

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Diplomová práce

**Vliv výrobních parametrů dřevních vláken na frakci
vláken**

Autor: Bc. Vladěna Sládková

Vedoucí práce: Ing. et Ing. Štěpánu Hýskovi, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Vladěna Sládková

Dřevařské inženýrství

Dřevařské inženýrství

Název práce

Vliv výrobních parametrů dřevních vláken na frakci vláken

Název anglicky

An affect of processing parameters on wood fibre fraction

Cíle práce

Cílem práce je stanovení vlivu výrobních parametrů dřevních vláken určených pro výrobu MDF na frakci vláken. Dílčím cílem práce je ověření, zda je metoda měření frakce vláken FiberCam vhodná pro kvantifikaci rozdílů mezi jednotlivými typy segmentů a dále návrh nastavení parametrů měřicího přístroje FiberCam, které jsou vhodné pro analýzu dřevního vlákna pro výrobu MDF.

Metodika

Student formuluje teoretická východiska na základě studia odborné literatury a komparace výsledků jednotlivých autorů, kteří se věnují problematice výroby dřevních vláken pro výrobu MDF. V praktické části bude hodnocen vliv výrobních parametrů (stáří segmentu, výrobce segmentu) na frakci vyrobených vláken. Měření bude probíhat pomocí měřicího přístroje FiberCam. Rovněž bude posouzena závislost mezi stářím segmentu, frakci vyrobených vláken a energetickou náročností rozvláknění.

Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

dřevo, vlákno, MDF, kompozitní materiál

Doporučené zdroje informací

- BERGLAND, L. a ROWELL, R.M., 2005. Wood Composites, Handbook of wood chemistry and wood composites. Boca Raton, Fla.: CRC Press, s. 279-303. ISBN 08-493-1588-3
- DICKER, M.P.M., DUCKWORTH, P.F., BAKER, A.B., FRANCOIS, G., HAZZARD, M.K. a WEAVER, P.M. 2014, Green composites: A review of material attributes and complementary applications. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, roč. 56, s. 280-289.
- FELBY, C., HASSINGBOE, J. a LUND, M. 2002, Pilot-scale production of fiberboards made by laccase oxidized wood fibers: board properties and evidence for cross-linking of lignin, Enzyme and Microbial Technology, roč. 31, č. 6, s. 736-741.
- FRIHART, CH. 2005, Wood adhesion and adhesives, Handbook of wood chemistry a wood composites. Boca Raton, Fla.: CRC Press, s. 215-279. ISBN 0-8493-1588-3.
- HRÁZSKÝ, J. a KRÁL, P.:Kompozitní materiály na bázi dřeva: Aglomerované materiály. Část I. Vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007. 253 s. ISBN 978-80-7375-034-3
- LA MANTIA, F.P. a MORREALE, M. 2011, Green composites: A brief review, Composites Part A, roč. 42, č. 6, s. 579-588.
- ŠTEFKA, V. Kompozitné drevné materiály : Technológia aglomerovaných materiálů. Část II. 2. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2002. 205 s. ISBN 80-228-1136
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. et Ing. Štěpán Hýsek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

doc. Ing. Milan Gaff, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 09. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv výrobních parametrů dřevních vláken na frakci vláken" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. et Ing. Štěpánu Hýskovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a pomoc při seskupování dat při psaní této diplomové práce. Velké díky patří také Ing. Davidu Rollovi z Dřevozpracujícího družstva Lukavec za umožnění zpracování této práce a zaměstnanci Ing. Davidu Jílkovi za poskytnutí potřebných údajů a pomoc při odběru vzorků. Na závěr bych chtěla poděkovat své rodině, za podporu při celém studiu a trpělivost při vypracování této práce.

Vliv výrobních parametrů dřevních vláken na frakci vláken

Abstrakt

Cílem práce je stanovit vlivy výrobních parametrů (výrobce segmentu, doba osazení segmentů) na výrobu dřevních vláken. Aby bylo možné tyto vlivy posoudit, byl použit přístroj FiberCam, kde byla zjišťována frakce všech odebraných vzorků vláken. Na základě komparace dostupných dat z odborné literatury, článků, firemních materiálů a vlastního zjištění je práce rozvržena na část teoretickou a část praktickou. V teoretické části je popsána historie vláknitých desek a MDF desek, jejich rozdělení a technologický postup celé výroby. Praktická část začíná představením výrobního družstva Lukavec, která mi umožnila tuto práci vytvořit a zpracovat. Následně byl popsán měřicí přístroj FiberCam, metodika měření a byly vyhodnoceny všechny typy segmentů. Z výsledků byl zjištěn nejvhodnější typ segmentu od výrobce Andritz A0. Byl osazen 59 dní při dobré spotřebě energie do 160 kW/t. Naopak jako nejméně vhodný se ukázal také segment od výrobce Andritz A5, ale byl osazen pouhých 13 dní z důvodů velkého nárůstu hrubých vláken a spotřeby elektrické energie. Dílčím cílem bylo ověření, zda je metoda měření frakce vláken pomocí FiberCam vhodná pro kvantifikaci rozdílů mezi jednotlivými typy segmentů a byly navrženy další vhodné parametry pro případné další měření pomocí FiberCam.

Klíčová slova: defibrátor, dřevo, dřevovláknitá deska, frakce vláken, kompozitní materiál, MDF, vlákno, rozvlákňování, segment

An affect of processing parameters on wood fibre fraction

Abstract

The aim of the thesis is to specify the impact of production parameters (segment producer, time of segments fixing) on the wood fibres manufacture. The impact assesment was enabled due to the gadget FiberCam where all the fraction fibres samples were discovered. Having compared available data from technical literature, articles, company materials and personal findings the thesis is divided into theoretical and practical parts. The theoretical part describes history of fibreboards and medium density fiberboard, their devision and the technological process of the whole production. The practical part starts with the introduction of production cooperative Lukavec that enabled to elaborate this work. Subsequently the measuring appliance FibreCam is described, the measuring methodology and the assesment of all types of segments follow. Results have shown the most suitable segment made by Andritz A0. It was fixed for 59 days with a good power consumption to 160kW/t. On the contrary, the least suitable segment is made by Andritz A5. This segment was fixed for 13 days only due to the huge growth of coarse fibres and power consumption. The partial aim of the thesis was verification of the measuring method of fibres fraction using FibreCam and its suitability for the differences quantification of particular segments types. Other suitable parameters for further possible FibreCam measuring have been suggested.

Keywords: defibrator, wood, fibreboard, fraction fibres, composite material, Medium Density Fibreboard, fibre, defibering, segment

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíl práce	14
3. Teoretická část.....	15
3.1 Pojednání o výrobě vlákna	15
3.1.1 Historie výroby vláknitých desek	15
3.1.2 Historie výroby středně hustých vláknitých desek MDF.....	17
3.2 Vláknité desky a jejich rozdělení	19
3.3 Technologie výroby vláknitých desek	23
3.3.1 Surovina pro výrobu	25
3.3.2 Výroba štěpky	29
3.3.3 Skladování štěpky	30
3.3.4 Třídění štěpky	31
3.3.5 Praní štěpky.....	32
3.3.6 Nanášení parafínu	34
3.3.7 Rozvlákňování	34
3.3.8 Nános lepidla a ostatních chemických látek	42
3.3.9 Sušení vlákna	43
3.3.10 Tvorba vláknitého koberce	44
3.3.11 Předlisování	45
3.3.12 Lisování desek	46
3.3.13 Chlazení a vyrovnání vlhkosti	47
3.3.14 Opracování desek.....	47
4. Praktická část	48
3.4 Představení výrobního družstva	48
3.4.1 Produkty a služby dřevozpracujícího družstva Lukavec	48
3.4.2 Historie družstva	49
3.4.3 Postavení DDL na trhu	51
3.5 Metodika	51
3.5.1 Měřicí přístroj	52
3.5.2 Metodika měření a zpracování dat.....	54
3.5.3 Elektronová mikroskopie vláken	58
3.6 Výsledky	60
3.6.1 Vliv výrobních parametrů na frakci vláken	60
3.7 Diskuze.....	76
3.7.1 Závěrečné doporučení.....	79

5. Závěr.....	82
Seznam použitých zdrojů	84
Seznam příloh.....	90

Seznam obrázků

Obr. 1 MDF - středně vláknitá deska.....	21
Obr. 2 Schéma výroby desky MDF suchým způsobem.....	23
Obr. 3 Schéma výroby desky MDF suchým způsobem.....	24
Obr. 4 Prostorové znázornění anatomické stavby jehličnatého dřeva	25
Obr. 5 Prostorové znázornění anatomické stavby listnatého dřeva	26
Obr. 6 Bubnová sekačka s dvěma způsoby uchycení nožů	30
Obr. 7 Skladování štěpky.....	31
Obr. 8 Principiální schéma pračky štěpky firmy Sunds Defibrator	33
Obr. 9 Rozvlákňovací zařízení typu Defibrátor na výrobu vlákna	35
Obr. 10 Spotřeba elektrické energie při rozvlákňování v závislosti na teplotě	36
Obr. 11 Principiální schéma Asplundova rozvlákňovacího zařízení	37
Obr. 12 Mlecí kotouč defibrátoru	38
Obr. 13 Použité segmenty k výrobě vlákna MDF	38
Obr. 14 Profily brusných kotoučů.....	39
Obr. 15 Hlavní komponenty rafinéro.....	40
Obr. 16 Schéma vrstvicího zařízení	44
Obr. 17 Kontinuální předlis	46
Obr. 18 FiberCam 100	52
Obr. 19 Prostorové rozměry.....	53
Obr. 20 Vzorky vlákna v plastovém obalu	54
Obr. 21 Schéma dělení vláken	55
Obr. 22 Hlavní menu měřicího přístroje FiberCam.....	56
Obr. 23 Nastavení příslušných údajů pro provedení zkoušky	56
Obr. 24 Dřevní vlákna ANDRITZ.....	57
Obr. 25 Shluk dřevních vláken ANDRITZ.....	58
Obr. 26 Elektronový mikroskop	59
Obr. 27 Standardní držák na vzorky a oboustranná lepicí páska.....	59
Obr. 28 Snímky vláken A0 elektronovým mikroskopem na začátku a na konci výroby	75

Obr. 29 Snímky vláken M3 elektronovým mikroskopem na začátku a na konci výroby	75
--	----

Seznam tabulek

Tab. 1 Výroba MDF desek ve světě v m ³	19
Tab. 2 Procentuální zastoupení hlavních složek dřeva	27
Tab. 3 Délka elementárního vlákna jehličnatých a listnatých dřevin	27
Tab. 4 Technické charakteristiky	53
Tab. 5 Celkový přehled odebraných vzorků segmentů Andritz a Metso v procentech ..	61
Tab. 6 Přehled segmentů od výrobce Andritz a Metso	80

Seznam grafů

Graf 1 Výroba vláknitých desek ve světě v roce 2013 – 2018	20
Graf 2 Průměr zastoupení vláken u segmentu A0 (1. 3. 2019 - 2. 5. 2019)	62
Graf 3 Průměr zastoupení vláken segmentu A0 1 den odběru (1. 3. 2019).....	63
Graf 4 Průměr zastoupení vláken segmentu A0 26 den odběru (27. 3. 2019).....	64
Graf 5 Průměr zastoupení vláken segmentu A0 59 den odběru (29. 4. 2019).....	65
Graf 6 Průměr zastoupení vláken u segmentu M1 (3. 1. 2013 - 7. 3. 2013).....	66
Graf 7 Průměr zastoupení vláken u segmentu A1 (7. 3. 2013 - 28. 3. 2013)	67
Graf 8 Průměr zastoupení vláken u segmentu M2 (17. 4. 2014 - 7. 5. 2014).....	68
Graf 9 Průměr zastoupení vláken u segmentu A2 (16. 7. 2014 - 11. 9. 2014)	69
Graf 10 Průměr zastoupení vláken u segmentu M3 (15. 1. 2015 - 5. 2. 2015).....	70
Graf 11 Průměr zastoupení vláken u segmentu A3 (9. 4. 2015 - 2. 6. 2015)	71
Graf 12 Průměr zastoupení vláken u segmentu A4 (30. 6. 2016 - 18. 8. 2016)	72
Graf 13 Průměr zastoupení vláken u segmentu A5 (20. 4. 2017 - 3. 5. 2017)	73
Graf 14 Průměr zastoupení vláken u segmentu A6 (2. 5. 2019 - 24. 5. 2019)	74

Seznam použitých zkratk

%	- procento
aj.	- a jiné
apod.	- a podobně
atd.	- a tak dále
cca	- přibližně

CNC - Computer Numerical Control (obráběcí stroj)
ČR - Česká republika
ČSN - česká technická norma
DDL - Dřevozpracující družstvo Lukavec
DTD - dřevotřísková deska
EN - evropská norma
hod. - hodina, vedlejší jednotka soustavy SI
kol. - kolektiv
kPa - kilopascal
Kv - kilovolt
kW/t - kilowatt na tunu
kWh/t - kilowatthodina na tunu
m/min - metr za minutu
m/s - metr za sekundu
MDF - středně tvrdá dřevovláknitá deska
MEF - melaminformaldehydová pryskyřice
min. - minimálně
mm - milimetr, odvozená jednotka délky v soustavě SI
MPa - megapascal
mth - motohodina (provozní hodina stroje)
MW - megawat
např. - například
obr. - obrázek
PF - fenolformaldehydové lepidlo
s - sekunda, základní jednotka času v soustavě SI
TD - třísková deska
tzn. - to znamená
tzv. - takzvaně
UF - močovinoformaldehydové lepidlo
VD - vláknitá deska
viz - podívej se

1. Úvod

V této diplomové práci jsou řešeny vlivy výrobních parametrů dřevních vláken na frakci vláken. Analýza je zaměřena nejen na výrobní parametry, které jsou důležité pro výrobu kvalitního vlákna, ale také na měřicí přístroj FiberCam, kde se zjišťovala frakce vláken u odebraných vzorků pro dřevozpracující družstvo Lukavec (DDL). Současně byla okrajově věnována pozornost i elektronové mikroskopii, která ukázala jiný pohled na vlákno jako takové. Jelikož autorka práce měla možnost DDL navštívit při exkurzi a je v dosahu jejího bydliště, o to více se tomuto tématu chtěla věnovat. Zpracování ji umožnilo nahlédnout hlouběji do problematiky výroby vláknitých desek MDF a přispět novými výsledky k použití nejvhodnějšího rozvlákňovacího segmentu a k méně energetické výrobě, což je v dnešní době hodně řešeno z důvodu dopadu na životní prostředí. Dřevařství a zpracování dřeva považuje za perspektivní obor současnosti i budoucnosti.

Dřevo bylo důležitým materiálem v celé historii díky svým jedinečným a užitečným vlastnostem, a to přetrvává do dnes. Je recyklovatelné, obnovitelné a biologicky rozložitelné. Hlavním důvodem vzniku aglomerovaných materiálů na bázi dřeva byla nižší kvalita dřevní suroviny a především rostoucí cena. Přestože spotřeba dřeva překonává růst v některých částech světa, je nutné zpracovávat veškeré odpady a vytvářet z nich nové materiály.

