všeobecne predpokladá prítomnosť kontaminantov. Iba veľmi málo krajín prijalo legislatívny rámec, ktorý klasifikuje drevný odpad a snaží sa zabezpečiť, aby bolo možné určiť a spracovať recyklovateľné množstvá oddelene od potenciálne kontaminovaných. Väčšina krajín však uplatňuje všeobecné právne predpisy o odpadovom hospodárstve (napr. rozlišovanie medzi nebezpečným a nie nebezpečným) aj na drevný odpad. Znečistenie drevného odpadu môže byť obzvlášť zložité a môže mať charakter aj chemický aj fyzikálny (napr. cudzí materiál). Pre stavebné drevené prvky sa navyše predpokladá ďalšie riziko, pretože medzi ne patria komponenty, ktoré mohli byť ošetrené konzervačnými látkami. Nemôžeme poskytnúť záruky, či to tak skutočne bolo alebo nie, pokiaľ nie je poskytnuté laboratórne testovanie.

Významné zlepšenie v oblasti opätovného použitia by sa dalo dosiahnuť, keby sa použili schémy separácie zdrojov a predtriedenia. To by si zase vyžadovalo selektívnejšie búracie, pomocné mobilné zariadenia na rýchlu detekciu alebo označenia (ošetreného a neošetreného) dreva. Tieto techniky ešte nie sú rozšírené, pretože je stále potrebné ich spoľahlivosť ďalej rozvíjať a znižovať s nimi spojené náklady. Menej komplikované spôsoby predtriedenia však môžu byť dôležité, ak po nich nasleduje sofistikovanejšie stacionárne triedenie a ďalšie rôzne opatrenia na odstránenie kontaminantov, pre ktoré už existujú praktické a ekonomicky únosné čistiace techniky.

Štúdie ukázali, že asi 53% celkového stavebného bolo neošetrených (Obr. 4). Zvyšok bol rozdelený rovnakým dielom medzi dve kategórie „upravené drevo“ a „drevo s nebezpečnou kontamináciou“. Ďalšie štúdie ukázali, že podiel „neošetreného dreva“ sa pohybuje v rozmedzí 36 - 45%, jednoduché predtriedenie a techniky selektívneho búrania by umožnili asi dve tretiny tohto materiálu správne oddeliť a použiť na recyklačné účely. Pri tomto prešetrovaní sa tiež zistilo, že v priemere viac ako 70% drevených komponentov malo opakovane použiteľnú kvalitu na renováciu.





Obr. 4: Kaskádového využívania konštrukčné odpadové drevo a drevo z demolácii budov.

Celkové vyhlíadky kaskádovania stavebného dreveného odpadu majú mierne pozitívne vyhlíadky. Postupom času došlo k postupnému znižovaniu používania škodlivých látok pri konzervácii dreva, a to predovšetkým v dôsledku chemickej regulácie, ktorá zahŕňa a zakazuje rastúci počet týchto látok. Detekčné technológie sa navyše neustále zdokonaľujú.

## 2.2. Odpadové aglomerované materiály na báze dreva

Drevotrieskové dosky v súčasnosti dominujú výrobe aglomerovaných materiálov na báze dreva. Ďalšími hlavnými segmentmi sú polotvrdá drevovláknitá doska (MDF), drevovláknité dosky s vysokou hustotou (HDF) a dosky s orientovanými vláknami (OSB). Asi jedna tretina dreva na ich výrobu pochádza z recyklovaného dreva a asi 15% objemu tvoria nedrevené komponenty (živica, chemikálie vrátane vosku, farbív a zmáčadiel atď.). Údaje o toku dreva naznačujú, že drevotrieskové dosky sú jediným segmentom, kde sa v súčasnosti vo väčšej miere používa zhodnocované drevo.

Výhodou drevotrieskových dosiek je, že sa dajú vyrobiť z rôznych druhov surového dreva. Výhodou je nižšia vstupná cena za recyklované drevo a jeho nízky obsah vlhkosti, ktorý výrazne znižuje množstvo energie potrebnej na sušenie. Nevýhodou je znečistenie drevených častíc. Fyzické triedenie je čoraz viac potrebné na zníženie chemickej kontaminácie. Separovať a odstraňovať kontaminanty je extrémne dôležité. Existujú tiež pomerne prísne obmedzenia týkajúce sa recyklácie OSB a drevotrieskových materiálov späť do nových dosiek (Tab. 1). Dokonca použité drevené palety, veľmi vyhľadávaný vstup pre výrobu drevotrieskových dosiek, už nie je ľahké recyklovať kvôli kompozitným výrobkom, ktoré zahŕňajú aj plasty vo zvyšujúcich sa množstvách.

Tab. 1: Limitné hodnoty kontaminantov pre aglomerované materiály na báze dreva. Tabuľka obsahuje odporúčané hodnoty pre členov EPF (European Panel Federation).

Chemický kontaminant	Limitná hodnota (g/kg a.s.)
Arzén	0,025
Kadmium	0,050
Chróm	0,025
Meď	0,04
Olovo	0,09
Ortuť	0,025
Fluór	0,1
Chlór	1,0

Pentachlórfenol (PCP)	0,005
Kreozot (Benzo(a)pyrén)	0,0005

Vyváženejšie nariadenia a harmonizácia podmienok by mohli pridať na stabilitu v kaskádovom využívaní segmentu odpadových aglomerovaných materiálov. Rastúce očakávania od výrobcov a zvyšujúca sa rozmanitosť materiálov na trhu zvyšujú výzvu integrovať druhotné suroviny do výroby a zvládnuť klesajúcu čistotu spätne získaných objemov dreva, čo podnecuje ďalší vývoj technológie čistenia recyklovaného dreva. Najnovší vývoj zahŕňa ekologické a suché čistenie recyklovaného dreva s cieľom získať materiál blízky kvalite pôvodného dreva. Tieto technológie založené na vysokej intenzite separácie a preosievaní materiálových vstupov pre rôzne vrstvy dosiek sú schopné eliminovať asi 98% znečisťujúcich látok z materiálového toku.

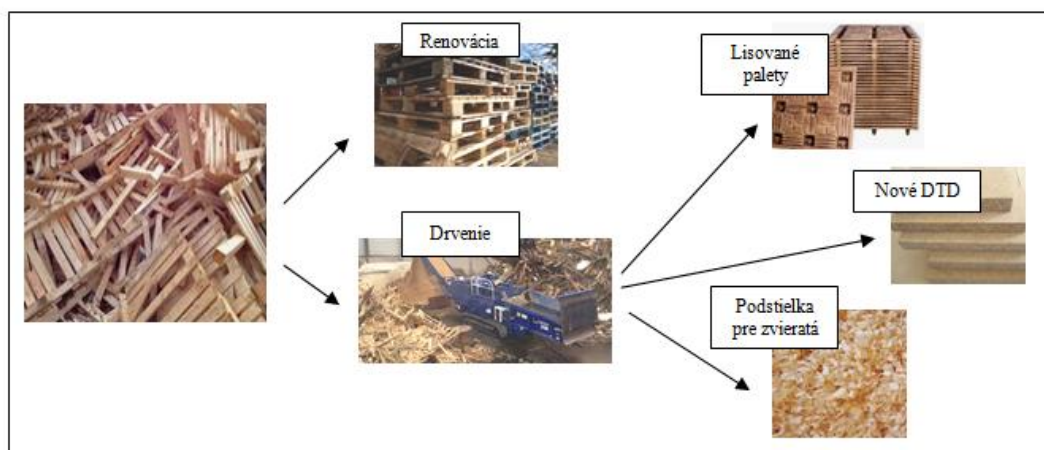
### 2.3. Odpadové obalové materiály na báze dreva

Drevené obaly zahŕňajú drevené palety, prepravky, krabice a priemyselné obaly. Z tohto množstva tvoria drevené palety tvoria asi 75%, zvyšok sú priemyselné a ľahké obaly. 90% paliet je vyrobených z dreva. Predpokladá sa, že v EU cirkuluje asi 2,5 mld paliet. Na tento segment sa ročne spotrebuje asi 17,3 mil. m<sup>3</sup> dreva, čo je zhruba 17% výroby reziva v EÚ.

Drevené palety sa často vyrábajú podľa štandardizovaných formátov, aby sa uľahčilo ich opätovné použitie. Drevené obalové materiály v EÚ sú zvyčajne vyrobené z čistého rezaného dreva, čo z neho robí atraktívny materiál pre materiálové zhodnotenie. Na zníženie rizika zavlečenia karanténnych škodcov spojených s prepravou prostredníctvom medzinárodného obchodu sa používalo aj chemické ošetrovanie metylbromidom, čo bolo väčšinou krajín zakázané od roku 2010. Preto sa neočakáva, že ošetrovanie metylbromidom už nepredstavuje prekážku pre kaskádové použitie odpadu z drevených obalov.

Z pohľadu kaskádového využívania je pre palety dôležité opätovne použitie. Priemerná životnosť palety 5 až 7 rokov. Výskum ukázal, že podiel nových paliet na trhu je 25% v Nemecku, 25% vo Francúzsku a 42% vo Veľkej Británii. Podľa Eurostatu v roku 2015 sa materiálovo zhodnotilo (recyklovalo) asi 37% paliet, dlhodobou ambíciou EU je 80%. Odpad z drevených obalov je všeobecne čistý a pozostáva hlavne z rezaného dreva, preto je vhodný na použitie v priemysle drevotriekových dosiek. Ostatné identifikované možnosti sú využitie dreveného vlákna resp. drevených triesok na výrobu lisovaného dreva, čo je už zavedené v praxi, využitie vlákna pre celulózový a papierenský priemysel, avšak výroba buničiny preferuje potrebné čerstvé drevo a využitie ako podstielka pre zvieratá alebo v priemyselnom dizajne je štatisticky zatiaľ málo významné (Obr. 5).

Pre kaskádové využívanie drevených odpadových obalov boli identifikované tieto štyri základné bariéry: zvýšené požiadavky na bioenergie, problematický zber (sústredovanie), nedostatočne zvládnutá separácia od chemicky zaťaženej dreva a limitované recyklačné aplikácie.



Obr. 5: Kaskádového využívania odpadových paliet na báze dreva.

#### 2.4. Drevený nábytok po ukončení doby užívania

Zhruba sa odhaduje, že v EÚ sa ročne zlikviduje až 10 miliónov ton nábytku, ale pravdepodobne oveľa väčšie množstvo dosiahne koniec svojej prvej fázy používania v rovnakom období. Viac ako dve tretiny výroby drevotrieskových dosiek a asi polovica výroby MDF sú spotrebované týmto odvetvím. K tomu existuje trend zvyšovania podielu aglomerovaného dreva a lepenkových materiálov pri výrobe nábytku. Problémom nábytku pri recyklácii je jeho volumínóznosť a použitie rôznych materiálov a spôsobov ich spájania pri samotnej separácii materiálov. Okrem toho už separovaná odpadová MDF nemá koncepčne vyriešenú recykláciu. Preto väčšina odpadového nábytku končí na skládkach komunálneho odpadu alebo sa likviduje incineráciou. Otázka recyklácie starého nábytku je stále otvorená, zavedenie zodpovednosti za vznik odpadu sa bude pravdepodobne musieť riešiť poplatkami už pri jeho výrobe.

### 3. Koncept biorafinérii v kontexte kaskádového využívania dreva

Biorafinérie môžu slúžiť ako východiskový bod pre kaskádové použitie dreva (jednostupňový model), ako aj pre využitie drevených vlákien neskôr v kaskádovom reťazci (viacstupňový model) tak, že sa zabráni akýmkoľvek tokom odpadu, alebo sa optimalizuje výstup produktu s vyššou pridanou hodnotou (upcycling). Vis a kol. (2016) zostavili štyri scenáre pre biorafinérie podľa poznatkov dnešného výskumu (Schéma 1-4).

Pre prvé tri scenára je nosným transformačným procesom drevnej hmoty na medziprodukty tzv. organosolv proces, čiže sa v procese používajú organické rozpúšťadlá za účelom rozpustiť rozpustnú časť lignínu a hemicelulózy a uvoľniť celulózu pre ďalšie použitie. Vznikajúce medziprodukty (lignín a cukry C5, C6) sa ďalej transformujú v chemických procesoch na valorizované materiály s uplatnením v potravinárstve, kozmetike, biopalivách a pod.

Integrovaný proces by mohol byť zaujímavý pre transformáciu celulóзовých fabriek. Mnohé spoločnosti už prešli na výrobu zaujímavejších produktov s vyššou pridanou hodnotou ako je napr. textilné vlákno.

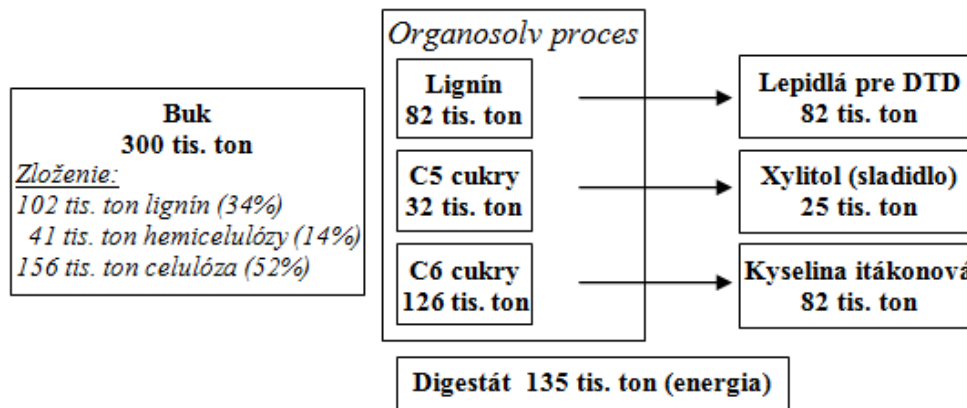


Schéma 1: Scenár materiálových tokov biorafinérie (Organosolv proces) pre listnaté dreviny. Kyselina itákonová má široké využitie v kozmetike.

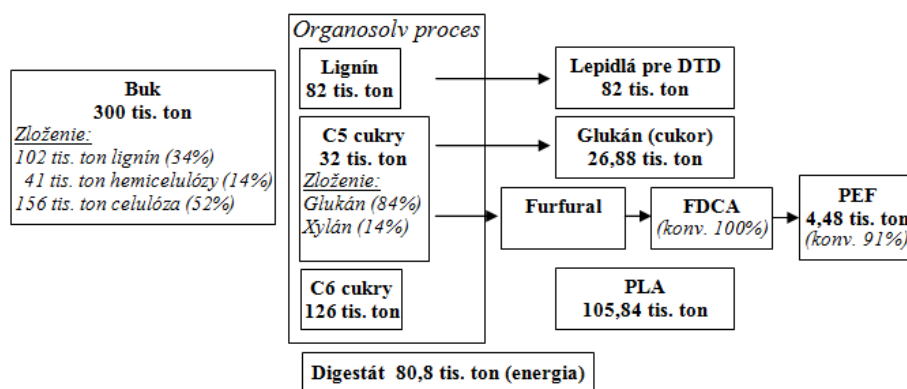


Schéma 2: Scenár materiálových tokov biorafinérie (Organosolv proces) pre listnaté dreviny. Kyselina polymliečná (PLA) má perspektívu v baliarenskom priemysle ako náhrada za polyetylén.

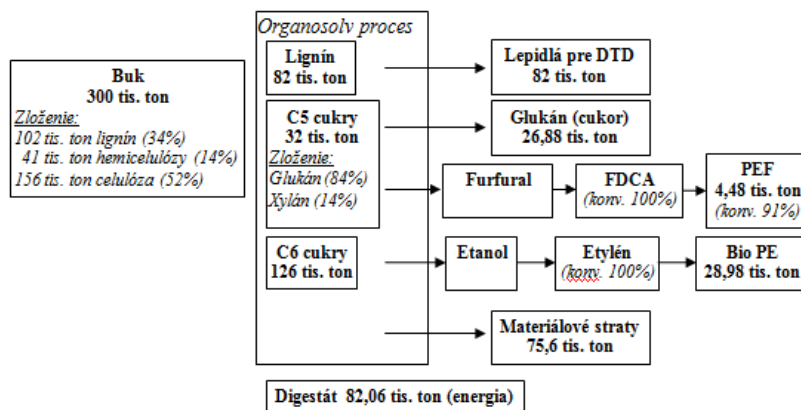


Schéma 3: Scenár materiálových tokov biorafinérie (Organosolv proces) pre listnaté dreviny.