V současné době se vyrábí mnoho typů desek na bázi dřeva, aby byla omezena nebo snížena anizotropie, rozměrová nestálost a vznikl tak izotropní materiál s lepšími vlastnostmi. Tyto desky v současné době nacházejí široké uplatnění jak v nábytkářském, tak ve stavebním průmyslu.

Dřevovláknité desky patří mezi výrobky, jejichž výroba má stoupající trend. Výroba souvisí právě s využíváním dřevního odpadu, který se rozvlákňuje na jednotlivá vlákna, jež se spojují do jednoho celku za pomoci adhezivních vlastností nebo přidáním lepidla a pryskyřice. Středně tvrdá dřevovláknitá deska je relativně levný materiál s dobrou kvalitou. Jeho téměř stejnorodá struktura vláken v celém průřezu desky je významnou výhodou oproti jiným deskám na bázi dřeva.

Dnešní doba je plná předpisů a pravidel, které je potřeba dodržovat a regulovat. Proto jsou při výrobě vlákna kladeny velké nároky na kvalitu a zároveň na spotřebu elektrické energie, která by z ekologického hlediska měla být co nejnižší. Aby se tohoto

docílilo, je důležité pro výrobu vlákna zvolit vhodné rozvlákňovací kotouče a nechat je v oběhu tak dlouho, dokud je spotřeba energie vyhovující. Při zvýšení energie je nutné mlecí kotouče odstavit a vyměnit za nové, aby se celá výroba neprodražila.

2. Cíl práce

Hlavním cílem práce je stanovit vlivy výrobních parametrů dřevních vláken určených pro výrobu MDF na frakci vláken. Dílčími cíli je ověření, zda je metoda měření frakce vláken na měřicím přístroji FiberCam vhodná pro kvantifikaci rozdílů mezi jednotlivými typy segmentů a dále návrh nastavení parametrů přístroje FiberCam, které jsou vhodné pro analýzu dřevního vlákna pro výrobu MDF.

3. Teoretická část

3.1 Pojednání o výrobě vlákna

MDF desky lze vyrobit téměř ze všech lignocelulózových surovin. Dřevěné vlákno je však hlavní surovinou kvůli jeho relativní hojnosti a celoroční dostupnosti (Park a kol., 2001). Nejdůležitějším parametrem pro výrobu MDF je délka dřevních vláken, dobrá rozvláknitelnost a obsah ligninu a hemicelulózy. V dnešní době se vlákno vyrábí jak z jehličnatého, tak z listnatého dřeva. Nejčastěji se používají dřeviny smrk, borovice, topol, buk a bříza (Kollmann a kol., 1975).

Jehličnaté dřeviny mají jednodušší strukturu dřeva. Skládají se převážně z tracheid, které představují podíl 91 – 95 % (Lampert, 1967). Listnaté dřeviny obsahují mimo cév librifornní vlákna, které mají podíl ve dřevě okolo 66 %. Také obsahují více hemicelulózy, která se po chemické přeměně podílí na vzájemném spojení vláken při výrobě i bez přídavného lepidla (Eisner, 1978).

Pro výrobu vláken je nejvhodnější dřevina smrk, která má lepší poměr délky buněk k tloušťce buněčných stěn než třeba borovice. Proto se tato jehličnatá dřevina na výrobě podílí z větší části. Borovice má totiž více doprovodných látek a pryskyřice (Kollmann a kol., 1975). Součástí mohou být také tvrdé listnaté dřeviny (např. dub a buk), které se přidávají do směsi s vlákny jehličnatých dřevin. Dále je důležité zohlednit i hustotu dřeviny, neboť mají většinou tlustší stěny buněk, čímž se sice získá větší výtěžnost, ale zároveň menší kvalita vlákna a větší spotřeba energie (Peña, Rojas, 2006). Kvalita vstupního materiálu je rozhodující mírou na kvalitu hotových vláknitých desek (Hrázský, Král, 2004).

Při výrobě dřevovláknitých desek jsou nutné dva kroky, které jsou popsány níže v kapitolách. Prvním je rozpad větších dřevěných prvků na vlákna a druhým je vytvoření struktury desky (Rowell, 2005).

3.1.1 Historie výroby vláknitých desek

Vlákno se používá i na výrobu papíru, tak jak z názvu vyplývá, výroba vláknitých desek vychází z poznatků získaných při jeho výrobě. V roce 1772 dostal první patent

na vláknitou hmotu z papíroviny Angličan „Clay“. Začátky průmyslové výroby ze sběrového papíru pro vznik určitého druhu polotvrdé vláknité desky spadají do roku 1898, kdy v Sunbary – v Anglii použili k tomuto účelu papírenský stroj. Izolační vláknité desky byly poprvé vyrobeny v roce 1901 z dřevoviny ve státě Minnesota, v USA. Tvrdé vláknité desky na základě rozvláknění expanzním způsobem zavedl výrobce Mason v Laurel (USA) v roce 1926 na základě staršího objevu Lymana z roku 1858. V USA se tento způsob rozvláknění poté velmi rozšířil (Hrázský, Král, 2007).

Pro velký převrat v Evropě ve výrobě vlákna se zapsal vynález Švéda Asplunda v roce 1931. Navrhl termomechanický způsob rozvláknování dřeva pod tlakem nasycené páry a do výroby byl zaveden ve Švédsku v roce 1934. Tento způsob se rychle rozšířil jak v Evropě, tak ve světě, mimo USA, kde si dominantní postavení zachoval již dříve zavedený expanzní způsob. Zařízení pro rozvláknování je v dnešní době známé pod názvem Defibrátor. Způsob tohoto rozvláknování využíval v ČSR první závod Solo Sušice, uvedený do provozu v roce 1949 a následně i v podniku Smrečina Bánská Bystrica (Štefka, 2002).

V roce 1943 zavedla firma Plywood Research Foundation v USA suchý a polosuchý způsob výroby vláknitých desek s vlhkostí vlákna 22 – 35 %. Následně se vyvíjel i suchý způsob výroby s vlhkostí vlákna 8 – 18 %, který poprvé podle Meilera vyzkoušela firma Cools Lumber Co. Nápad použít vzduch jako nosné medium se objevila už v roce 1914 v Leikamjosephstal ve Vídni. V Československu byla od roku 1959 uskutečněna zkušební poloprovozní výroba VD suchým způsobem v n. p. Tatra Nábytok Pravenec (Slovensko), a to na základě výzkumných prací ŠDVÚ Bratislava.

Na základě praxe z této činnosti byly následně postaveny další výrobní linky pracující suchým způsobem, a to v Břeclavi roku 1973 Středomoravským dřevařským závodem o projektované kapacitě 15 000 tun VD/rok. V roce 1978 Drevoindustria Pezinok o projektované kapacitě 38 000 tun VD/rok. Dále byla na Slovensku realizována linka VD od firmy Defibrator o projektované kapacitě 56 000 tun tvrdých VD/rok v n.p. Bučina, Zvolen.

Od konce roku 1989 v České a Slovenské republice již nebyly žádné linky vyrábějící vláknité desky suchým způsobem. Z technického důvodu a nekvalitní

produkce v provozu, byly postupně všechny odstavovány. V České republice byly postupem času uváděny linky do provozu vyrábějící VD mokrým způsobem v n.p. SOLO Sušice.

Výroba běžela již od roku 1950, kdy byla uvedena do provozu první linka o projektové kapacitě 12 000 tun/rok. Druhá výrobní linka byla zprovozněna v roce 1962 o projektové kapacitě 18 000 tun/rok a třetí linka o projektové kapacitě 32 000 tun/rok byla spuštěna v roce 1973. V bývalé ČSFR roku 1992 se vyrábělo celkem 140 000 m³ DVD ve třech výrobních závodech (Solo Sušice, Smrečina Banská Bystrica, Drevina Turany).

Koncem roku 1998 byl na obou linkách v Sušici ukončen provoz z důvodu havarijního stavu zařízení a nekvalitní výroby. Jediným českým závodem, kde se vyrábí středně hustě vláknité desky MDF je Dřevozpracující družstvo Lukavec.

(Hrázský, Král, 2007)

3.1.2 Historie výroby středně hustých vláknitých desek MDF

Dřevovláknitá deska se střední hustotou (MDF) byla poprvé vyvinuta v USA (Thoemen a kol., 2010). Podle Maloney (1987) byl první závod postaven v roce 1965 ve firmě Allied Chemical v Depositu, NY. Tato společnost se později stala součástí skupiny společností Celotex. Další linky byly postaveny kolem roku 1965 firmou Kroehler Mfg., Meridian a firmou Pope & Talbot v Oakridge, OR. Pilotní závod byl již v provozu v roce 1964 ve firmě Georgia Pacific Corporation v Portlandu, OR. Vznik tohoto typu desky v USA měl několik důvodů. V počátečním stádiu byla použitelnost dřevotřísky velmi omezená. Podobně jako v Evropě měl typ HFH (typové označení v roce 1976 jako dřevovláknitá deska se surovou hustotou označeno od 350 - 800 kg/m) velmi nízký meziroční nárůst. V letech 1970 – 1972 se výroba VD snížila na dřívější úroveň. Potenciál nahrazení překližky, která dominovala v USA, zejména dýha, byl rychle vyčerpán. Nevýhody dřevovláknité desky (síťová zadní strana, nedostatek rozměrové stability, relativně nízká pevnost, vysoká hmotnost, nízká tloušťka desky) neumožňovaly jakékoliv další použití. Na rozdíl od třískové desky, která od roku 1960 – 1972 v USA zvýšila svůj objem výroby na přibližně 5,5 milionu m³ a v dalších letech rychle rostla. Stejně jako v Evropě se ukázalo, že TD byla konkurenceschopná s dýhovanou deskou a dokázala dobýt rozsáhlé tržní oblasti. Na rozdíl od Evropy však

byla TD v USA často nahrazována levnější variantou, která nebyla na dostatečné úrovni. Z hlediska nekvalitního vstupního materiálu a technologií zpracování, nemohla dosáhnout takové úrovně kvality třískových desek, jako v evropských zemích a jejich vyrobených produktů (Deppe, Ernst, 1996).

Na světovém trhu velkoplošných materiálů chyběl produkt vyrobený z dřevních vláken, který by byl homogenní a dal by se použít v nábytkářském odvětví. Vznikl teda materiál pod názvem „MDF“ začáteční písmena jednotlivých slov anglického názvu Medium Density Fiberboard a v německém názvu Mitteldichtefaserplatten – středně tvrdé vláknité desky (Hrázský, Král, 2007).

Desky se vyrábí v rozmezí tloušťky od 3 do 100 mm a v objemové hustotě od 600 do 900 kg/m³. Z hlediska objemové hustoty se deska MDF pohybuje mezi obecně lehčí dřevotřískovou deskou a těžkou tvrdou vláknitou deskou. Rozdíly v nákladech se však v jednotlivých zemích lišily; bylo to kvůli různě vysokým nákladům na materiál, energii a kapitál. Existovaly však také rozdíly v kvalitě, jak pro dřevotřísku, tak pro desku MDF.

Takzvaný mokrá proces, který byl upřednostňován ve Skandinávii se při výrobě desek MDF neprokázal. Desky vyrobené podle tohoto způsobu vykazovaly horší fyzikální a mechanické vlastnosti (asymetrický hustotní profil, nižší pevnostní vlastnosti) a s tím souvisely závažné ekologické problémy, jako je velké množství znečištěné odpadní vody, na které se v dnešní době hodně poukazuje. (Deppe, Ernst, 1996).

První evropská továrna na MDF byla postavena v bývalé Německé demokratické republice v Ribnitz - Damgarten v roce 1973 (Ansell, 2015). Výrobu bylo nutné přizpůsobit evropským požadavkům, zejména snížit tloušťkové tolerance, zlepšit kvalitu vlákna a rovnoměrnost barvy desek. Rozvoj výroby MDF vedl k novým stylům nábytku, který umožnil materiál zaoblit. Další evropská firma byla postavena o 5 let později v roce 1976 v SRFH (Krijava Busovaca). První závod v západní Evropě na výrobu MDF byl vybudován ve Španělsku (Intamasa Cella) a jako další byl zahájen provoz výroby MDF v Itálii (Osopo) v roce 1979 (Hrázský, Král, 2007).

Tab. 1 Výroba MDF desek ve světě v m³*Zdroj: Vlastní zpracování (dle FAOSTAT)*

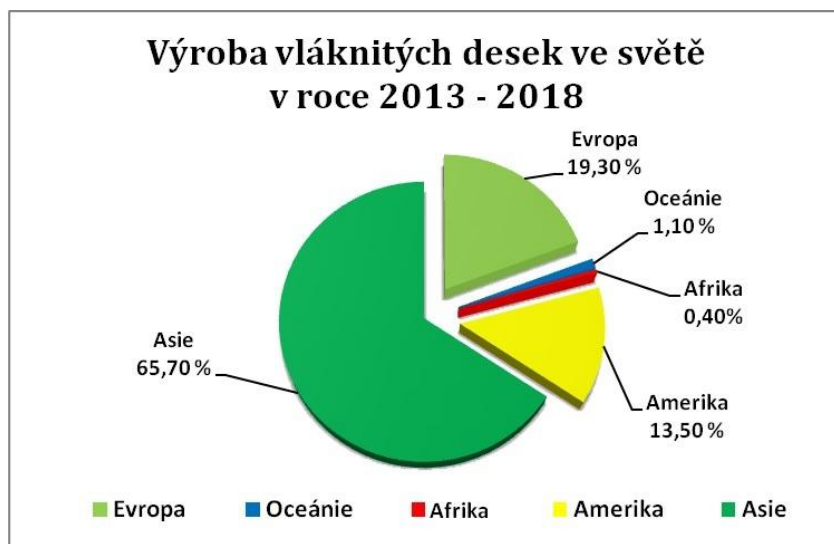
Rok	Svět	Evropa	Afrika	Asie	Austrálie a Oceánie	Amerika
2013	89 102 239	12 019 310	271 000	65 846 000	1 165 765	9 800 164
2014	94 843 357	13 366 319	343 000	69 858 000	1 192 938	10 083 100
2015	97 756 170	14 912 175	388 127	7 099 800	1 293 568	10 164 300
2016	100 743 026	16 110 190	386 000	72 942 000	1 359 336	9 945 500
2017	99 576 199	17 356 139	392 000	70 095 000	1 370 513	10 362 547
2018	99 443 242	17 764 338	392 000	69 385 000	1 384 853	10 517 051

3.2 Vlákenné desky a jejich rozdělení

Termín vlákenná deska či dřevovlákenná deska zahrnuje tvrdé dřevovlákenné desky, dřevovlákenné desky se střední hustotou (MDF) a izolační desky (Forest Product Laboratory, 2010).

Dřevovlákenná deska o střední hustotě (MDF) je deska na bázi dřeva, která se skládá z dřevěných vláken spojených pryskyřicí za pomoci tepla a tlaku (Kartal, Green, 2003). Řadí se mezi aglomerované desky, neboť vznikají seskupením drobných dřevních částic. Soudržností je dosaženo zplstněním vláken a jejich přirozenou lepivostí (Janák, Král, 2003). Dřevovlákenné desky se v dnešní době vyrábějí v široké škále tloušťek, tvrdostí a s různými povrchovými úpravami. Hustota ovlivňuje nejen fyzikální, ale i mechanické vlastnosti určitého typu desky (Böhm a kol., 2012). Je široce používaná v mnoha produktových oblastech, např. na výrobu nábytku, kuchyňských linek a různých dekorací do interiérů (Gao a kol., 2019). Kromě toho je tento materiál vhodný i na stavební materiál a na laminátové podlahy. Má jemný povrch a snadnější obrobitelnost (Wang a kol., 2016).

Dle normy ČSN EN 316 jsou vlákenné desky definovány jako vlákenný materiál, který má tloušťku minimálně 1,5 mm a je vyrobený z lignocelulosových vláken použitím ohřevu nebo tlaku (Hrázský, Král, 2004).



Graf 1 Výroba vláknitých desek ve světě v roce 2013 – 2018

Zdroj: Vlastní zpracování (dle FAOSTAT)

Vláknité desky se dělí podle způsobu výroby:

Desky vyrobené mokrým způsobem

Mokré procesy jsou použitelné jak pro desky s vysokou hustotou, tak pro izolační desky s nízkou hustotou

Desky vyrobené suchým způsobem

Suché procesy jsou použitelné pro desky s vysokou hustotou (tvrdá deska) a střední hustotou (MDF)

(Forest Product Laboratory, 2010)

Vláknité desky vyrobené mokrým způsobem

Obsahují vlhkost nad 20 % při formátování koberce. Podle hustoty se desky následně dělí:

- **Izolační desky (hustota do 400 kg/m³)**

Výhodou těchto desek jsou tepelné a akustické vlastnosti, desky mohou získat odolnost i proti ohni a vlhku.

- **Polotvrdé desky (hustota 400 - 900 kg/m³)**

- o Polotvrdé desky s nižší hustotou (400 – 560 kg/m³)

- o Polotvrdé desky s vyšší hustotou (560 – 900 kg/m³)

Desky mohou získat vlastnosti, jako je odolnost proti ohni a vlhku.

- **Tvrdé desky (hustota nad 900 kg/m³)**

Mohou získat další vlastnosti, např. odolnost proti ohni, vlhku, opracovatelnost a proti biologickému napadení.

(Janák, Král, 2003)

Výroba dřevovláknité desky za mokra vyžaduje spotřebu velkého množství vody, (10 - 15 tun) na tunu dřevovláknitých desek (Tsoumis, 1991).

Vláknité desky vyrobené suchým způsobem

Suchým způsobem se vyrábí deska MDF, která má dvě hladké plochy, na rozdíl od desek vyrobených mokrým způsobem, které mají na jedné straně mřížku od odvodňovacího síta (Ansell, 2015).



Obr. 1 MDF - středně vláknitá deska

Zdroj: www.ddl.cz

Desky MDF mají při vrstvení koberce vlhkost menší než 20 % a jejich hustota je 600 - 800 kg/m³. Pro výrobu jsou vhodná krátká a hladká vlákna, aby se ze vzduchové suspenze nevytvářely shluky, které by ovlivňovaly vrstvení vláken styčnými plochami (Janák, Král, 2003). Vyrábí se převážně jednovrstvé, ale mohou být i vícevrstvé. Pozoruhodná je obzvláště vysoká pevnost držení vrutu na boční ploše, což je velký nedostatek u třískových desek (Hrázský, Král, 2007).

MDF desky je možné díky struktuře různě profilovat - hrany, tak i plochy desky. Povrchové úpravy lze provádět dýhováním, lakováním, opláštěváním a dokončovat i foliemi (Muzikář, 2008). Je to homogenní deska v celém svém průřezu, která je zvláště

vhodná pro řezání, formování a všeobecné obrábění. V současné době je vláknitá deska MDF vysoce kvalitní a má řadu možností v konečném použití (Ansell, 2015).

MDF desky lze použít na různé účely vzhledem k velkému rozsahu vyráběných tloušťek:

MDF 10 (14 mm) – přední čela nábytku, okrajové lišty, zásuvky

MDF 16 (30 mm) – prefabrikované nábytkové dílce, nosné konstrukce nábytku, zásuvky či police

MDF... (>30 mm) – křídla vchodových dveří, dveřní zárubně, soustružené nohy nábytku

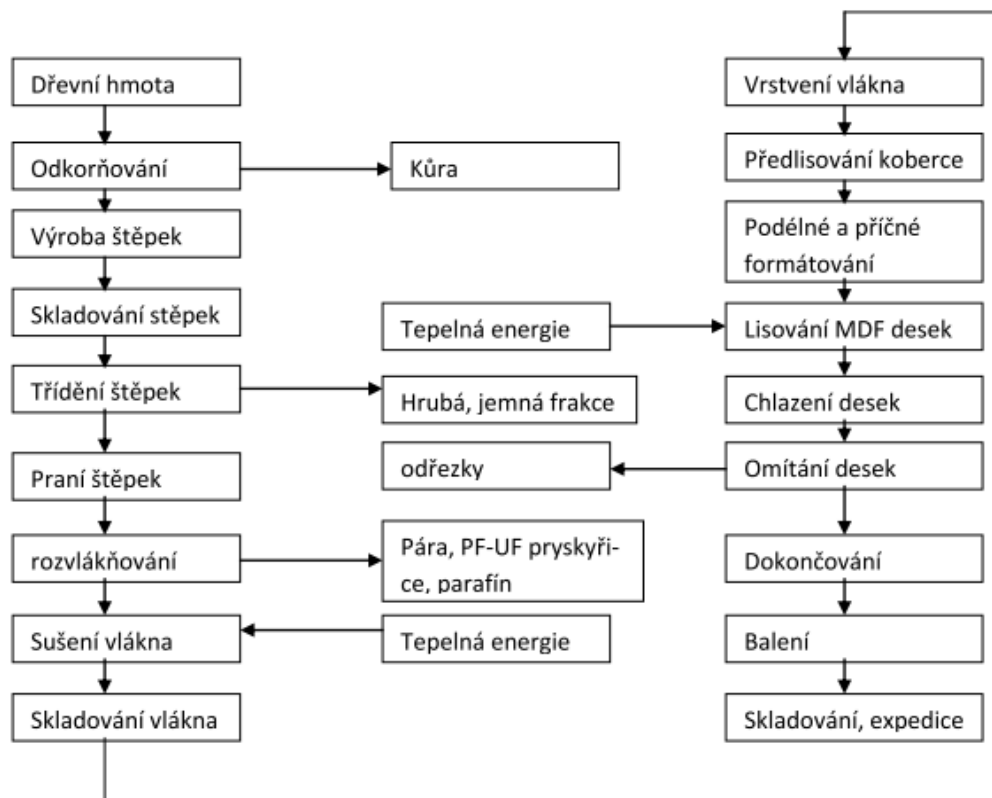
(Muzikář, 2008)

Mezi použité materiály na změnu vlastnosti MDF desky patří pryskyřice, parafin (vosk), asfalt, kamenec, insekticidy, fungicidy, retardéry hoření, škrob, syntetické pryskyřice a sušící oleje (Tsoumis, 1991). Tyto pojiva a další materiály se přidávají pro zvláštní vlastnosti desky, jako je odolnost vůči vlhkosti, ohni či biologickému napadení (Kent a kol., 2017).

MDF desky se používají tam, kde nejsou vhodné běžné dřevotřískové desky z hlediska jejich pevnosti a dalších vlastností (Böhm a kol., 2012). Výhodou suchého způsobu jsou nižší náklady na vodní hospodářství a nižší náklady na surovinu, protože se zpracovávají i méně kvalitní druhy listnatých dřevin a surovina se více využívá (Uhlíř a kol., 1985).

Po dřevotřískové desce je MDF nejvýznamnějším kompozitním materiálem. Přestože může být vyrobena mokřím nebo suchým způsobem, většina produkce je formována za sucha. Jedním z klíčů ke kvalitní výrobě takového produktu je použití tlakových rafinérů. Celosvětová produkce se pohybuje řádově 30 - 40 milionů m³ s produkcí ve Spojených státech asi 10 %. Spotřeba MDF nadále rychle roste, jak v Severní Americe, tak po celém světě, a to díky své univerzálnosti (Shmulsky, Jones, 2019).

Obrázek 2 znázorňuje schématický postup výroby desky MDF suchým způsobem.



Obr. 2 Schéma výroby desky MDF suchým způsobem

Zdroj: Hrázský, Král, 2007

Následující kapitola a podkapitoly popisují celou výrobu dřevovláknitých desek se střední hustotou.

3.3 Technologie výroby vláknitých desek

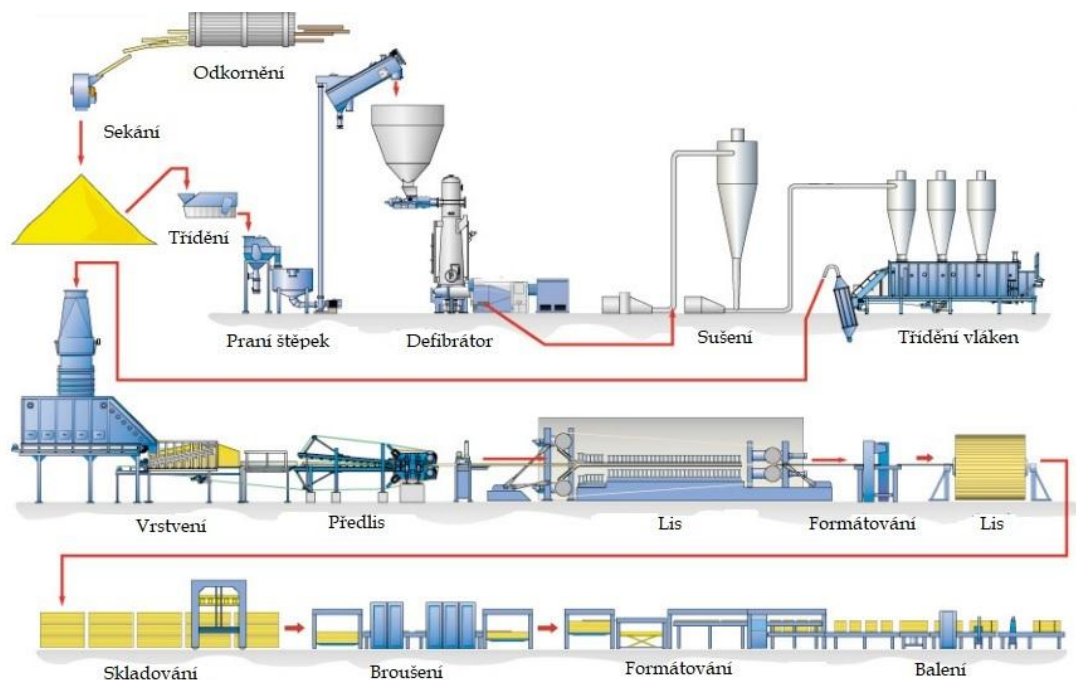
MDF může být vyrobena z široké škály vláknitých celulósových vláken včetně zemědělských vláken a recyklovaného dřeva (Thoemen a kol., 2010). Z pravidla se používají zbytky dřeva, jako jsou hobliny a piliny, ale vstup by měl zahrnovat nejméně 25 % štěpky, aby se dosáhlo požadované kvality materiálu (Maloney, 1993).

Vlákná MDF se obvykle vyrábějí pomocí termomechanického rozvlákňování. Tento proces využívá kombinovaný účinek tepla a mechanické energie k přerušování vazeb mezi buňkami, které tvoří dřevo. Dřevěné buňky jsou spojeny oblastí zvanou střední lamela, která je bohatá na lignin. Lignin je amorfni polymer, který dokáže adsorbovat malé množství vody, a proto jeho teplota měknutí závisí na obsahu vlhkosti. Vysoké teploty (170 - 195 °C) a vlhkost (60 – 120 %) používané v procesu

termomechanického rozvlákňování proto způsobují významné snížení pevnosti v oblasti střední lamely, což zvyšuje pravděpodobnost selhání střední lamely při mechanické energii, která se používá během procesu rafinace (Thoemen a kol., 2010).

V běžné výrobě MDF existuje pouze jeden proces formování koberce, takže povrchové a jádrové vrstvy sestávají ze stejné směsi dřevěných vláken. V nábytkářském průmyslu by měly být povrchy MDF hladké a stabilní pro přímé lakování nebo laminování. Pokud je deska MDF potažena dekorativním laminátovým nebo melaminovým papírem, tak jádrová vrstva může být tvořena z hrubých vláken. Velikost vláken v jádrové vrstvě nemá přímý vliv na kvalitu povrchu MDF. Vrstva jádra by však měla být vyrobena z jemných vláken, pokud je deska profilována (Ayrilmis a kol. 2017).

Výroba dřevovláknitých desek sestává z následujících kroků: příprava materiálů, výroba štěpky, rozvlákňování, sušení a třídění vláken, vrstvení a předlisování koberce, lisování za tepla a finální úprava dřevovláknitých desek, což je patrné na obr. 3 (Li a kol., 2007). Z těchto kroků je obzvláště důležitý proces rozvlákňování (Gao a kol., 2019).



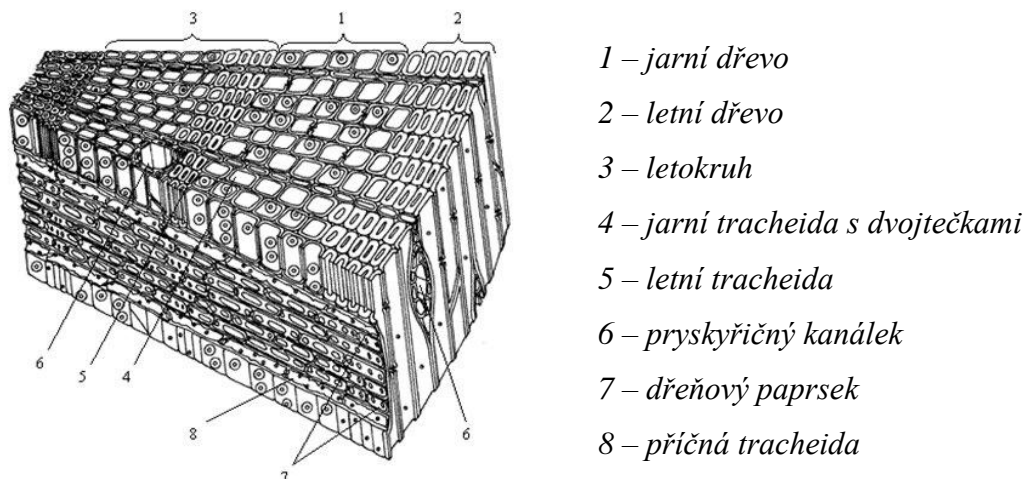
Obr. 3 Schéma výroby desky MDF suchým způsobem

Zdroj: Vlastní zpracování (dle Halvarasson, 2010)

3.3.1 Surovina pro výrobu

Kvalita deskových materiálů a cenu výrobků ovlivňují mnoho faktorů a právě to je výzvou pro průmysl k hledání nových výrobních postupů a nových surovin pro výrobu (Raunkjær a kol., 2016). Aby bylo možné plně využít potenciál dřevěných vláken, je nutné hledat neustále nové výrobní technologie (Deppe, Ernst, 1996).