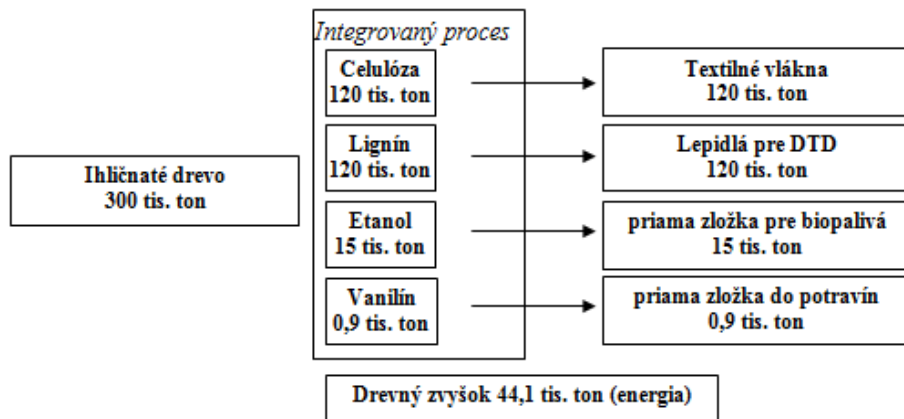


Schéma 4: Scenár materiálových tokov biorafinérie (Integrovaný proces) pre ihličnaté dreviny.

#### 4. Referenčné skupiny odpadového dreva a súčasné postupy materiálového zhodnocovania

##### Odpady z drevovýroby

- **Odrezky, piliny, hobliny, kôra z masívneho dreva:** spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák alebo na výrobu energonosičov – drevených briekiet a peliet. Kôra sa spracováva po rozdrvení a homogenizácii na mulčovacie hmoty alebo sa kompostuje.
- **Odrezky, piliny, hobliny z aglomerovaných drevných materiálov a povrchovo upravených drevených dielcov:** spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák.

##### Obaly z dreva

- **Palety z masívneho dreva:** zchovalé palety sa repasujú a vracajú do obehu, ťažko poškodené sa rozoberajú na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s následnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák alebo na výrobu energonosičov – drevených briekiet a peliet.
- **Palety z aglomerovaných drevných materiálov:** zchovalé palety sa repasujú a vracajú do obehu, ťažko poškodené sa rozoberajú na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s následnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák .
- **Ostatné drevené palety s chemickou záťažou:** používajú sa výhradne na termické využitie – výroba tepelnej alebo elektrickej energie s prípadným mechanickým predspracovaním na homogenizované energetické štiepky.
- **Drevené debne a prepravky z masívneho dreva:** zchovalé debne a prepravky sa repasujú a vracajú do obehu, ťažko poškodené sa rozoberajú na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s následnou

homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák alebo na výrobu energonosičov – drevených brikiel a peliet.

- **Debne a prepravky z drevných aglomerovaných materiálov:** zachovalé debne a prepravky sa repasujú a vracajú do obehu, ťažko poškodené sa rozoberajú na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák .
- **Prepravky na ovocie, zeleninu a ozdobné rastliny z masívneho dreva:** zachovalé prepravky sa repasujú a vracajú do obehu, ťažko poškodené sa rozoberajú na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák alebo na výrobu energonosičov – drevených brikiel a peliet.
- **Drevené obaly na muníciu:** zachovalé muničné obaly sa repasujú a vracajú do obehu, ťažko poškodené sa rozoberajú na dielce a po rozdrvení na drtičoch sa využívajú výhradne na termické využitie – výroba tepelnej alebo elektrickej energie s prípadným mechanickým predspracovaním na homogenizované energetické štiepky.
- **Káblové bubny z masívneho dreva:** zachovalé káblové bubny sa repasujú a vracajú do obehu, ťažko poškodené sa rozoberajú na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák alebo na výrobu energonosičov – drevených brikiel a peliet.

## **Drevo zo stavieb**

### *Zariadenia stavenísk*

- **Pomocné drevené konštrukcie pre stavby z masívneho dreva bez povrchovej úpravy:** Spôsob ďalšieho materiálového zhodnotenia závisí od rozmerov jednotlivých konštrukčných prvkov a ich zachovalosti po skončení doby ich používania. Zachovalé veľkorozmerové dielce sa po piliarskom predspracovaní na rezivo využívajú v nábytkárskej výrobe alebo na výrobu drevených krycích alebo ozdobných líšt, malorozmerové dielce a veľkorozmerové dielce ťažko poškodené sa spracovávajú mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák alebo na výrobu energonosičov (brikiel a peliet). Pred spracovaním je potrebné odseparovať nedrevené súčiastky.
- **Pomocné drevené konštrukcie z aglomerovaných drevných materiálov alebo povrchovo upraveného masívneho dreva:** Rozoberajú sa na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák. Pred spracovaním je potrebné odseparovať nedrevené súčiastky.

### *Demolácie stavebných objektov*

- **Drevené vnútorné obklady, podlahy, stropy, podhl'ady, schodištia, vnútorné dvere a zárubne, krycie a ozdobné líšty, vnútorné stĺpy a drevené konštrukcie /bez škodlivého znečistenia/:** zachovalé výrobky a dielce sa buď repasujú a opravujú alebo sa

z nich vyrábajú nové výrobky na predaj, silne poškodené sa rozoberajú na jednotlivé dielce a spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák. Pred spracovaním je potrebné odseparovať nedrevené súčiastky.

- **Drevené tepelne- a zvukovo izolačné dosky s povrchovou úpravou na báze PCB:** Po rozdrvení výhradne na termické využitie vo vhodných, na tento účel certifikovaných, spaľovacích zariadeniach, napr. cementárne a pod.
- **Drevotrieskové dosky stavebné:** Spracovávajú sa mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák.
- **Drevené prvky nosných konštrukcií:** Zachovalé konštrukčné prvky bez hniloby, prítomnosti drevokazného hmyzu a bez povrchovej úpravy sa využívajú po očistení v stolárstve na výrobu nových výrobkov, poškodené s prítomnosťou hniloby a/alebo drevokazného hmyzu a s povrchovou úpravou výhradne, po rozrezaní a prípadne rozdrvení na energetické štiepky, len pre termické využitie.
- **Drevené krovy a strešné dosky:** Zachovalé krovy a strešné dosky bez hniloby, prítomnosti drevokazného hmyzu a bez povrchovej úpravy sa využívajú po očistení v stolárstve na výrobu nových výrobkov, poškodené s prítomnosťou hniloby a/alebo drevokazného hmyzu a s povrchovou úpravou výhradne, po rozrezaní a prípadne rozdrvení na energetické štiepky, len pre termické využitie. Pred spracovaním je potrebné odseparovať nedrevené súčiastky.
- **Drevené okná, drevené okenice, drevené dvere vonkajšie /vchodové/:** Zachovalé okná, okenice a vchodové dvere bez hniloby a prítomnosti drevokazného hmyzu sa repasujú a vracajú sa k opakovanému využitiu v menej hodnotných stavbách / chatách, záhradných domčekoch a pod. /, poškodené s prítomnosťou hniloby a/alebo drevokazného hmyzu výhradne, po rozrezaní a prípadne rozdrvení na energetické štiepky, len pre termické využitie. Sklo a ostatné nedrevené súčiastky sa separujú osobitne.
- **Impregnované stavebné drevo z exteriéru:** Po rozrezaní a prípadnom rozdrvení na energetické štiepky výhradne na termické využitie. Pred spracovaním je potrebné odseparovať nedrevené súčiastky.
- **Stavebné a demoličné drevo so škodlivým znečistením:** Po rozrezaní a prípadnom rozdrvení na energetické štiepky výhradne na termické využitie.

### **Impregnované drevené výrobky pre exteriéry**

- **Drevené železničné podvaly:** Po rozmanipulovaní a prípadnom rozdrvení na energetické štiepky výhradne na termické využitie za vysokých teplôt na osobitne pre tento účel certifikovaných spaľovacích zariadeniach /napr. cementárne, kde teplota pri výrobe cementu dosahuje 1300 – 1500°C/.
- **Drevené elektrické, telefónne a chmel'ové stĺpy:** Po rozmanipulovaní a prípadnom rozdrvení na energetické štiepky výhradne na termické využitie za vysokých teplôt na osobitne pre tento účel certifikovaných spaľovacích zariadeniach /napr. cementárne, kde teplota pri výrobe cementu dosahuje 1300 – 1500°C/.

- **Drevené výrobky záhradnej architektúry, pre poľnohospodárstvo, impregnovaný záhradný nábytok:** Zachovalé výrobky záhradnej architektúry bez hniloby a prítomnosti drevokazného hmyzu sa repasujú a vracajú sa k opakovanému využitiu, poškodené s prítomnosťou hniloby a/alebo drevokazného hmyzu výhradne, po rozrezaní a prípadne rozdrvení na energetické štiepky, len pre termické využitie.