Dřevní surovina pochází od různých zdrojů v závislosti na ceně a místní nabídce. Pro výrobu MDF desek se v menší míře používají i alternativní materiály, jako jsou např. konopná vlákna, kokosová vlákna a široká škála jiných surovin podobné těmto typům (Raunkjær a kol., 2016). K výrobě MDF se používají také zbytky jednoletých rostlin, travlek a keřů. Je nanejvýš důležité, že výběr surovin obvykle vede rovněž k předběžnému rozhodnutí, které se týká pozdější kvality hotových produktů. Kvalita výrobků také ovlivňuje i skladování surovin na výrobu. Případné ztráty zásob jsou často významné pro provozní výsledek. Dřevo je ale stále nejdůležitější surovinou pro výrobu těchto desek (Deppe, Ernst, 1996). Jak je dobře známo, je vyrobeno z různých vláknitých prvků. Frakce sklerenchymatických vláken je rozhodující pro výtěžek vlákna. Obsah vlákniny je velmi odlišný jak pro měkké, tak i tvrdé dřevo (Lampert, 1966).

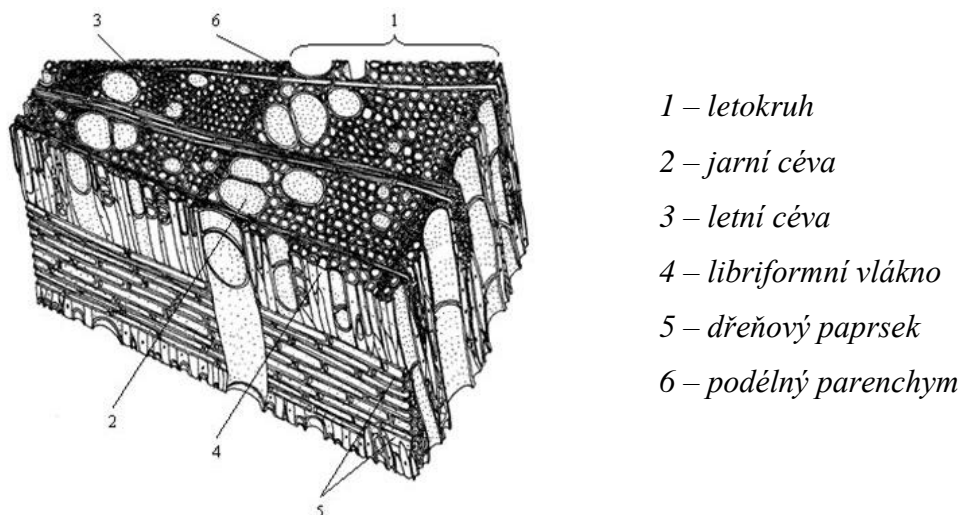


Obr. 4 Prostorové znázornění anatomické stavby jehličnatého dřeva

Zdroj: Požgaj a kol., 1997

Jehličnaté měkké dřeviny jsou složeny z různých druhů buněk a mají pravidelnou a jednoduchou stavbu (Eisner a kol., 1983). Skládají se převážně

z podélných tracheid, které jsou relativně dlouhé se zužujícími se uzavřenými konci. Tyto tracheidy jsou důležitými buničinovými vlákny, která mají vláknitou strukturu (Suchsland, Woodson, 1987; Eisner a kol., 1983). Letní a jarní tracheidy mají stejný rozměr šířky v tangenciálním směru. Letní tracheidy se zužují jen v radiálním směru. Hranice letokruhu je výrazná (Požgaj a kol., 1993).



Obr. 5 Prostorové znázornění anatomické stavby listnatého dřeva

Zdroj: Požgaj a kol., 1997

Listnaté tvrdé dřeviny mají složitější stavbu, jak je patrné na obr. 5 (Eisner a kol., 1983). Buňky už nejsou v řadě za sebou a mají podstatně rozdílnou velikost (Požgaj a kol., 1993). Jsou však relativně tenkostěnné, a proto přispívají jen málo k hmotnosti buničiny. Dřeňové paprsky sestávají z parenchymatických buněk, které jsou také tenkostěnné a krátké a přispívají jen málo k buničinné hmotě. Buňky a cévy z tvrdého dřeva se při procesu rozvláknování snadno rozpadnou a produkují velkou část „jemné“ části buničiny (Suchsland, Woodson, 1987). Hranice letokruhu zvýrazňuje jen několik málo řad plochých libriformních vláken na konci letního dřeva (Požgaj a kol., 1993).

Při výrobě VD mají kromě anatomické stavby dřeva velký význam chemické složky (Eisner a kol., 1983). Dle (Hrázský, Král, 2007) je vhodné dřevo pro výrobu VD posuzovat podle těchto znaků:

- a) poměr hlavních složek dřeva – celulóza, lignin, hemicelulózy
- b) množství pryskyřice
- c) rozměry vláken dřeva
- d) vlhkost dřeva při zpracování

e) poškození dřeva hnilobou

Tab. 2 Procentuální zastoupení hlavních složek dřeva

Zdroj: Hrázský, Král, 2007

<i>Druh dřeviny</i>	<i>Celulóza (%)</i>	<i>Lignin (%)</i>	<i>Hemicelulózy (%)</i>
Jehličnany	53 – 54	26 – 29	13 – 17
Měkké listnáče	43 - 45	19 – 26	24 - 32

Z tab. 2 je patrné, že jehličnaté dřevo vykazuje vyšší procento složek (celulóza, hemicelulóza, lignin), které mají vliv na konečnou kvalitu vláknité desky. Proto se jehličnatá surovina upřednostňuje především při mokrému výrobním způsobu, kde je možné vyrábět VD bez přidání pojiva.

Na výrobu VD má vliv i pryskyřice, která je obsažená ve dřevě. Vyšší obsah pryskyřice ve dřevní hmotě snižuje mechanické vlastnosti VD. Smrkové dříví obsahuje cca 11 kg/m³ a je pro výrobu vhodnější než dřevo borovice, která obsahuje 21 kg/m³ pryskyřice. Množství pryskyřice má tedy rozhodující vliv na jakost hotových VD. Ale z hlediska délky elementárního vlákna jsou jehličnaté dřeviny vhodnější na výrobu vláknitých desek než dřeviny listnaté, jak je zobrazeno v tab. 4.

(Hrázský, Král, 2007)

Tab. 3 Délka elementárního vlákna jehličnatých a listnatých dřevin

Zdroj: Hrázský, Král, 2007

<i>Dřevina</i>	<i>Délka vlákna v mm</i>	
	<i>max.</i>	<i>min.</i>
Smrk	3,8	2,6
Jedle	3,5	2,6
Borovice	3,8	2,7
Topol	1,6	0,7
Osika	1,7	0,8

V dnešní době se již vyrábějí středně tvrdé vláknité desky jak z listnatého, tak jehličnatého dřeva (Tsoumis, 1991). V některých závodech se snaží recyklovat a zpracovávat i jiné suroviny nebo odpady ze zemědělské výroby jako je len, bagasa,

skořápky slunečnicových semen, rákosí atd. (Deppe, Ernst, 1964). V zásadě platí, že se dřeviny mohou kombinovat, ale receptura se musí zachovat, aby směs vláken odpovídaly stejným vlastnostem.

Použitý dřevní materiál do značné míry závisí na místních tržních podmínkách. Surovina pro výrobu MDF je často již dodávána meziobchodem ve formě štěpky, kde je důležité, aby neobsahovala kůru (Deppe, Ernst, 1996). Dřevo je zřídka kdy odkorněno, ale v případě potřeby je kůra odstraněna třecím nebo nožovým mechanismem (Tsoumis, 1991). Po odkornění se dřevo nebo jiný lignocelulózový materiál redukuje rovnou na štěpky (Tsoumis, 1991).

Vyšším podílem kůry v surovině se snižuje výkon defibrátorů a způsobuje trhání vláknitého koberce a částečné zhoršení mechanických a fyzikálních vlastností VD (Hrázský, Král, 2007). Bez odkornění získáme MDF desky s různě intenzivním hnědým zbarvením a s částicemi kůry na povrchu, které narušují následný lak. Čím důkladněji je kůra odstraněna, tím bude barva desky světlejší a tím se snáze bude povrchově dokončovat (Deppe, Ernst, 1996).

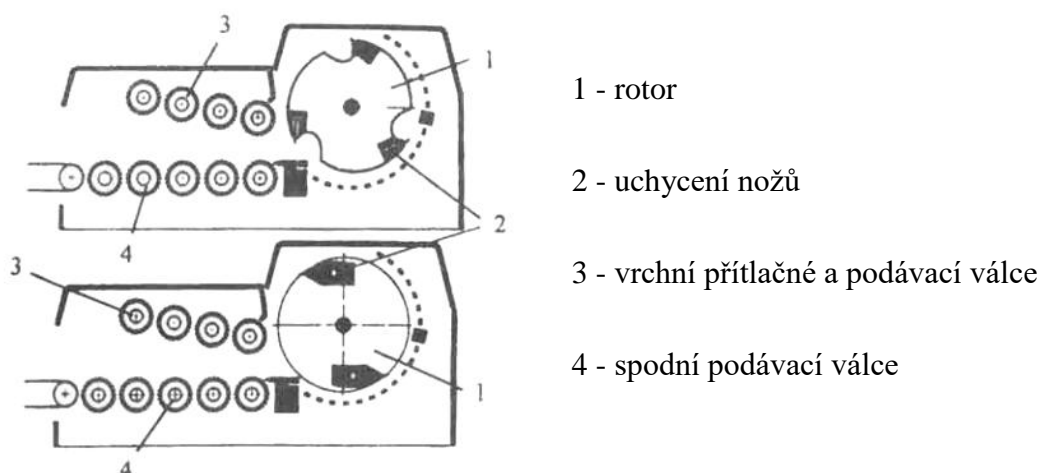
Ze stránky ekonomické a životního prostředí se výrobci snaží zpracovávat průmyslový odpad na štěpku. Stále více se průmyslový odpad používá na energetické účely přímo v dřevozpracujících závodech. Důvodem je velký nárůst cen nakupované energie. Způsob zpracování starého dřeva je však spojený s problémy, které zapříčiňují znečištění materiálů jinými látkami a příměsí. V podstatě, stejně jako při výrobě dřevotřískových desek je možné použít jako vstupní surovinu odpadní dřevo, ale nesmí obsahovat žádné prostředky na ochranu dřeva aj. Proto se dřevní sortiment musí před zpracováním třídit, což vyžaduje zvláštní postupy a předražuje to výrobu. Doporučuje se proto dřevní částice ze starého dřeva přidávat k čerstvému dřevu v takovém rozsahu, aby nedošlo k nežádoucímu snížení kvality desek ve výrobě. I starý papír je možné přidávat na výrobu MDF desek jako náhradu termomechanické dřevní látky, jelikož se nezjistily zatím žádné nepříznivé dopady na kvalitu (Deppe, Ernst, 1996). Každá forma průmyslového dopadu (krajnice, odřezky, štěpky, piliny, hotové třísky atd.) by ale měla být uskladněna zvlášť (Štefka, 2007).

3.3.2 Výroba štěpky

První technologický úsek výroby vláknitých desek je rozsekání dřevěné suroviny na štěpku (Čížek, 1985). Dřevo se štěpí na relativně jednotné částice v závislosti na použití průmyslového odpadu a starého (recyklovaného) dřeva. Nejvhodnější rozměry štěpky pro výrobu desky MDF je 20 x 40 x 5 mm (Janák, Král, 2003). Nejčastěji se na výrobu štěpky používají bubnové a diskové (kotoučové) sekačky, ale existují i mnoho jiných např. dvojdiskové, spirálovité, kuželovité aj. (Eisner a kol., 1983).

Princip bubnové sekačky

Prostřednictvím pásového dopravníku nebo vibračního žlabu, je do sekačky materiál dopravován pod osou, tzn., že naplněný podávací žlab závisí na úhlu sekání. Hledače kovů, kteří chrání sekačku před poruchou kovovými příměsemi (hřebíky, dráty apod.) jsou uloženy v jednotlivých systémech. Je důležité, aby surovina vstupovala do sekačky konstantní rychlostí, abychom získali štěpky kvalitní a ve správné délce. V dnešní době jsou moderní sekačky opatřeny robustními válci, které díky velkému průměru a hrubým ozubením vtahují materiál dovnitř. Navíc zapadají do sebe, což zajišťuje samočistění samotných válců. Vrchní přitlačné a zároveň podávací válce jsou výkyvné, automaticky se přizpůsobují jakékoliv výšce materiálu a jsou hydraulicky přitlačovány, aby nedocházelo ke kmitání vstupní suroviny před vstupem do sekacího bubnu. Spodní i vrchní podávací válce jsou poháněny, stejně jako přísunový dopravník. Robustní protinůž, který je přišroubován k robustnímu sání, slouží k dokonalé dezintegraci dřevní hmoty na štěpku. U těchto typů sekaček se nedá zabránit vzniku dlouhých štěpek, které jsou delší, než je požadovaná délka. Proto už jsou zavedena síta v dolní části sekacího bubnu, kam spadají dlouhé štěpky, které se následně dezintegrují na kratší (Hrázský, Král, 2000).