### Nábytok

- **Nábytok z masívneho dreva bez povrchovej úpravy:** Zachovalý nábytok po očistení a/alebo drobných opravách buď do second hand obchodov k opakovanému predaju /remarketing/ alebo do sociálnej siete. Znehodnotený, ťažko poškodený nábytok po rozobratí na jednotlivé dielce sa spracováva mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s následnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák alebo na výrobu energonosičov – drevených brikiet a peliet /downcycling/. Sklo a nedrevené súčiastky sa separujú osobitne. Zachovalé dielce sa požívajú na výrobu nového nábytku alebo drobných drevených výrobkov–kuchynské drevené náradie, drevené dekoračné predmety, drevená bižutéria, rôzne lišty a pod.
- **Drevený nábytok z aglomerovaných drevných materiálov bez obsahu halogenorganických látok:** Zachovalý nábytok po očistení a/alebo drobných opravách buď do second hand obchodov k opakovanému predaju / remarketing / alebo do sociálnej siete. Znehodnotený, ťažko poškodený nábytok sa rozoberá na jednotlivé dielce. Znehodnotené dielce sa spracovávajú mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na triesky pre výrobu nových drevotrieskových dosák /downcycling/. Zachovalé dielce sa požívajú na výrobu nového nábytku /upcycling/.
- **Drevený nábytok z aglomerovaných drevných materiálov s obsahom halogenorganických látok:** Zachovalý nábytok po očistení a/alebo drobných opravách buď do second hand obchodov k opakovanému predaju alebo do sociálnej siete. Znehodnotený, ťažko poškodený nábytok sa rozoberá na jednotlivé dielce. Znehodnotené dielce sa spracovávajú mechanicky na drtičoch, mlynoch a roztrieskovačoch s nasledovnou homogenizáciou na energetickú štiepku pre termické využitie.

**Drevené výrobky z komunálneho odpadu:** Po odseparovaní od nedrevenej časti komunálneho odpadu výhradne na termické využitie a to buď v pôvodnom stave alebo ako komponent do alternatívneho paliva, tzv. SRF /Solid recovered fuels/ pre cementárne.

**Drevo z priemyselných objektov /priemyselné podlahy, chladiace veže a pod./:** Výhradne pre termické využitie

**Drevo z vodných stavieb:** Po rozrezaní, prípadne rozdrvení výhradne pre termické využitie.

**Drevo z lodných vrakov a vagónov:** Po rozrezaní, prípadne rozdrvení výhradne na termické využitie.



**Drevo z havarovaných stavieb /napr. drevo po požiaru/:** Po rozrezaní, prípadne rozdrvení výhradne na termické využitie.

**Jemná frakcia z opracovania drevených výrobkov po skončení doby ich užívania:** Výhradne na termické využitie.

## 5. Triedenie a recyklácia odpadového dreva. (Prípadová štúdia)

### 5.1. Ciele a obsah prípadovej štúdie

Cieľom štúdie je zmapovať objem odpadového dreva v špecializovanom zbernom dvore, kde sa sústreďuje drevný odpad z domácnosti a firiem, priemyselné odpady po spracovaní dreva (piliny, odrezky a pod.) nie sú predmetom tejto štúdie. Jednotlivé odpady boli zatriedené do štyroch referenčných skupín, pričom sa zohľadňovala chemická záťaž obsiahnutá v dreve a spôsob ďalšej recyklácie. Preukázanie zvýšeného využitia odpadového dreva sa uskutočnilo jednoduchých predtriedením drevného odpadu. Keďže v zbernom dvore drevný odpad pravidelne pribúda a zároveň sa aj ďalej odváža na spracovanie resp. likvidáciu, metodicky bol prieskum robený na objemoch cca 10 m<sup>3</sup> odpadovej drevnej hmoty pre každú zo štyroch referenčných skupín. Z každej referenčnej skupiny bola vytvorená reprezentatívna vzorka 1 m<sup>3</sup> (objemový). Vzniknutá štatistická chyba sa neposudzovala, keďže špecifickým cieľom nebolo stanovenie presnej ročnej bilancie, ale skôr preukázanie efektívnejšieho spôsobu ako drevnú hmotu kaskádovo využívať už pri jej prvotnom predspracovaní v zbernom dvore.

### 5.2. Referenčné skupiny

Referenčné skupiny odpadových drevných materiálov podľa kapitoly 4 sú usporiadané podľa platného **Katalógu odpadov** v znení príslušnej vyhlášky MŽP SR. Triedenie na 32 a viac skupín na zbernom dvore by zrejme nebolo efektívne nie len z pohľadu prácnosti a náročnosti na priestor ale aj z pohľadu toho, že sa materiálová báza v jednotlivých skupinách často prekrýva. Odpady z drevovýroby (odrezky, piliny, hobliny, kôra, odrezky a piliny z aglomerovaných materiálov a povrchovo upravených dielcov) neboli predmetom štúdie, keďže nie sú bežným artiklom v zbernom dvore. Takisto predmetom štúdie neboli špeciálne drevné odpady, akými sú obaly na muníciu, železničné podvaly, elektrické a telefónne stĺpy, drevo z lodných vrakov a vagónov, ktoré sa v zbernom dvore neobjavujú bežne. Pri niektorých artikloch, ako napr. káblové bubny z masívneho dreva, sa predpokladá, že ich zaradenie prebehne logicky a to podľa spôsobu chemického znečistenia. Zvláštnu skupinu tvorí drevo po požiaroch, ktoré sa môže dostať do zberného dvora a jeho zatriedenie opäť závisí skôr na logike ako na nejakom predpísanom postupe.

Aj z hore uvedeného pohľadu ale hlavne z pohľadu početnosti výskytu v zberných dvoroch boli stanovené tieto štyri referenčné skupiny, kde sa skôr prihliadalo na pôvodný produkt: 1. Konštrukčné odpadové drevo, 2. Demoličné odpadové drevo, 3. Drevené palety odpadové, 4. Drevený nábytok odpadový. A z týchto referenčných skupín boli vytvorené materiálové skupiny, kde sa prihliadalo na materiálovú bázu: a) Drevotriekové/drevoštiepkové dosky odpadové, b) Drevovláknité dosky odpadové, c) Preglejky odpadové.

#### 5.2.1. Konštrukčné odpadové drevo

Skupina konštrukčného odpadového dreva bola tvorená odrezkami čerstvého hraneného reziva zo staveniska ako sú prvky strešnej konštrukcie (odrezky krokiev, pomurníc, strešných lát) a zbytkov šalovacích dosiek z reziva. V malom množstve sa tam nachádzala stĺpovina s kôrou, ktorá zrejme slúži namiesto podporných stĺpov debnenia. zastúpenie preglejok a OSB dosiek,

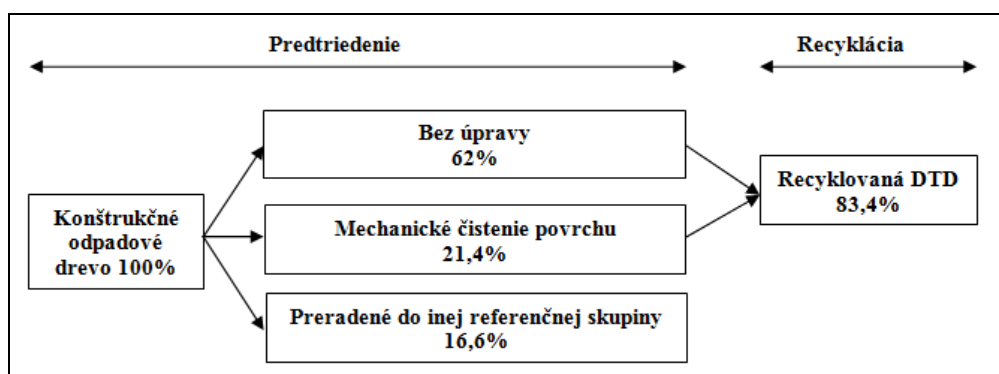
ktoré sa používajú na šalovacie práce je významné. Percentuálne zastúpenie sortimentu referenčnej skupiny konštrukčné odpadové drevo je uvedené v Tab. 2.

Tab. 2: Sortimentácia konštrukčného odpadového dreva- predtriedenie.

Sortiment	Podiel	Špecifická hmotnosť (kg/m <sup>3</sup> )	Chemická záťaž	Povrchové znečistenie	Spôsob recyklácie
Hranené rezivo	83,0%		<sup>1</sup> povrch. impreg. <sup>2</sup> nie	<sup>1</sup> zvyšky betónu <sup>2</sup> nie	<sup>1</sup> mechanické čistenie povrchu → recyklovaná DTD <sup>2</sup> → recyklovaná DTD
Preglejky	5,4%		lepidlá	zvyšky betónu	→ preradenie do Preglejky odpadové
OSB	11,2%		nie	<sup>1</sup> zvyšky betónu <sup>2</sup> nie	<sup>1</sup> mechanické čistenie povrchu → preradenie do OSB odpadové <sup>2</sup> → preradenie do OSB odpadové
Stĺpovina	0,4%		nie	kôra	mechanické čistenie povrchu → recyklovaná DTD

Najväčšie zastúpenie má hranené rezivo, čo je dobrý základ pre ďalšiu recykláciu v procese výroby DTD. Povrchová impregnácia nebola považovaná za nadmernú chemickú záťaž vzhľadom na jej zanedbateľné množstvo v celku. Povrchové znečistenie, hlavne od betónu a zemín bolo mechanicky odstránené. Taktiež boli odstránené zvyšky kôry zo stĺpoviny. Na samotnú recykláciu pre opätovnú výrobu DTD sa tak pripravilo 83,4% vstupnej suroviny (Obr. 6).

Obr. 6: Konštrukčné odpadové drevo- materiálové toky.



### Príprava 100% recyklovanej DTD

Vytriedené konštrukčné odpadové drevo bolo rozmanipulované na kúsky do veľkosti 150 mm a dezintegrovane na prstencovom trieskovači Pallmann s oválnym okružením (dĺžka otvorov 54,1 mm, šírka otvorov 5,5 mm). Frakcia triesok bola triedená preosievaním na povrchové a stredové. Lepidlová zmes obsahovala Kronores CB 1100 F s 5%-nou zanáškou tužidla DAM 390. Parafín bol pridaný v množstve 0,8%. Pomer stredových a povrchových triesok predstavoval 1:1. Sformovaný koberec 400 x 400 mm bol lisovaný pri teplote 180°C počas 230

sek. Dosky boli po vylisovaní klimatizované a formátované. Mechanické vlastnosti takto pripravených dosiek boli stanovené na zariadení Heckert FTZ 10/1 podľa EN 310:1993 Zisťovanie modulu pružnosti v ohybe a pevnosti v ohybe, EN 319:1993 Zisťovanie pevnosti v ťahu kolmo na rovinu dosky, EN 311:2002 Odrhová pevnosť povrchových vrstiev. Skúšobná metóda, a EN 320:2011 Trieskové a vláknité dosky. Stanovenie odporu proti vytiahnutiu skrutky v axiálnom smere. Požadované vlastnosti boli porovnávané s požiadavkami EN 312:2004 Trieskové dosky. Špecifikácie. (Dosky na vnútorné zariadenia (vrátane nábytku) na používanie v suchom prostredí (typ P2) - Požiadavky na určené mechanické vlastnosti).

Tab. 3: Vlastnosti 100% recyklovanej DTD.

	100% recyklovaná DTD	Požiadavky podľa EN 312:2004 (Tab. 3)
Hrúbka (mm)	16,45	-0,3 -1,7 mm (nebrúsená)
Objemová hustota (kg/m <sup>3</sup> )	751,6	-
Pevnosť v ohybe (N/mm <sup>2</sup> )	14,2	11,0
Modul pružnosti (N/mm <sup>2</sup> )	1726	1600
Odrhová pevnosť (N/mm <sup>2</sup> )	1,1	0,8
Hrúbkové napúčanie	24 hod (%)	15,0 (typ P4)

Namerané hodnoty vyrobených 100% recyklovaných DTD sú uvedené v Tab. 3. Mechanické vlastnosti prevyšujú hodnoty požadované EN 312:2004.

### 5.2.2. Demoličné odpadové drevo

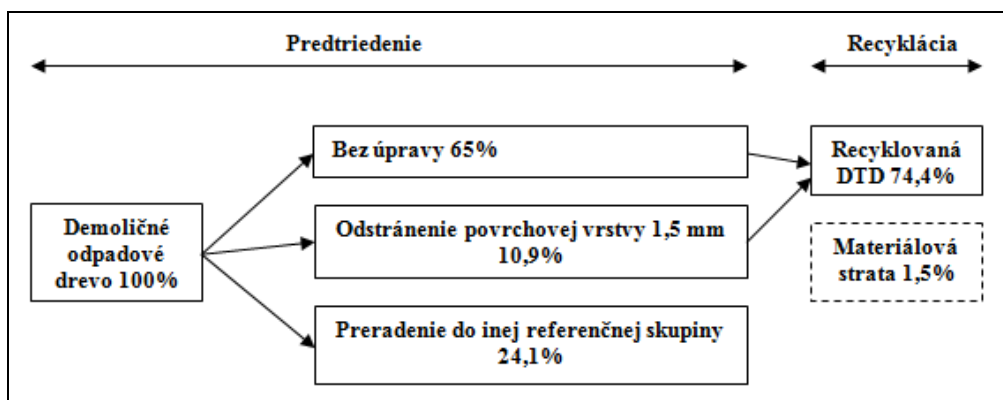
Skupina konštrukčného odpadového dreva bola tvorená množstvom starého hraneého reziva zo stiech (krokvy, pomurnice, strešné debnenie, late), ktoré obsahovalo množstvo hrdzavejúcich klinecov. Ďalšiu významnú skupiny tvorili vonkajšie okná, ktoré sa v súčasnosti vo veľkých množstvách nahrádzajú za nové. Interiérové drevo obsahovalo rôznu materiálovú bázu (rastlé drevo, trieskové dosky, vláknité dosky) s rôznou povrchovou úpravou. Percentuálne zastúpenie sortimentu referenčnej skupiny demoličné odpadové drevo je uvedené v Tab. 4.

Tab. 4: Sortimentácia demoličného odpadového dreva- predriedenie.

Sortiment	Podiel	Špecifická hmotnosť (kg/m <sup>3</sup> )	Chemická záťaž	Povrchové znečistenie	Spôsob recyklácie
Hranené rezivo	61,0%		nie	nie (obsiahnuté kovové klinec)	→ recyklovaná DTD
Interiérové drevo	28,1%		<sup>1</sup> povrch. úprava <sup>2</sup> lepidlá	nie nie	→ recyklovaná DTD → preradenie do DTD, DVD odpadové
Stavebno-stolárske exteriérové drevo	10,9%		<sup>1</sup> povrch. úprava	nie	<sup>1</sup> odstránenie povrchovej vrstvy 1,5 mm → recyklovaná DTD

Najväčšie zastúpenie má opäť hnané rezivo, čo je dobrý základ pre ďalšiu recykláciu v procese výroby DTD. Klince boli ručne odstránené ale v procese reálneho spracovania nepredstavujú technický problém, vzhľadom na to, že vysoko efektívne recyklačné technológie kovové časti od drevnej hmoty automaticky oddelia. Povrchová úprava pri tejto skupine dreva už predstavuje chemickú záťaž vzhľadom na rozpúšťadlovú bázu na rozdiel od povrchovej impregnácie. Pri exteriérových oknách a dverách po rozobratí na jednotlivé dielce bola povrchová vrstva v hrúbke cca 1,5 mm pilotne odhobľovaná. Takáto úprava sa už v dostupnej literatúre vyskytuje avšak nie je vedomosť o jej praktickej aplikácii vo väčšom merítku. Značná časť interiérových prvkov bola vyrobená na báze aglomerovaných materiálov, a preto tieto boli priradené do inej referenčnej skupiny. Na samotnú recykláciu pre opätovnú výrobu DTD sa tak pripravilo 74,4% vstupnej suroviny (Obr. 7).

Obr. 7: Demoličné odpadové drevo- materiálové toky.



### Príprava DTD so 100% recyklátom v stredovej vrstve

Vytriedené demoličné odpadové drevo bolo rozmanipulované na kúsky do veľkosti 150 mm a dezintegrované na prstencovom trieskovači Pallmann s oválnym okružením (dĺžka otvorov 54,1 mm, šírka otvorov 5,5 mm). Preosievaním bola redukovaná frakcia pod 0,2 mm. pre povrchové triesky sa použilo čerstvé drevo. Frakčné zloženie triesok na výrobu DTD je obsiahnuté v Tab. 5.

Tab. 5: Frakcia triesok použitých na výrobu DTD s recyklovaným stredom.