Obr. 6 Bubnová sekačka s dvěma způsoby uchycení nožů

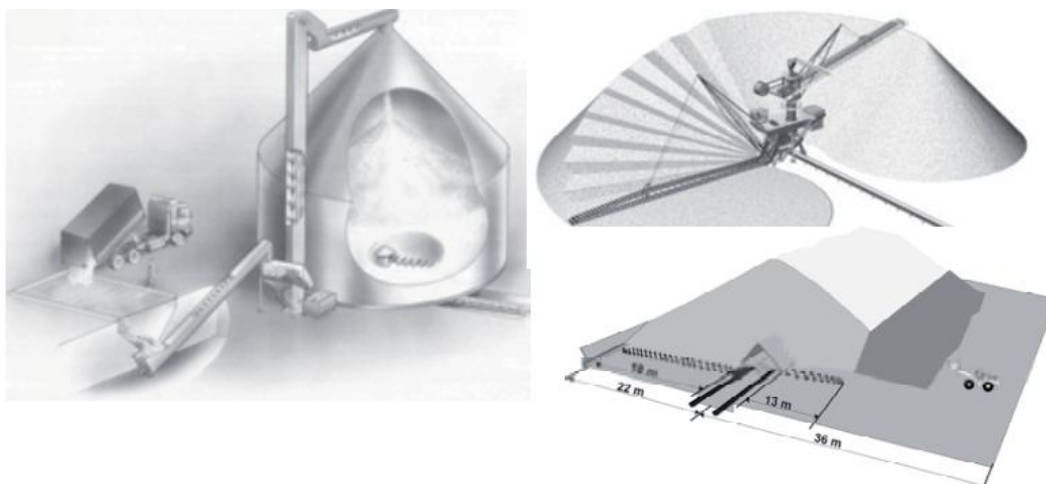
Zdroj: Deppe, Ernst 1996

U bubnových sekaček je délka štěpky, přímo závislá na rychlosti posuvu a nepřímo úměrná rychlosti rotoru a počtu nožů. Takzvaný otevřený rotor poskytuje delší délku štěpky (Deppe, Ernst, 1996). Při sekání menších částic mají štěpky horší kvalitu, neboť obsahuje větší podíl hrubé, ale i jemné frakce (Hrázský, Král, 2007).

Pro výrobu štěpky jsou rozhodující řezné síly a směr řezání, které rovněž závisí na podmínkách surovin. Existuje jasná závislost mezi řeznou silou a objemovou hustotou, protože se zvyšující se hustotou surovin musí být podle příslušného směru řezání také aplikovány vyšší řezné síly (Deppe, Ernst, 1996). Významný faktor při štěpkování je i vlhkost dřeva. Největší řezný odpor klade dřevo při vlhkosti 10 – 13 %. Zatímco se vlhkost zvyšuje k bodu nasycení dřevních vláken (okolo 30 %), řezný odpor klesá a poté zůstává prakticky konstantní (Lampert, 1966). Směr sekání musí být šikmý ke směru vláken (Novotný, 1986). Následně se štěpka dopravníkem přepravuje do sil či na hromady, které jsou umístěny na volném prostranství (Štefka, 2007).

3.3.3 Skladování štěpky

V závislosti na klimatických podmínkách a dostupnosti surovin existuje mnoho způsobů, jak skladovat štěpky, než jdou do výroby obr. 7.



Obr. 7 Skladování štěpky

Zdroj: Thoemen a kol., 2010

Nejjednodušší a nejlevnější možností je skladování štěpky venku na hromadách, ale to přináší problémy s „kontaminací“. Může se do ní přimíchat půda, kameny, cizí látky, může zmrznout nebo biodegradovat. Dalším řešením je použití kruhových ocelových nebo betonových sil s izolací nebo bez izolace. Výhodou sil (oproti venkovnímu skladování) je spolehlivé a rovnoměrné nanesení štěpky na linku, nižší obsah vlhkosti, protože je materiál chráněn před vodou a sněhem a dalšími povětrnostními podmínky (Thoemen a kol., 2010).

Sklad štěpky musí být navržen tak, aby vyhovoval individuálním požadavkům. Např. vzájemnému propojení řetězovými dopravníky, pásovými dopravníky, korečkovými elevátory nebo jinými dopravními prvky (Andritz, 2020). Ze sil jsou štěpky dopravovány na dopravnících rovnou na MDF linku, kde se třídí, perou a následně rozvlákňují.

3.3.4 Třídění štěpky

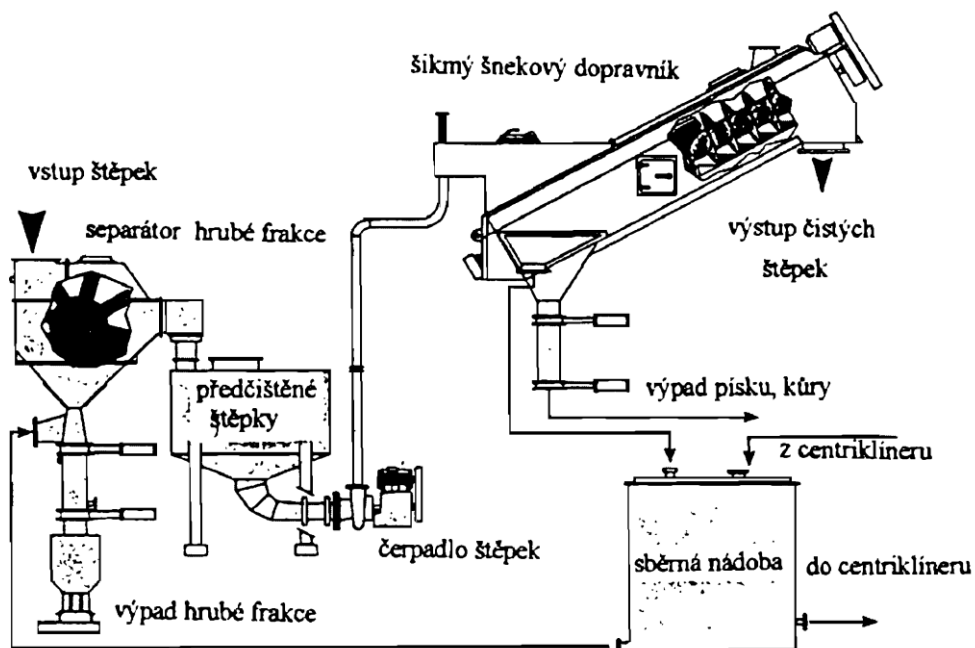
Štěpky vyrobené v bubnových či diskových sekačkách netvoří homogenní směs a proto je zapotřebí nevhodné částice a frakce dřevní hmoty ze štěpky odstranit. Je důležité, aby velikost štěpky byla co nejrovnoměrnější, proto se musí štěpky třídit na bubnových nebo na rovinných vibračních síťových třídících (Hrázský, Král, 2007). Velké části dřeva zachycené horním hrubým sítem se dále zpracovávají nebo se drtí

v kladivových mlýnech, tzv. dezintegrátorech (Novotný, 1986). Štěpky se třídí tak, aby se odstranily částice pod 2 mm a větší částice jak 50 mm (Thoemen a kol., 2010). Piliny a jiné materiály se vytřídí současně s jemnou frakcí, které se využívají na výrobu energie. Jelikož jsou štěpky většinou smíchána s kovovými a minerálními součástkami, které poškozují rozvlákňovací kotouče, tak se ještě před rozvlákňováním perou. Feromagnetické kovy se odstraňují magneticky, ostatní nečistoty pomocí mokré nebo suché pračky (Eisner a kol., 1983). Obecně se použití praček k čištění dřeva osvědčilo, zejména proto, že je dosažena delší životnost nástrojů (Deppe, Ernst, 1996).

3.3.5 Praní štěpky

V dnešní době je praní štěpky považováno za povinný krok, přičemž dojde k odstranění kůry, zeminy, písku a jiných abrazivních nečistot (Ansell, 2015). Kůra obsažená ve štěpkách (12 - 18 % v tvrdých dřevinách) nejen snižuje kvalitu desky, ale také významně přispívá ke kontaminaci odpadní vody. Přítomnost šterku v materiálu drasticky zvyšuje opotřebení rafinačních desek (Suchsland, Woodson, 1987).

Ve speciálních pračkách se uskutečňuje praní štěpky, přičemž dojde k odstranění nežádoucích příměsí. Schéma praní štěpky je patrné na obr. 8. Do nádrže s konickým dnem, ve kterém je voda, padají štěpky obsahující nečistoty. Štěpky jsou na toto místo dopravovány pásovým dopravníkem. Voda v nádrži se víří díky rotujícímu rotoru. Na základě rozdílné hustoty se od dřeva oddělují veškeré těžší suroviny, které klesají ke dnu a tam jsou pravidelně vypouštěny. Šikmo uloženým šnekem procházejí předčištěné štěpky, kde jsou pomocí proudu vody znovu proplachovány. Do odběrného místa pod šnekovým dopravníkem se vyplavují veškeré minerální nečistoty, kůry a eventuálně kovové příměsi. Pračka štěpky pracuje s uzavřeným okruhem vody, jelikož se voda po vyčištění znovu vrací do systému praní štěpek (Hrázský, Král, 2007).



Obr. 8 Principiální schéma pračky štěpky firmy Sunds Defibrator

Zdroj: Hrázský, Král, 2007

V některých případech je prodloužena a zdvojnásobena životnost segmentů rozvlákňovacích zařízení. Pro lepší čištění dřevních částic s vysokým obsahem pryskyřice nebo lepidla je voda zahřívána, což je podstatné zejména pro rozmrazování štěpky uložené venku v zimním období. Tímto způsobem se šetří energie a jsou chráněny také dopravníky, šnekové podavače a sušičky (Thoemen a kol., 2010). Změkčené štěpky přicházejí z předehříváče do skutečného rafiněru pomocí šnekového dopravníku (Deppe, Ernst, 1996). Povrchovým smáčením, promýváním a napařováním se následně zlepšuje rozvlákňování (Thoemen a kol., 2010).

V případě praní štěpky mlecí segmenty běžně vydrží 1000 – 2000 hodin, což je min. o 600 hodin více, než kdyby se štěpky nepraly. Ale na základě provozních zkušeností jsou mlecí orgány při tak nízké životnosti (bez praní štěpek) i tak schopny produkovat vlákno požadovaných parametrů, nicméně jen po určitou část své doby životnosti (Hrázský, Král, 2007).

V důsledku toho jsou vlákna snadněji separována a obvykle jsou méně poškozena než vlákna zpracovaná metodami suchého zpracování. Všechna tato ošetření pomáhají zvyšovat kvalitu vláken a snižují energetické požadavky, ale mohou také snižovat výtěžek (Forest Product Laboratory, 2010).

3.3.6 Nanášení parafínu

Ke zlepšení odolnosti vůči vodě se často na štěpky přidává malé množství parafínu 0,25 – 1,5 % (Rowell, 2005). Při rozmělnění vlákna tímpádem vznikne menší tření a tím dochází ke snižování spotřeby energie (Muzikář, 2008; Hrázský, Král, 2000). Přidává se v kapalné formě rovnou do přehříváče na štěpky před rozvlákněním nebo rovnou do mlecí komory defibrátoru. Tím se dosáhne na vlákně konstantního množství pevných látek. Parafín se dávkuje dle otáček dolního dávkovacího šneku (Hrázský, Král, 2007).

3.3.7 Rozvláknování

Jednou z nejdůležitějších částí v technologickém procesu výroby dřevovláknitých desek je rozvláknování štěpek, na kterém závisí kvalita vyrobených desek. Štěpky se rozvláknují v mechanických rozvláknovacích – defibrátorech a vzniklá vlákna se v případě potřeby dovláknují v rafinérách (Mañas, Kočara, 1981). Je to proces, který probíhá při zvýšených teplotách (Rowell, 2005).

Účelem rozvláknováním je dezintegrace dřevní hmoty (štěpky) a jiných lignocelulósových surovin získat jednotlivá vlákna, častěji však svazky vláken, které tvoří základ vláknitých výrobků (Štefka, 2007). Jde o rozpojení stavebních prvků dřeva narušením střední lamely, kde je důležité zachovat celistvost a štíhlost vlákna a především nenarušenost buněčné blány (Eisner a kol., 1983). Vzhledem k tomu, že je vlákno relativně malá částice, je možné při lisování dosáhnout mezi vlákny dostatečný vzájemný kontakt (Štefka, 2007). Čím jsou vlákna jemnější a méně poškozená, tím se lépe zplstňují a jsou lepší i mechanicko-fyzikální vlastnosti VD (Novotný, 1986). Rozvláknování lze provést mletím štěpek v kuželových nebo kotoučových mlýnech anebo v holandru, vybavených vhodným mlecím nástrojem (Thoemen a kol., 2010).

Nejdůležitější faktory pro rozvláknování, které ovlivňují kvalitu vlákna, jsou podle (Hrázský, Král, 2007)

- vlhkost vstupní dřevní suroviny
- teplota při tepelné přípravě štěpek ve svislém přehříváči defibrátoru
- charakter páry
- kvalita segmentů a stav mlecích disků

- mlecí mezera mezi disky
- rychlost přechodu dřevní hmoty přes mlecí zařízení

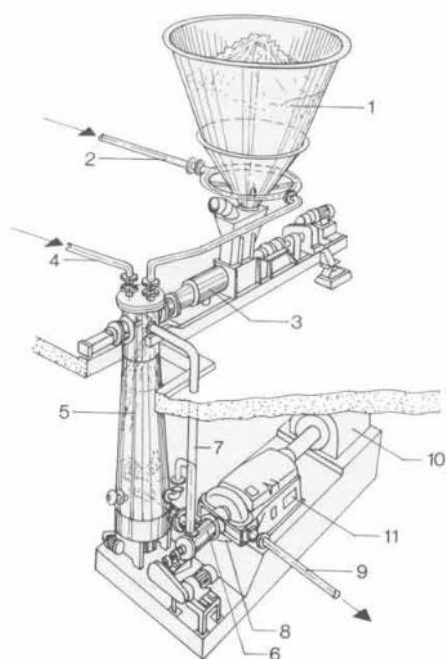
Vlastnosti vlákna a spotřeba elektrické energie jsou při rozvlákňování závislé na použití mlecích nástrojů, tlaku, času, teploty, vlhkosti případně na použitých chemických prostředcích (Štefka, 2007).

Proces rozvlákňování se dělí na čtyři způsoby podle (Štefka, 2007):

- mechanický způsob
- termomechanický způsob
- chemomechanický způsob
- vystřelovací způsob

Jelikož je tato práce zaměřena na analýzu vlákna v dřevozpracujícím družstvu Lukavec, tak bude následně popsán pouze termomechanický způsob rozvlákňování, který tam používají.

Termomechanický způsob rozvlákňování patří k nejrozšířenějšímu způsobu v Evropě. Je to proces, při kterém se štěrky pod tlakem podrobují napařování a redukují se na vlákna a svazky vláken (Tsoumis, 1991).

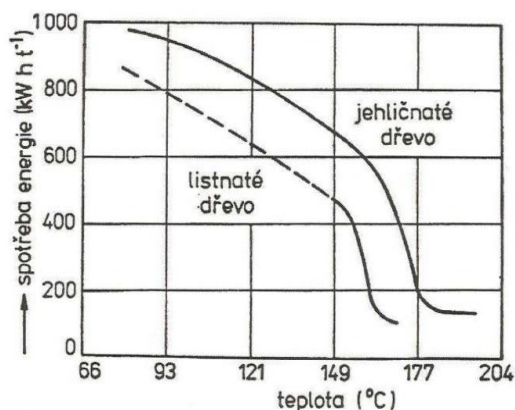


- 1 - zásobník s regulovatelným plněním a předehříváním parou
- 2 - zpětné vedení odpadní páry do zásobníku štěpek
- 3 - šnekový dopravník
- 4 - přívod čerstvé páry
- 5 - vertikální předehříváč
- 6 - šnekový dopravník
- 7 - zpětné vedení odpadní páry
- 8 - rafinér
- 9 - vyprázdnovací potrubí
- 10 - motor
- 11 - uložení hnacího hřídele

Obr. 9 Rozvlákňovací zařízení typu Defibrátor na výrobu vlákna

Zdroj: Štefka, 2007

Na základě výzkumu tento způsob navrhl Švéd Arne Asplund, který se postupně zdokonaloval a technicky se zdokonalovala i rozvlákňovací zařízení (Štefka, 2007). Právě Asplund zjistil závislost spotřeby elektrické energie na teplotě zahřívání štěpek. Z obr. 10 vyplývá, že při určitých teplotách dojde k výraznému poklesu spotřeby energie a to na 1/5 původní spotřeby. U dřevin jehličnatých je to zlomová teplota okolo 175 °C a při rozvlákňování listnatého dřeva se teplota pohybuje okolo 165 °C (Hrázský, Král, 2007).