Frakcia (mm)	Čerstvé povrchové triesky (%)	100% recyklované stredové triesky (%)
8	-	1.2
4	-	34.7
2	1.3	33.7
1	16.8	23.1
0,2	56.2	1.8
Zvyšok	25.7	0.9

Lepidlová zmes obsahovala Kronores CB 1100 F s 5%-nou zanáškou tužidla DAM 390. Parafín bol pridaný v množstve 0,8%. Pomer stredových a povrchových triesok predstavoval 1:1. Sformovaný koberec 400 x 400 mm bol lisovaný pri teplote 180°C počas 230 sek. Dosky boli

po vylisovaní klimatizované a formátované. Mechanické vlastnosti takto pripravených dosiek boli stanovené na zariadení Heckert FTZ 10/1 podľa EN 310:1993 Zisťovanie modulu pružnosti v ohybe a pevnosti v ohybe, EN 319:1993 Zisťovanie pevnosti v ťahu kolmo na rovinu dosky, EN 311:2002 Odrhová pevnosť povrchových vrstiev. Skúšobná metóda, a EN 320:2011 Trieskové a vláknité dosky. Stanovenie odporu proti vytiahnutiu skrutky v axiálnom smere. Požadované vlastnosti boli porovnávané s požiadavkami EN 312:2004 Trieskové dosky. Špecifikácie. (Dosky na vnútorné zariadenia (vrátane nábytku) na používanie v suchom prostredí (typ P2) - Požiadavky na určené mechanické vlastnosti).

Tab. 6: Vlastnosti DTD so 100% recyklátom v stredovej vrstve.

	<b>DTD so 100% recyklátom v stredovej vrstve</b>		<b>Požiadavky podľa EN 312:2004 (Tab. 3)</b>
Hrúbka (mm)	16,11		-0,3 -1,7 mm (nebrúsená)
Objemová hustota (kg/m <sup>3</sup> )	751,7		-
Pevnosť v ohybe (N/mm <sup>2</sup> )	12,7		11,0
Modul pružnosti (N/mm <sup>2</sup> )	1702		1600
Odrhová pevnosť (N/mm <sup>2</sup> )	1,6		0,8
Hrúbkové napúčanie	24 hod (%)	10,01	15,0 (typ P4)

Namerané hodnoty vyrobených 100% recyklovaných DTD sú uvedené v Tab. 6. Mechanické vlastnosti preyšujú hodnoty požadované EN 312:2004. Hrúbkové napúčanie je nižšie ako dovolené.

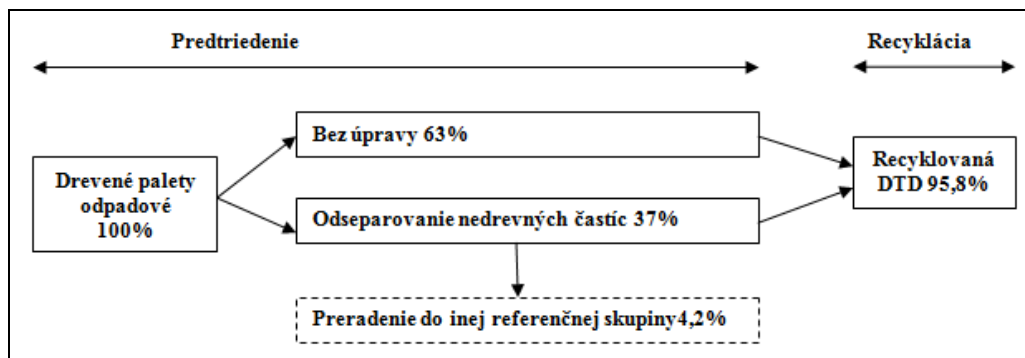
### 5.2.3. Drevené palety odpadové

Referenčná skupina drevené palety odpadové bola v zbernom dvore zastúpená vo významnom množstve. Použité palety, často po jednom použití ak nejde o vratné europalety, sú objemným odpadom pre mnohé firmy a ich preprava na väčšie vzdialenosti je neefektívna, takže sa ich užívatelia zbavujú takýmto spôsobom. V štúdiu sme sa zamerali iba na nepoužiteľné palety, nejakým spôsobom poškodené, ktoré sa nedali upraviť na opakované použitie. Podiel rastlého dreva v tejto skupine bol markantný (Tab. 7).

Tab. 7: Sortimentácia referenčnej skupiny drevené palety odpadové- predtriedenie.

Sortiment	Podiel	Špecifická hmotnosť (kg/m <sup>3</sup> )	Chemická záťaž	Povrchové znečistenie	Spôsob recyklácie
Hranené rezivo	95,8%		nie	nie	→ recyklovaná DTD
Lisovaná drevotrieska	4,2%		lepidlá	nie	→ preradenie do DTD odpadové

Materiálové toky v tejto skupine sú znázornené na Obr. 8. Malá časť, ktorá bola preradená do skupiny drevotrieskových dosiek by teoreticky nemala mať vplyv na vlastnosti recyklovaných DTD a celý proces predtriedenia by sa značne zjednodušil. Palety je možné rozštiepkovať resp. rozdrviť v celku za použitia výkonných zariadení, takže nie je nutná ani ich demontáž a separácia kovových častí (klince a pod.).



Obr. 8: Drevené palety odpadové- materiálové toky.

### Príprava DTD s 50% recyklátom v stredovej vrstve

Odpadové palety boli rozpielené na kúsky do veľkosti 150 mm a dezintegrované na trieskovači Pallmann s oválnym okružením (54,1 x 5,5 mm). Vyrobené triesky boli použité v stredovej vrstve DTD v pomere 50/50 s čerstvými trieskami. Použil sa Kronores CB 1100 F s 5%-nou zanáškou tužidla DAM 390. Pridalo sa 0,8% parafínu. Pomer stredových a povrchových triesok bol 1:1. Koberec 400 x 400 mm bol lisovaný pri teplote 180°C počas 230 sek. Dosky boli po vyliisovaní klimatizované a formátované. Mechanické vlastnosti takto pripravených dosiek boli stanovené na zariadení Heckert FTZ 10/1 podľa EN 310:1993 Zisťovanie modulu pružnosti v ohybe a pevnosti v ohybe, EN 319:1993 Zisťovanie pevnosti v ťahu kolmo na rovinu dosky, EN 311:2002 Odrhová pevnosť povrchových vrstiev. Skúšobná metóda, a EN 320:2011 Trieskové a vláknité dosky. Stanovenie odporu proti vytiahnutiu skrutky v axiálnom smere. Požadované vlastnosti boli porovnávané s požiadavkami EN 312:2004 Trieskové dosky. Špecifikácie. (Dosky na vnútorné zariadenia (vrátane nábytku) na používanie v suchom prostredí (typ P2) - Požiadavky na určené mechanické vlastnosti).

Tab. 8: Vlastnosti DTD s 50% recyklátom v stredovej vrstve.

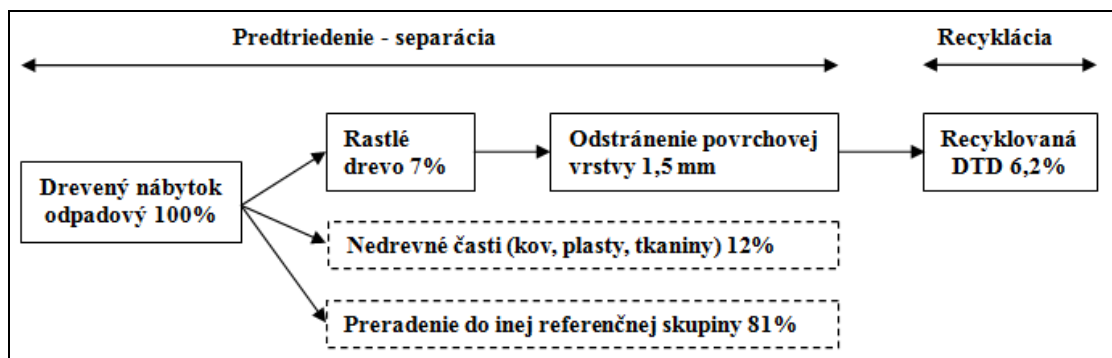
	DTD s 50% recyklátom v stredovej vrstve	Požiadavky podľa EN 312:2004 (Tab. 3)
Hrúbka (mm)	16,17	-0,3 -1,7 mm (nebrúsená)
Objemová hustota (kg/m <sup>3</sup> )	748,8	-
Pevnosť v ohybe (N/mm <sup>2</sup> )	15,3	11,0
Modul pružnosti (N/mm <sup>2</sup> )	1970	1600
Odrhová pevnosť (N/mm <sup>2</sup> )	1,03	0,8
Hrúbkové napúčanie   24 hod (%)	9,1	15,0 (typ P4)

Namerané hodnoty vyrobených DTD s 50% recyklátom v stredovej vrstve sú uvedené v Tab. 8. Mechanické vlastnosti prevyšujú hodnoty požadované EN 312:2004. Hrúbkové napúčanie je nižšie ako dovolené.

#### 5.2.4. Drevený nábytok odpadový

Referenčná skupina drevený nábytok odpadový bola v zbernom dvore zastúpená vo významnom množstve, podiel rastlého dreva v tejto skupine však bol zanedbateľný (Obr. 9).

Významnú časť tvoria aglomerované materiály na báze DTD, vláknitých dosiek a nábytkárskych preglejok, ktoré je často veľmi prácne odseparovať od tkanín a rôznych plastov. Rozoberanie nábytku na recyklovateľné diely je celkovo veľmi prácná operácia, na ktorú nie je dostupná mechanizácia (automatizácia).

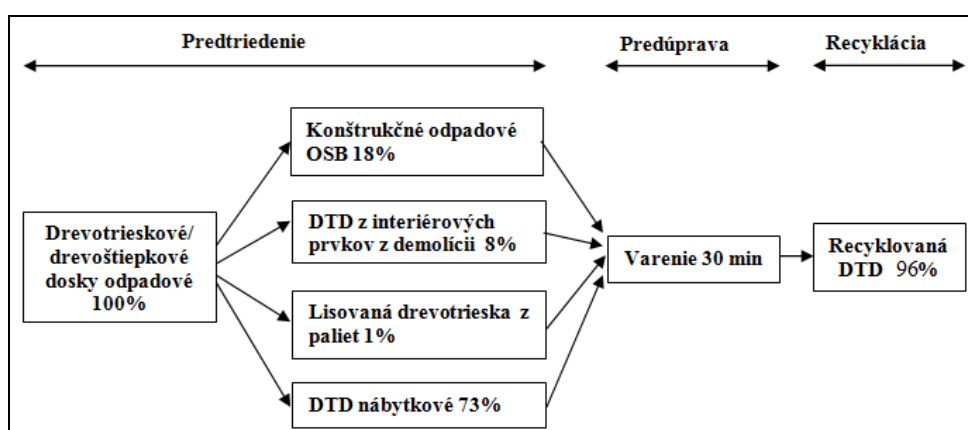


Obr. 9: Drevený nábytok odpadový- materiálové toky.

Takmer 100% rastlého dreva získaného zo starého nábytku je povrchovo upravených. odstránenie 1,5 mm povrchovej vrstvy odhobľovaním pri hranených profiloch sa zdá byť jediným dostupným riešením v súčasnosti. So získanou surovinou sa zaobchádza ako by bola získaná z recyklovaného dreva (staré drevo) a jej využitie sa odporúča v stredovej vrstve DTD.

### 5.2.5. Drevotriekové/drevoštiepkové dosky odpadové

Materiálová skupina drevotriekové/drevoštiepkové dosky odpadové mala v zbernom dvore významné zastúpenie, podiel jednotlivých druhov je znázornený na Obr. 10. Samotné predtriedenie má význam z hľadiska očistenia odpadového materiálu od nedrevných častí. Každopádne triekové alebo štiepkové kompozity obsahujú značnú časť vytvrdnutých lepidiel a preto je potrebné ich dezintegráciu riešiť beztlakovým varením po dobu min 30 minút.



Obr. 10: Drevotriekové/drevoštiepkové dosky odpadové- materiálové toky.



### Príprava 50% recyklovanej DTD

Vytriedené drevotrieskové dosky bolo rozmanipulované na kúsky do veľkosti 100 x 100 mm. Kusy odpadových DTD boli varené vo vode po dobu 30 min a následne dezintegrované na prstencovom roztrieskovači Pallmann s oválnym okružením (dĺžka otvorov 54,1 mm, šírka otvorov 5,5 mm). Získaná frakcia triesok je znázornená v Tab. 9.

Tab. 9: Frakcia triesok získaná recykláciou odpadových DTD a OSB po 30 min predvarení.

Frakcia (mm)	Recyklované triesky (%)
8	12.4
4	30.3
2	15.4
1	22.4
0,2	17.6
Zvyšok	1.9

Triesky boli sušené pri 105°C a preosievaním triedené na povrchové a stredové. Lepidlová zmes obsahovala Kronores CB 1100 F s 5%-nou zanáškou tužidla DAM 390. Parafín bol pridaný v množstve 0,8%. Pomer stredových a povrchových triesok predstavoval 1:1, avšak aj stredové aj povrchové triesky obsahovali 50% recyklátu. Sformovaný koberec 400 x 400 mm bol lisovaný pri teplote 180°C počas 230 sek. Dosky boli po vylisovaní klimatizované a formátované. Mechanické vlastnosti takto pripravených dosiek boli stanovené na zariadení Heckert FTZ 10/1 podľa EN 310:1993 Zisťovanie modulu pružnosti v ohybe a pevnosti v ohybe, EN 319:1993 Zisťovanie pevnosti v ťahu kolmo na rovinu dosky, EN 311:2002 Odtrhová pevnosť povrchových vrstiev. Skúšobná metóda, a EN 320:2011 Trieskové a vláknité dosky. Stanovenie odporu proti vytiahnutiu skrutky v axiálnom smere. Požadované vlastnosti boli porovnávané s požiadavkami EN 312:2004 Trieskové dosky. Špecifikácie. (Dosky na vnútorné zariadenia (vrátane nábytku) na používanie v suchom prostredí (typ P2) - Požiadavky na určené mechanické vlastnosti).

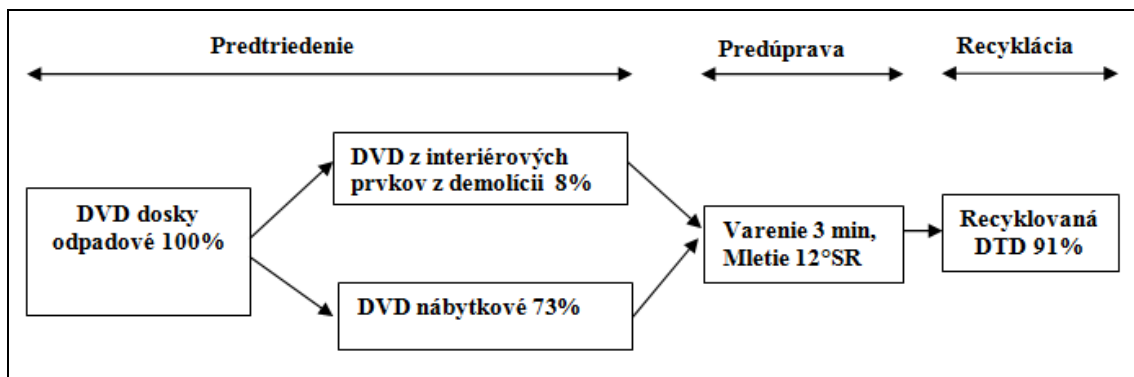
Tab. 10: Vlastnosti 50% recyklovanej DTD (50% obsah recyklátu v stredovej aj povrchovej vrstve).

	50% recyklovaná DTD	Požiadavky podľa EN 312:2004 (Tab. 3)
Hrúbka (mm)	16,08	-0,3 -1,7 mm (nebrúsená)
Objemová hustota (kg/m <sup>3</sup> )	745,3	-
Pevnosť v ohybe (N/mm <sup>2</sup> )	12,7	11,0
Modul pružnosti (N/mm <sup>2</sup> )	1684	1600
Odtrhová pevnosť (N/mm <sup>2</sup> )	1,6	0,8
Hrúbkové napúčanie 24 hod (%)	9,8	15,0 (typ P4)

Namerané hodnoty vyrobených 50% recyklovaných DTD sú uvedené v Tab. 10. Mechanické vlastnosti prevyšujú hodnoty požadované EN 312:2004. Hrúbkové napúčanie je nižšie ako dovolené.

### 5.2.6. Drevovláknité dosky odpadové

Materiálová skupina drevovláknité dosky odpadové mala v zbernom dvore nízke zastúpenie, podiel jednotlivých druhov je znázornený na Obr. 11. Samotné predtriedenie má význam z hľadiska očistenia odpadového materiálu od nedrevných častí. Drevovláknité kompozity obsahujú značnú časť vytvrdnutých lepidiel a preto je potrebné ich dezintegráciu riešiť beztlakovým varením po dobu min 3 minút aby získali potrebnú vlhkosť pred ďalším mletím na 12°SR.



Obr. 11: Drevovláknité dosky odpadové- materiálové toky.