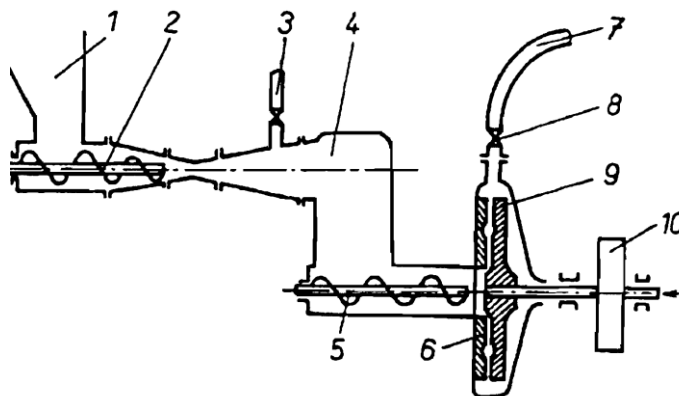
Obr. 10 Spotřeba elektrické energie při rozvlákňování v závislosti na teplotě

Zdroj: Lampert, 1967

Důvodem tohoto snížení spotřeby energie je plastifikace střední lamely, která představuje amorfní složku ve dřevě a spojuje jednotlivá vlákna do jedné celistvé hmoty (Štefka, 2007). Plastifikace (hydrotermická úprava) se stala běžnou součástí rozvlákňovacích postupů (Štefka, 2002).

Zařízení se skládá z násypky štěpek, která je uložena nad horním dávkovacím šnekem do svislého přehříváče defibrátoru, do které je ze spodní části přiváděna 3barová nízkotlaká pára. Za pomoci atmosférického tlaku se pára kondenzuje a ohřívá štěpky až na 100 °C. Plastifikací se zlepšuje chod horního dávkovacího šneku a v dalším kroku odstraňuje přebytečnou vodu, čímž zároveň snižuje vlhkost dřevní suroviny asi na 85 % a odstraňuje kondenzát z tepelné úpravy. Jakmile by se tento krok vynechal, do svislého přehříváče by se dávkovaly štěpky o teplotě vnějšího prostředí, musely by se ohřát na požadovanou teplotu, která se docílí přidáním horké páry s vyšším tlakem. Z tohoto důvodu se štěpky plastifikují, což má za následek snížení celkového množství páry potřebného k vlastnímu rozvlákňování v mlecí komoře defibrátoru. Doba plastifikace je stanovena podle výšky hladiny štěpek. Dále se tímto

opatřením snižuje podíl páry a obsah vlhkostí ve štěpkách, když jsou tlakem vzduchu dopravovány do proudové sušárny (Hrázský, Král, 2000).



Obr. 11 Principiální schéma Asplundova rozvlákňovacího zařízení

Zdroj: Hrázský, Král, 2007

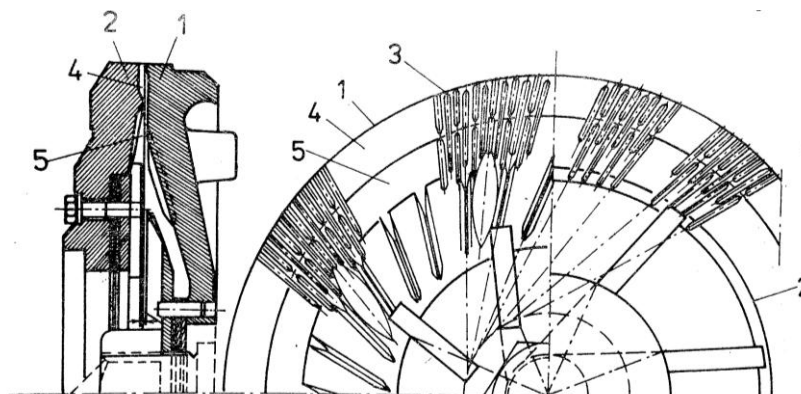
1 - násypka štěpek; 2 - šnekové podávací zařízení; 3 - přívod páry; 4 - svislý předehřívač štěpek; 5 - podávací šnek do mlecí komory; 6 - pevný rozvlákňovací kotouč; 7 - odvod vlákna do cyklonu; 8 - výpustný ventil; 9 - rotující kotouč; 10 - pohon rotujícího kotouče

Štěpky jsou po plastifikaci v předehřívači dopraveny do mlecí komory (5), kde se posouvají mezi dva mlecí disky s hrubými povrchy. Jeden je pevný (6) - stator a druhý je pohyblivý (9) – rotor (Štefka, 2002).

Tento princip používá významný světový výrobce rozvlákňovacích zařízení SUNDS DEFIBRATOR. V současnosti tato firma vyrábí velkokapacitní defibrátory, které vyrobí vlákno o vysokém stupni jemnosti mletí v jednom mlecím pochodu. Jde o tzv. **jednostupňové rozvlákňování** (Hrázský, Král, 2007).

Pohyblivý segment (rotor) se otáčí výkonnými motory kolem 1500 otáček za minutu, motor 2,5 MW, kapacita cca 1tun/hod. Štěpky se přivádějí do mezery (asi 1 mm) mezi dva rozvlákňovací segmenty otvorem uprostřed pevného disku (Thoemen a kol., 2010). Mlecí plochy rotoru a statoru nejsou rovnoběžné, ale nepatrně konické (Hrázský, Král, 2007). Segmenty mají různé provedení. Na obr. 12 je mlecí kotouč s různě velkými rýhami na povrchu. Hrubé rýhování se nachází ve střední části disku a jemné rýhování v části okrajové (Thoemen a kol., 2010).

Takto upravené disky vyrovnávají vychýlení, které nastává, když rotující segment je namáhaný vysokou odstředivou silou a velkým axiálním zatížením. Žádoucí je kontrolovat mlecí mezeru mezi mlecími disky a měrný mlecí tlak defibrátoru. Pokud je tlak menší, vytvářejí se kratší vlákna a mají vysoký stupeň plasticity. Při vyšším tlaku se v defibrátoru zvyšuje spotřeba elektrické energie, jelikož proces probíhá rychleji (Hrázský, Král, 2007).



Obr. 12 Mlecí kotouč defibrátoru

Zdroj: Mañas, Kočara, 1981

1 – Otáčecí mlecí kotouč; 2 – Pevný mlecí kotouč; 3 – vyfrézované drážky; 4 – hlavní mlecí pásmo; 5 – přípravné mlecí pásmo

Mlecí plocha je rozdělena na přípravné (5) a hlavní (4) pásmo. Hlavní pásmo (4) je 30 – 40 mm široké, rovně broušené, což umožňuje přiblížit mlecí kotouče na potřebnou vzdálenost, nastavovanou se zřetelem na jemnosti mletí. Přípravné mlecí pásmo (5) je mírně kuželovité, takže hrubé štěpky se přemelou a poté se dostanou do hlavního mlecího pásma. Středně mírný tlak mezi mlecími segmenty je ve směru osy při rozvlákňování 490 kPa (Mañas, Kočara, 1981).

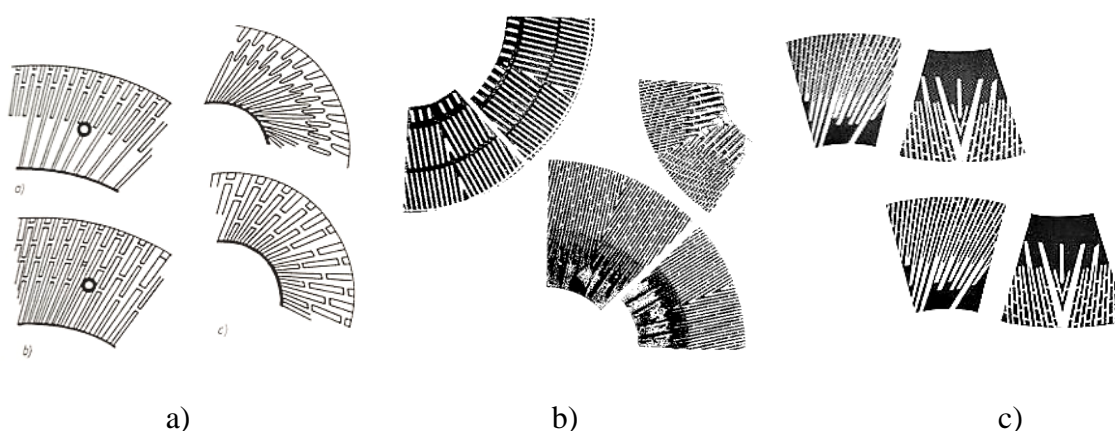


Obr. 13 Použité segmenty k výrobě vlákna MDF

Zdroj: Vlastní zpracování (DDL)

Konstrukce a profil brusných kotoučů jsou rozhodující pro výrobu kvalitního vlákna. Musí být přizpůsobena příslušné surovině a jejímu počátečnímu stavu. Obecně se rozlišuje mezi dvěma hlavními typy. Používají se brusné kotouče s frézovanými nebo litými drážkami (Lampert, 1966).

U frézovaných kotoučů je možné opakované broušení. Lité drážky se skládají z tvrdé a kyselinovzdorné oceli a jsou připevněny šrouby (obr. 13a.) (Deppe, Ernst, 1996).



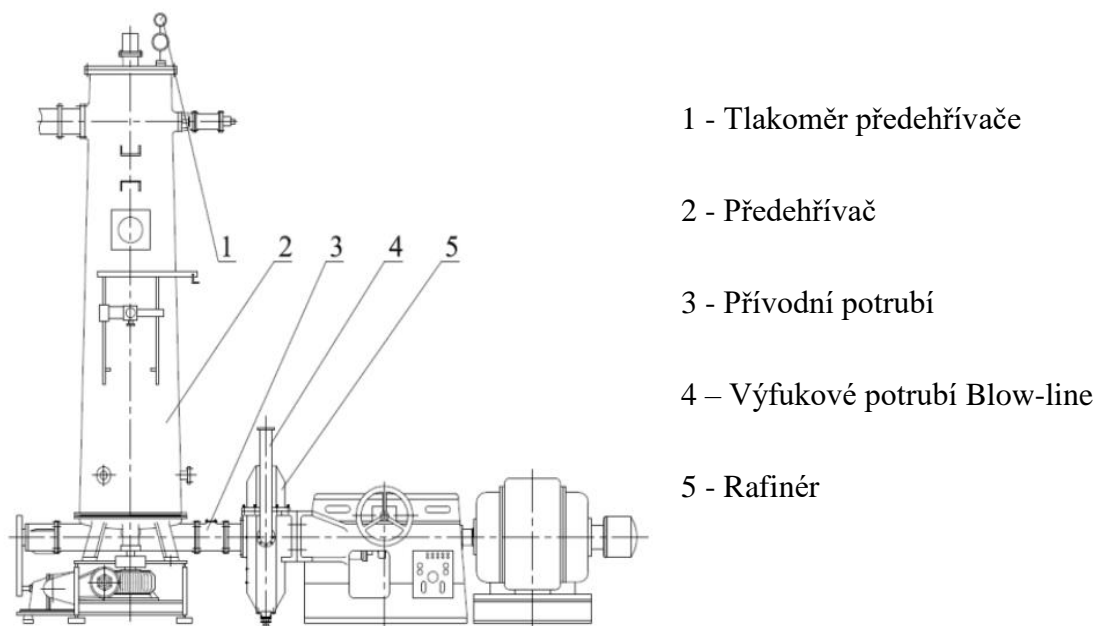
Obr. 14 Profily brusných kotoučů

Zdroj: Deppe, Ernst, 1996

Obrázek 13b., ukazuje různé konstrukce brusných kotoučů v závislosti na použité surovině. Segmenty (obr. 13c.) brusného kotouče defibrátoru Asplund jsou navrženy tak, aby byly odolné zvláště vůči korozi (Deppe, Ernst, 1996).

V důsledku toho, jak jsou štěrky poháněny poloměrem kotouče odstředivými silami, tak se postupně rozkládají na vlákna. Nastavitelná mezera mezi dvěma segmenty určuje spotřebu elektrické energie (100 – 400 kWh/t vlákna) a kvalitu vlákna (Raunkjær a kol., 2016). Změnou vzdálenosti rozvlákňovacích disků lze vyrábět různé velikosti dřevěných vláken, což je strategie, kterou lze použít v základní vrstvě MDF a zlepšuje to úspory energie v defibrátoru (Ayrilmis a kol., 2017).

Při tomto kroku se přidává mezi segmenty voda, která slouží jak pro čištění a chlazení rozvlákňovacích disků, tak pro proces rozvlákňování a pro vytvoření dostatečného průtoku buničiny ve Blow-line potrubí (Raunkjær a kol., 2016).



Obr. 15 Hlavní komponenty rafinéru

Zdroj: Hua a kol., 2012

Do potrubí Blow-line vlákna vycházejí z defibrátoru přes výfukový ventil. Ten je umístěn přímo na defibrátoru. Účelem tohoto zařízení je průběžně upravovat průtok páry a vláken dovnitř výfukového potrubí, a tím regulovat tlak ve skříni rafinéru. Blow-line potrubí je mezi defibrátorem a sušárnou, kde se aplikuje lepidlo a ostatní chemikálie. Přibližně třetina páry je získávána z tohoto potrubí pomocí tlakového cyklónu a je použita k ohřevu štěpky v přehřívací nádobě, čímž se snižuje spotřeba energie (Deppe, Ernst, 1996).

V Blow-line potrubí je za provozu vždy tlak páry. Za ním je umístěna dvoucestná klapka rozdělující tok materiálu do najížděcího cyklónu, pokud vlákno nemá parametry pro výrobu MDF (v cyklónu dojde k oddělení páry a vlákna, které je přepraveno k energetickým účelům) a nebo do sušárny, jestliže vlákno již má parametry pro výrobu (Thoemen a kol., 2010).

Voda použitá z každého kroku vyplachování, předvaření, vaření a rozvlákňování je buď recyklována, nebo zpracována v čistírně odpadních vod a znovu používána k jiným účelům v rámci závodu (Raunkjær a kol., 2016).

Kvalitu vlákna po termomechanické rafinaci lze obvykle hodnotit podle velikosti vláken, které lze změřit pomocí síťové analýzy. Velká vlákna mají za následek špatný

vzhled desky, proto jsou vyříděna ven, zatímco menší vlákna snižují pevnost desek a spotřebují více energie (Shi a kol., 2006; Hua a kol., 2012).

Vliv výrobních parametrů na vlastnosti vlákna

Výrobní parametry při rozvlákňování mají velký vliv na kvalitu vláken a spotřebu energie, což dále ovlivňuje kvalitu a cenu produktu. V současné době závisí predikce kvality vláken, spotřeba energie a úprava výrobních parametrů především na zkušenostech operátorů, což má za následek mnoho problémů, jako je nepřesná předpověď způsobená subjektivními faktory. Kvalita vláken se obvykle hodnotí screeningovými hodnotami v praktické výrobě, protože délka vlákna je velmi důležitá pro mechanickou pevnost desky. Vlákna se středním poměrem délka/šířka vlákna jsou nejdůležitější pro dosažení požadovaných vlastností MDF.

(Gao a kol, 2019)

Pro zvýšení produktivity a zlepšení kvality vláken během rozvlákňování je nezbytné stanovit vhodné podmínky defibrátoru, jako je doba zadržení štěpek v přehřívači, rychlost otáčení posuvného šroubu v přívodní trubce štěpek a poměr otevření vypouštěcího ventilu ve vypouštěcí trubce (Hua a kol., 2012).

V posledních desetiletích bylo provedeno několik studií, jejichž cílem bylo zjistit vztah mezi vlastnostmi štěpek a spotřebou energie. Byla zjištěna významná korelace mezi spotřebou energie při rozvlákňování a vlastnostmi štěpky (Eskelinen a kol., 1982).

(Marton a Eskelinen, 1982) zkoumal spotřebu energie pro rafinaci smrku a vliv tloušťky vzorku, mezery mezi rotorem a statorem, teploty, měrné hmotnosti a účinky obsahu vlhkosti na potřebnou energii pro rozvláknění štěpky. Výsledky odhalily, že tlustší štěpky spotřebovávají více energie při rozvláknění vlákna; vliv změkčených štěpek na spotřebu energie byl však nejasný.

Kromě obav z využití energie klade výrobní průmysl MDF také důraz na kvalitu vlákna a účinnost rozvlákňovače. Velikost vyrobeného vlákna hraje důležitou roli v kvalitě desky. Redukce velikosti štěpek během rafinace byla rovněž sledována v práci (Strand a Mokvist, 1989). V této práci byl vyvinut matematický model popisující redukci velikosti každé štěpky (Hua a kol., 2012).

3.3.8 Nános lepidla a ostatních chemických látek

Močovinoformaldehydové (UF) pryskyřice jsou nejčastěji používané při výrobě MDF (EPA, 2002). Mimo jiné jsou frekventovaná i jiná pojiva (PF, MEF pryskyřice), která se vstříkují pomocí vodou chlazených trysek 3 - 5 mm při vysokém tlaku (12 - 14 barů) do foukacího potrubí s dalšími aditivami, např. insekticidy, fungicidy, retardéry hoření, barvy atd. (Thoemen a kol., 2010).

V procesu MDF lze využít dva způsoby nanášení. Běžnou metodou je míchání vláken ve vyfukovacím potrubí – Blowline (Halvarsson, 2010). Vysoký tlak usnadňuje rovnoměrné rozdělení pryskyřice v důsledku expanze páry, která způsobuje vysoké turbulentní proudění, rychlé zrychlení (odděluje vlákna) až do vysokých rychlostí (100 m/s) (Thoemen a kol., 2010). Pryskyřice se přidává do foukacího potrubí před sušením (Halvarsson, 2010).

Nevýhodou tohoto nanášení lepidla je skutečnost, že pryskyřičná vlákna musí procházet proudovou sušárnou (110 - 140 °C), která má tendenci částečně vytvrdit pryskyřici. Aby se to kompenzovalo, je zapotřebí vyšší podíl pryskyřice, ve srovnání s polepováním suchého vlákna (Thoemen a kol., 2010). To má za následek vyšší spotřebu lepidla až o 10 % než v klasických nanášečkách (Hrázský, Král, 2007). U některých speciálních produktů může být obsah pryskyřičné pevné látky i o 15 % vyšší (Shmulsky, Jones, 2019). Převládají však výhody, obzvláště na povrchu desky nevznikají skvrny od lepidla, není zapotřebí systém čistit a tím odpadají náklady na koupi dalších speciálních strojů, např. nanášeček, které se složitě čistí, ventilátorů a chladicích systémů (Hrázský, Král, 2000).

Druhým způsobem se pryskyřice nanáší až po procesu sušení, kde se lepidlo nanese na vlákno ve speciální míchací jednotce. Tato metoda vykazuje obecně nižší spotřebu lepidla, ale je tam vyšší riziko lepidlových skvrn na hotových deskách (Halvarsson, 2010)

Množství lepidla pro dřevovláknitou desku MDF u suchého výrobního způsobu při použití PF pryskyřice se pohybuje okolo 6 - 8 %, při použití UF pryskyřic od 8 – 10 % sušiny lepidla na absolutně suché vlákno (Hrázský, Král, 2000). Celkově se množství pryskyřice liší mezi 8 – 15 % v závislosti na stupni výroby desky (Thoemen a kol., 2010).

3.3.9 Sušení vlákna

Vláknitý materiál vyžaduje pro sušení takové technické vybavení, které se zásadně liší od typů běžně používaných sušáren u dřevotřískových desek (Deppe, Ernst 1991). K určitému předsušení vláknitého materiálu dochází při rozvláknování a během následného transportu do cyklónů. Horký vzduch lze použít pro přepravu vlákna, kde dojde k jeho předsušení. Zkušenost ukázala, že vlhkost vláken je v tomto procesním stádiu snížena přibližně ze 100 % na 40 % (Lampert, 1966). To snižuje následnou dobu lisování (Shmulsky, Jones, 2019). Vlákno, které vychází z defibrátoru o vlhkosti 40 %, se suší v jednostupňové nebo dvoustupňové proudové sušárně, kde se za teploty 140 °C vysuší za několik sekund (Thoemen a kol., 2010).

Existují dva způsoby sušení:

Teplu se obvykle dodává do sušáren přímým vypalováním propanu, zemního plynu nebo destilátu nebo pomocí nepřímého topení - vzduch je zahříván přes parní registry (EPA, 2002).

- **Nepřímo**

Vlhká vlákna se foukají přes proudovou sušárnu rychlostí přibližně 30 m/s. Sušička má běžně v průměru 1 až 3 m, délku přes 100 metrů (Thoemen a kol., 2010). Vlákna pak vstupují do cyklónů (průměr 3 – 5 m), aby oddělila suché vlákno od páry. Sušené vlákno má vlhkost přibližně 7 – 9 %, sníženo ze 40 % (Ansell, 2015).

- **Přímo**

U dvoustupňové sušárny se teplota sušení postupně snižuje a odpovídajícím způsobem prodlužuje (Deppe, Ernst, 1996). Nejdříve je vstupní teplota nastavena na 200 – 300 °C a pak se sníží na 40 – 85 °C. V proudových sušárnách se současně vlákno třídí podle hmotnosti částic. Jelikož je suché vlákno velmi choulostivé z hlediska možné exploze či požární bezpečnosti, musí být závody vybaveny spolehlivým protipožárním a protiexplozním zařízením (Eisner a kol., 1983).

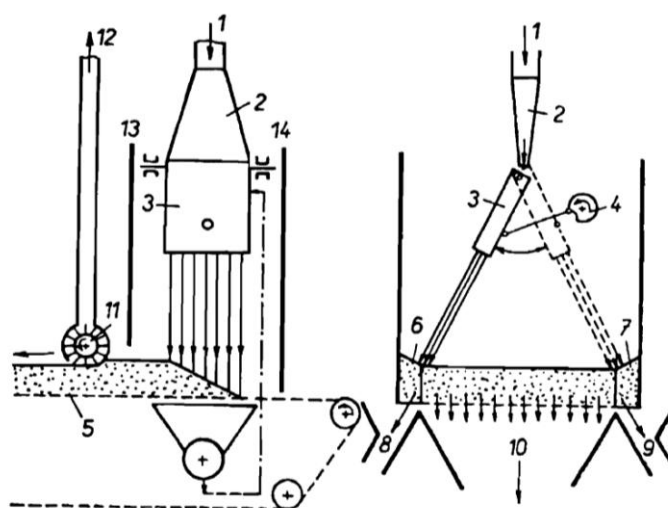
Po sušení jsou vlákna dopravena do suchého zásobníku. Vzduch dopravuje vlákna spolu s pryskyřicí a lepidlem ze suchého zásobníku přímo do vrstvicího zařízení, kde jsou uložena na plynule se pohybující pás pro následné lisování (EPA, 2002; Forest

Product Laboratory, 2010). Obsah vlhkosti vláken po sušení je přibližně 8 – 12 % (Thoemen a kol., 2010). Konečná vlhkost vlákna je 3 – 5 % (Uhlíř, 1997).

3.3.10 Tvorba vláknitého koberce

Pro vrstvení vláknitého koberce u suchého výrobního procesu se používají rozčesávací nebo kyvadlové trysky (Eisner a kol., 1983). Tato zařízení jsou navržena tak, aby odstranila jakékoliv shluky vláken (Thoemen a kol., 2010).

Vlákno se za účelem zhuštění koberce a redukce výšky ukládá na nekonečný síťový pás se spodním odsáváním s podtlakem asi 0,8 kPa (Eisner a kol., 1983). Rychlost dopravního pásu se mění podle vyráběné tloušťky desky (Ansell, 2015). Vytváření vláknitého koberce vyžaduje dávkovací koš s integrovanou váhovou stupnicí a rozmetací systém. Kvůli konzistenci vláken je manipulace a šíření jiné než u dřevotřískových desek. K rozprostření homogenního vláknitého koberce se používá pouze jedna vrstvicí hlava. Dávkovací a měřicí koš musí zajistit konstantní tok vláken, aby se zabránilo stlačování na rozmetací hlavě (Thoemen a kol., 2010). Stejneměrnost výšky zabezpečuje sčesávací válec, který za každou vrstvicí hlavou zarovná výšku koberce (Uhlíř, 1997).



Obr. 16 Schéma vrstvicího zařízení

Zdroj: Suchsland, Woodson, 1986

1- přívod vlákna; 2- přívodová násypka; 3- vrstvicí hlava; 4- řídicí jednotka; 5- síťový pás; 6,7- boční přepad vlákna; 8, 9- odsávací potrubí; 10- odsávací zařízení; 11- frézovací válec; 12- recirkulace přebytečného vlákna; 13, 14- stěny vrstvicí komory

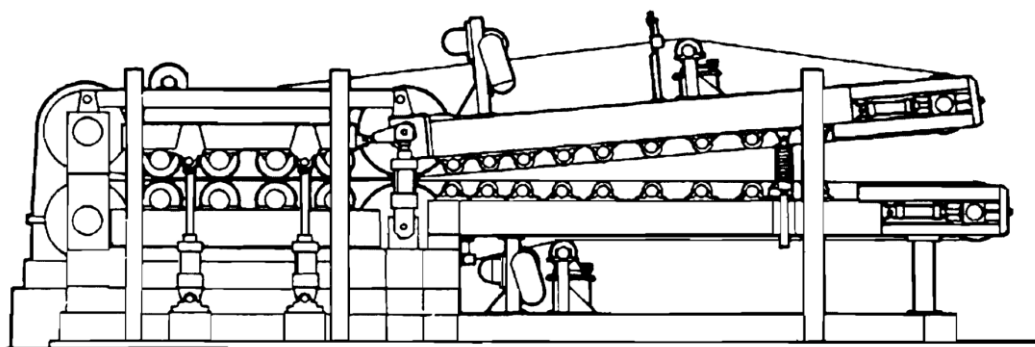
Při tváření za sucha se vlákna dopravují vzduchem. Jedná se o relativně novější metodu, která je výhodná, protože není potřeba žádná voda - což je důležitá úvaha s ohledem na znečištění životního prostředí. Novým vývojem ve formování koberce je orientace vláken; vlákna jsou uspořádána ve směru stroje, namísto náhodného orientování. Orientace vláken vede k tomu, že se desky fyzikálních a mechanických vlastností přibližují vlastnostem masivního dřeva (Tsoumis, 1991).

3.3.11 Předlisování

Vláknitý koberec je ještě před vstupem do horkého lisu za studena obvykle předlisován kontinuálním pásovým lisem, jelikož má typický koberec pro MDF o tloušťce 18 mm výšku 680 mm a hustotu 23 kg/m³ (Vaněřak a kol., 2006; Forest Product Laboratory, 2010; Thoemen a kol., 2010). V poslední době se stále častěji používá kontinuální lisování kvůli vyšší produktivitě ve srovnání s víceetážovými lisy. Typické teploty lisu jsou v rozmezí 160 – 210 °C a tlak 0,5 – 5 MPa, který se aplikuje na předlisované koberce pro upevnění a jeho přeměnu na MDF (Rowell, 2005; Thoemen a kol., 2010).

Předlisování probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni dojde ke stlačení koberce, k vytlačení vzduchu při použití mírného tlaku. V druhém stupni se pro vlastní předlisování zvýší hustota při vyšším tlaku (Hrázský, Král, 2000). To snižuje čas potřebný pro lisování za horka a zabraňuje dislokaci vláken při vstupu do lisu (Thoemen a kol., 2010).

Pásový lis redukuje tloušťku koberce o 50 až 70 % a bývá většinou z pletiva, které má otvory, aby se unikání vzduchu usnadnilo (Eisner a kol., 1983; Hrázský, Král, 2000). Během předlisování se vláknitý koberec roztahuje do stran a okrajové části vláknitého koberce získají nižší plošnou hmotnost (Hrázský, Král, 2007). Tento materiál se ořízne a vrací se zpět do vrstvicího stroje (EPA, 2002). Zhuštěný oříznutý koberec se poté přenesení přímo do lisu (Forest Product Laboratory, 2010).



Obr. 17 Kontinuální předlis

Zdroj: Hrázský, Král, 2007

Před lisováním se koberce ještě kontrolují a identifikují před případnými kovovými částicemi. Koberce, které nevyhovují kontrole plošné hmotnosti, jsou vráceny zpátky do vrstvicího zařízení a koberce, v nichž se objevily kovové příměsi, putují ke spalování (Hrázský, Král, 2000).

3.3.12 Lisování desek

Předlisované a ořezané koberce jsou přeneseny do horkého lisu (EPA, 2002). U lisování je důležitá rychlost zhušťování vláknitého koberce, která je významná pro vytvoření hustotního profilu MDF (Hrázský, Král, 2007).