### Príprava 50% recyklovanej MDF

Vytriedené vláknité dosky bez rozdielu (MDF aj DVD izolačné) boli rozmanipulované na kusy do 50 x 100 mm. Tieto kusy boli varené vo vode s miešaním po dobu minimálne 3 min, aby sa obsah vlhkosti zvýšil na min 40%. Povarené kusy drevovláknitých dosiek boli mleté na diskovom rafinéri Sprout-Waldron (jedným prechodom mlecím zariadením) pri teplote min 80°C. Vlákna bola vo vodnom roztoku 15% a.s. zmiešaná s čerstvým vláknom na výrobu MDF. Takto pripravená zmixovaná vlákna bola prepustená (opäť jedným prechodom) cez rafinér Sprout Waldron. Získaná vlákna bola charakterizovaná časom odvodnenia a frakcionáciou Brecht-Holl. Dosiahnuté výsledky boli porovnané s originálnou vlákninou (porovnávací vzorka) (Tab. 11).

Tab. 11: Distribúcia a vlastnosti vlákny na výrobu 50% recyklovanej MDF.

		Sprout-Waldron	Porovnávací vzorka (MDF)
°SR (Schopper- Riegler)		12	10
Čas odvodnenia (sek)	500 ml	2.12	2.25
	700 ml	6.21	3.05
	800 ml	10.18	3.35
Brecht-Holl (%)	Chips	0	4.243
	16 (mesh 40)	42.11	47.207
	50 (mesh 120)	34.78	24.295
	100 (mesh 240)	12.13	15.970
	+ 100 (mesh 240)	10.98	8.285

Príprava 50% recyklovanej MDF sa uskutočnila pri hrúbke 16 mm v poloprevádzkovom lise s oceľovými dištančnými podložkami. Lepidlová zmes obsahovala Kronores CB 1100 F a 5%-né tvrdidlo DAM 390. Parafín bol pridaný v množstve 0,8%. Na suché triesky (a.s.) bolo pridané množstvo 13% lepidlovej zmesi. Teplota lisovania sa pohybovala okolo 180°C počas 250 sek. Vyrobené dosky boli kondicionované. Vlastnosti recyklovaných MDF obsahuje Tab. 12. Požadované vlastnosti sú stanovené podľa STN EN 622-5:2010 Drevovláknité dosky. požiadavky pre dosky vyrobené suchým spôsobom (MDF). Pevnosť v ohybe a modul pružnosti v ohybe bol stanovený podľa EN 310:1993 a odtrhová pevnosť podľa EN 319:1995.

Tab. 12: Vlastností recyklovaných MDF.

		<b>MDF</b>	<b>Recyklovaná MDF</b>	<b>Požadované hodnoty STN EN 622-5</b>
Hustota ( $\text{kg m}^{-3}$ )		<b>720</b>	<b>720</b>	-
Pevnosť v ohybe ( $\text{N mm}^{-2}$ )		22.15	21,98	20
Modul pružnosti ( $\text{N mm}^{-2}$ )		2284	2208	2200
Odrhová pevnosť ( $\text{N mm}^{-2}$ )		1.12	1.03	0.55
Hrúbkové napúčanie	2 hod (%)	3.05	4.45	5
	24 hod (%)	7.87	9.8	10

### 5.2.7. Preglejky odpadové

Materiálová skupina preglejky odpadové mala v zbernom dvore najnižšie zastúpenie, taktiež recyklácia tejto skupiny materiálu je v dnešnej dobe veľmi obmedzená. problémom sú vytvrdené lepidlá v súvislých vrstvách, čo je ešte viac problematické ako pri drevných kompozitoch. Teoreticky ľahšie recyklovateľnú skupinu tvoria nábytkárske preglejky lepené UF, MUF horšie sa recyklujú preglejky vodovzdorné lepené rezorcínovými a FR lepidlami. Čiastkovú štúdiu využitia odpadových preglejok na výrobu nových triesok pre stredové vrstvy DTD existujú (Laskowska a Maminski 2020), avšak potvrdená štúdia o ich implementácii chýba. Potenciál využitia tohto materiálového zdroja tak ostáva v cemento-trieskových a drevo-plastových materiáloch, čomu sa táto štúdia ďalej nevenuje.

## Záver

Predkladaná práca dáva ucelený pohľad na potenciál kaskádového využívania odpadového dreva, v teoretickej rovine aj v rovine praktickej, z pohľadu jeho možného predspracovania v špecializovaných zberných dvoroch. V súčasnosti je rozdiel medzi klasickým zberným dvorom a dvorom špecializovaným pre drevený odpad v spôsobe jeho likvidácie. Špecializovaný zberný dvor zhodnocuje drevený odpad minimálne technológiou štiepkovania, pričom získanú štiepku speňaží minimálne ako štiepku energetickú. Klasický zberný dvor (zvyčajne povinnosť miest vyplývajúca zo zákona) využíva možnosti ako sa odpadu zbaviť čo najlacnejšie (ešte stále skládkovanie resp. spaľovne).

Predkladaná prípadová štúdia člení drevené odpady do štyroch najčastejšie sa vyskytujúcich referenčných skupín podľa typu odpadového produktu: konštrukčné drevo, demoličné drevo, drevený nábytok a drevené palety, pričom tento odpad predtried'uje a ďalej separuje materiálové skupiny: odpadové drevotrieskové/drevoštiepkové dosky, drevovláknité dosky a preglejky.

Jednostupňová kaskádový model ďalšieho materiálového (aj ekonomického) zhodnocovania je navrhnutý na dnes najrozšírenejšiu skupinu recyklácie dreva- opätovná výroba DTD (resp. DVD pre prípad odpadových vláknitých dosiek). Pre každú referenčnú skupinu bol uskutočnený experiment (Tab. 13) s porovnaním vlastností recyklovaných DTD a vlastností požadovaných príslušnými štandardmi.

Tab. 13: Procesy materiálového zhodnocovania odpadového dreva v špecializovanom zbernom dvore (závery Prípadovej štúdie).

	Referenčná skupina	Materiálové skupiny	Materiálové zhodnotenie	Predúprava
1.	<b>Konštrukčné odpadové drevo</b>	rastlé drevo (čerstvé drevo)	100% recyklovaná DTD	
2.	<b>Demoličné odpadové drevo</b>	rastlé drevo (staré drevo)	100% recyklovaná DTD v stredovej vrstve	
3.	<b>Drevené palety odpadové</b>	rastlé drevo (staré drevo)	50% recyklovaná DTD v stredovej vrstve	
4.	<b>Drevený nábytok odpadový</b>	rastlé drevo (staré drevo)	100% recyklovaná DTD v stredovej vrstve	
a)	Kompozitné materiály	<b>Drevotrieskové/drevoštiepkové dosky odpadové</b>	50% recyklovaná DTD v stredovej vrstve, 50% recyklovaná DTD v povrchovej vrstve	varenie 30 min
b)		<b>Drevovláknité dosky odpadové</b>	100% recyklovaná MDF	varenie 3 min, mletie 12°SR
c)		<b>Preglejky odpadové</b>	cemento-trieskové dosky, drevo- plastové kompozity	

## Použitá 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. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Infoblatt Abfallwirtschaft, Gebrauchtmobiliar zur Wieder – oder Weiterverwendung, 2017.
3. Verband der Holzwerkstoffindustrie VHI, Berlin, SRN, Bekenntnis des Bundestages zur Kaskadennutzung zu Stärkung des Recyclings, [www.VHI.de](http://www.VHI.de), 2011.
4. [www.enviroportal.sk](http://www.enviroportal.sk): Čiastkový monitorovací systém. Produkcia odpadu a nakladanie s odpadom v Bratislavskom kraji za rok 2017, 2018.
5. Štatistický úrad SR: Odpady v Slovenskej republike za rok 2017, 2018.
6. Zákon SRN o obehovom hospodárstve Kreislaufwirtschaftsgesetz, BGBl. I, S. 212, 2012.
7. Zákon č. 79/2015 Z. z. o odpadoch, 2015.
8. Vyhláška MŽP SR č. 365/2015 Z. z., ktorou sa ustanovuje [Katalóg odpadov](#) v znení vyhlášky MŽP SR č. 320/2017 Z. z., 2015.
9. Zberné dvory v novom zákone o odpadoch, Odpadové hospodárstvo 2015/05, Bratislava, 2015.
10. Gayda, S.K., 2014: Techniques for recycled of post-consumer wood in the production of quality particleboards. UDC 674.81:662-638.
11. Azambuja, R.R., de Castro, V.G., Trianoski, R., Iwakiri, S., 2018: Recycling wood waste from construction and demolition to produce particleboards. Maderas. Ciencia y tecnología, versión on-line ISSN 0718-221X.
12. Vis M., Mantau, U., Allen, B., (Eds.), 2016: Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels, 337 pages.
13. Laskowska, A., Maminski, M., 2020: The properties of particles produced from waste plywood by shredding in a single-shaft shredder. [Maderas. Ciencia y tecnología versión On-line](#) ISSN 0718-221X.