Lis aplikuje teplo a tlak pro aktivaci pryskyřice a vlákna se vzájemně spojí do pevného panelu (Rivela a kol., 2007). U suchého výrobního způsobu je na lisování zapotřebí kratší čas než u desek vyráběných mokřím způsobem (Hrázský, Král, 2007). To je umožněné nižším obsahem vlhkosti vláknitého koberce (Štefka, 2007). Zároveň je vyžadován vyšší lisovací tlak, a to 6 - 7 MPa. Čas lisování je závislý na teplotě. Teplota lisování je nejčastěji mezi 210 – 220 °C. Pokud by teplota byla vyšší, desky se zbarvují do tmavého odstínu, což se nedoporučuje (Hrázský, Král, 2007).

Dle (Forest Product Laboratory, 2010) se všechny desky tvarované za sucha lisují ve víceetážových lisech při teplotě 140 - 165 °C pro desky spojené UF a pro desky spojené PF při teplotě 190 °C.

Hustota desky je základní vlastností a ukazatelem kvality desky. Protože hustota je do značné míry ovlivněna obsahem vlhkosti, je to neustále sledováno čidly vlhkosti

používajícími infračervené světlo (Forest Product Laboratory, 2010). Nejběžnější tloušťky MDF jsou 12, 18 a 20 mm (Ansell, 2015).

3.3.13 Chlazení a vyrovnání vlhkosti

Při tomto kroku dochází především k ochlazení desek na teplotu okolního prostředí a vyrovnání teploty v celém průřezu desky (Štefka, 2007). Desky jsou umístěny do chladicích turniketů ve tvaru hvězdy (Hrázský, Král, 2007). Jsou podepřeny na okrajích, aby byly jejich plochy vystaveny okolnímu vzduchu a usnadnilo se tak rychlé vyhladnutí desek (EPA, 2002).

Chlazení bezprostředně po lisování je už běžnou důležitou operací ve výrobě. Spolu s procesem chlazení a vyrovnání teploty v profilu desky dochází i k vyrovnání vlhkosti. Vyrovnání vlhkosti však vyžaduje delší čas než samotné chlazení (Štefka, 2007).

3.3.14 Opracování desek

K úpravě dřevovláknitých desek se používá několik technik: formátování, broušení, povrchová úprava, děrování a ražení (Forest Product Laboratory, 2010). Desky se vyrábí ve formátech 2 850 x 1 830 (2 070) mm a v tloušťkách od 3 – 100 mm (Muzikář, 2008; Hrázský, Král, 2007).

Desky MDF vyrobeny za sucha jsou oboustranně broušeny do cílové tloušťky pro zvýšení rovnoměrnosti hustoty (Tsoumis, 1991). Brusný materiál se volí podle požadované konečné kvality. Nejčastěji se používá karbid křemíku a oxid hlinitý. Zrnitost se pohybuje od 180 – 360. Aby se dosáhlo optimální jakosti povrchu MDF, používá se širokopásová bruska s oscilační patkou. Rychlost posuvu závisí na strojním vybavení a pohybuje se od 18 - 60 m/min. Při této operaci musí být nainstalované účinné odsávání prachu (NIS, 2016). Broušení snižuje kolísání tloušťek a zlepšuje lakovatelnost povrchu (Forest Product Laboratory, 2010).

4. Praktická část

Pro zpracování praktické části této diplomové práce bylo zvoleno dřevozpracující družstvo Lukavec, které patří mezi největší výrobní družstva v České republice. Jedná se o významného výrobce deskových materiálů a řeziva na bázi dřeva. V této části práce byl hodnocen vliv výrobních parametrů na frakci vyrobených vláken na výrobu MDF. Rovněž byla posouzena závislost mezi stářím segmentu, frakcí vyrobených vláken, které byly měřeny pomocí přístroje FiberCam a dále energetická náročnost rozvlákňování.

Tato práce byla zpracována v tomto podniku za účelem zjištění frakce vlákna a nejvhodnějšího typu segmentu pro jejich výrobu MDF.

3.4 Představení výrobního družstva

Dřevozpracující družstvo Lukavec (DDL) bylo založeno v roce 1953 a zapsáno do obchodního rejstříku dne 22. prosince 1954. Sídlí na adrese Lukavec 9, 394 26 Lukavec. Společnost DDL má za sebou více než 65 let působení na trhu velkoplošných materiálů na bázi dřeva a na trhu výrobků ze dřeva. Společně s dceřinou společností Kili, s.r.o. dodává své výrobky zákazníkům v České republice. Významná část produkce, a to více než 50 %, míří i na zahraniční trhy do dalších zhruba 20 zemí Evropy. Průměrný počet zaměstnanců v roce 2018 byl 546 (Výroční zpráva, 2018).

3.4.1 Produkty a služby dřevozpracujícího družstva Lukavec

Družstvo nabízí široký sortiment výrobků:

- **Nábytkové dílce** – jsou zhotoveny ze surové, dýhované DTD, laminované nebo MDF a je na nich uskutečněna min. 1 operace (vrtání, olepení hran, formátování, drážkování, vrtání a frézování na CNC).
- **Nábytkové přířezy** – vyrábí ze surových a povrchově upravených MDF (laminovaných nebo dýhovaných) a DTD, které jsou určeny k dalšímu zpracování.
- **Laminované desky** – mohou být jednostranně nebo oboustranně laminovány. Vzhled desek je ovlivněn volbou dekoračního papíru a jeho strukturou povrchu. Tyto desky jsou určeny do interiéru (výroba nábytku).

- **Laminované desky DESIGN CONCEPT** – jsou zalaminované DTD nebo MDF na nichž si každý zákazník může navrhnout svůj vlastní dekor a motiv. Jsou velice odolné a zdravotně nezávadné.
- **Dýhované desky** – na povrch nosného materiálu (DTD, MDF, laťovky) se nalisuje dekorační dýha z různých druhů dřevin.
- **Dřevovláknité desky MDF (LUHOPOL)** – jsou používány pro nenosné účely v truhlářské výrobě, nábytkářství a v interiéru.
- **Dřevotřískové desky (LUKAPOL)** – přírodní povrch desky, na kterém je vidět nepravidelnost třísek, zpravidla ve třech vrstvách.
- **Stavební desky DTD JSD P5** – řadí se mezi DTD. Díky vlhkvzdornému lepidlu, lze tento typ desky použít do vlhkého prostředí.
- **Dřevotřískové desky pero-drážka** – přířezy různých tloušťek desek s perem a drážkou.
- **Impregnovaný papír** – se používá jako polotovar na laminované DTD a MDF desky pro vytvoření povrchové úpravy.
- **Tvarové dílce pro čalouněný nábytek** - vyrábí z dřevotřískových a MDF desek dle požadavků zákazníka.
- **Produkty pro výrobce dveří** – výroba polotovarů ze všech typů materiálů pro následnou výrobu dveří
- **Hoblované výrobky (LUKAPROFIL)** – zhotovují ze smrkového řeziva dle zadaných rozměrů nebo se nakupují již sušené hoblérky.
- **Jehličnaté řezivo** – surovina III. jakostní třídy používaná pro stavební účely
- **Výkup dřevní hmoty** – dřevní materiál (pilařské kulatiny, surové kmeny listnatých a jehličnatých dřevin, vlákniny) vykupují od soukromých osob a firem.
- **Bílé dřevní peletky LUKAPELET** – vyrábí ze smrkového dřeva, které je odkorněno a není chemicky ošetřeno, nebo se prodává jako palivo.

(Interní dokumenty firmy, 2020)

3.4.2 Historie družstva

V roce 1953 bylo založeno Dřevozpracující družstvo s kapacitou pily 5000 m³/rok, hydraulický lis, výroba voštinových desek a sušárna. Firmu výrazně posunula stavba nové haly na výrobu DTD a v roce 1958 nákup nového vybavení dýhárný

za 2 mil. Kč. První linka na výrobu TD byla v Lukavci zprostředkována v roce 1960. Jednalo se o první výrobu DTD, tedy polotovarů pro truhláře a nábytkáře, v dřívějším Československu. Následující 60. léta se budoval závod na komplexní zpracování dřevní hmoty.

Administrativní budova byla postavena v roce 1963 a o rok později další výrobní hala. V roce 1966 zahájilo družstvo poprvé export řeziva do Nizozemska a Anglie.

Velký přelom nastal v roce 1972, kdy byla do provozu uvedena moderní dřevotřísková linka s kapacitou 34 500 m³ za rok. Ukončila se výroba voštinových desek, pilnice se rekonstruovala a modernizovala. Rozšíření sortimentu a zvýšení produkce více než na dvojnásobné množství přinesly následující roky. Na začátku 90. let byla zprovozněna nová pilnice na pořez slabé kulatiny LINCK obsazená štěpkovacím agregátem. První deska se specifikací E1 a lehčená DTD byla poprvé vyrobena v roce 1983 již v modernizované dřevotřískové lince.

Výrobu desek povrchově upravenou dýhou uvedlo družstvo v letech 1984 – 1986. Rekonstrukce pilnice instalací automatické omítací pily a nové rámové pily byla dokončena v roce 1989. Ve stejné době družstvo uzavřelo smlouvu a koupilo linku na výrobu středně tvrdých vláknitých desek, tzv. MDF desek. Výrobu zahájili až v roce 1992 a dnes patří mezi pilíře podniku.

Zároveň družstvo zvyšovalo kapacitu výroby TD. V roce 1989 byla výrobní produkce na 80 tis. m³ a do roku 2005 se vyšplhala na 150 tis. m³. Rok 1990 si vyžádal instalaci formátovacího automatu Giben, z důvodu značného nárůstu výroby, která umožnila úspěchy na trhu. Později v roce 1998 také výkonnější pily Anthon.

V roce 1995 Dřevozpracující družstvo získalo certifikát podle normy ISO 9002, poněvadž poprvé překonalo miliardovou hranici tržeb, vyrobilo "miliontý kubík" dřevotřískové desky. Nová manipulační linka s roční kapacitou 100 000 m³/rok zahájila výrobu v roce 1997. V letech 1996 - 2002 se velmi investovalo do ekologických opatření (protihluková opatření, kotle, regenerační úpravy v parku, filtry). Kromě své hlavní výroby desek družstvo zahájilo v roce 2002 výrobu nábytkářských dílců a rozšířilo produkci hoblovaného zboží. V následujících letech 2003 - 2005 se rozšířila výroba nábytkových dílců i povrchová úprava desek laminováním (nový lis v Humpolci).

Družstvo v současnosti vyváží více než 50 % své produkce do dvaceti evropských států.

Spolu s dceřinou společností DH Dekor, s.r.o. od roku 2005 vyrábí díly nábytku. Výrobní stroje, které používají, jsou na vysoké úrovni a odpovídají nejmodernějším trendům v nábytkářském odvětví. Velkým plusem je v tomto případě oblast nábytkových dílců, kde se DTD a MDF zhotovují dle přání zákazníka, a to je velká konkurenční výhoda pro spotřebitele. Splňují požadavky normy ISO 9001:2015 a jsou vlastníky mnoha certifikátů. Dokážou se přizpůsobit zákazníkům a nechat se certifikovat podle jeho potřeb. Příkladem je i certifikace IWAY pro firmu IKEA. (Interní dokumenty firmy, 2020)

3.4.3 Postavení DDL na trhu

DDL je jedním z nejvýznamnějších podniků Pelhřimovska a jednou z největších firem kraje Vysočina. Hlavním záměrem družstva je spokojenost a individuální přístup k zákazníkům a řešení jejich požadavků. Zákazníkům poskytuje kompletní dodavatelský servis a flexibilní vyřízení objednávek od materiálu, přes polotovary až k samotnému výrobku, který doplňují poradenskými službami. Úspěch firmy pramení kompetentních a kvalifikovaných zaměstnanců, kteří jsou odborníci v daném oboru. Z tohoto důvodu je ekologie a kultivace lesů prvotním zájmem družstva. Jako podporu trvale udržitelného hospodaření v lesích zavedli certifikovaný systém PEFC C-o-C a ten umožňuje kontrolu toku certifikované suroviny, pro kterou je prokazatelný původ. Tímto způsobem je snižováno riziko zpracování kontroverzní dodávky dřeva.

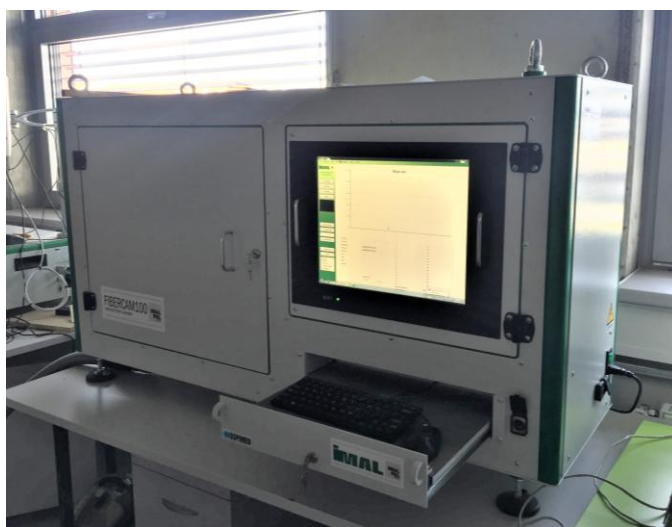
(Interní dokumenty firmy, 2020)

3.5 Metodika

V diplomové práci byly zkoumány vlivy výrobních parametrů na frakci vyrobených vláken. Byla posouzena závislost mezi stářím segmentu, frakce vyrobených vláken a energetická náročnost rozvláknění. Měření probíhalo pomocí měřicího přístroje FiberCam. Dále byla metoda kvantifikovaná a byly navrženy nové parametry pro další měření na přístroji FiberCam.

3.5.1 Měřicí přístroj

K měření byl použit měřicí přístroj FiberCam 100, který je určen pro laboratorní analýzy rozložení vláken s ohledem na jejich nejvýraznější rozměrovou charakteristiku, tedy délku. Tento stroj využívá optickou technologii, umožňující přesné a pečlivé změření rozměrových charakteristik vlákna bez rizika jeho poškození, či ztráty, s možností opakovatelnosti zkoušky. Ve srovnání s mechanickými sítěmi, které filtrují vlákno na bázi tloušťky (prostřednictvím průchodu vlákna sítíkou), optická technologie umožňuje změření skutečné délky jednotlivých částic, což je velmi důležitá charakteristika z výrobního hlediska. Systém zajistí přípravu vzorku tím, že ho zbaví případných „drnů“ bez pozměnění jednotlivých vlastností vláken.



Obr. 18 FiberCam 100

Zdroj: Vlastní zpracování

Prostřednictvím PC se zobrazovacím programem je možno vypracovat a převést naskenovaný obraz analyzovaného vlákna a získat údaje, které je následně možno vložit do laboratorní databáze. Software je rovněž schopen vyloučit z měření nadměrně zkroucená, či překrývající se vlákna, která by mohla způsobovat nepřesnosti měření. V průběhu chodu systém graficky znázorňuje objemové rozložení vláken v závislosti na jejich délce. Výsledky jednotlivých testů jsou archivovány v místní databázi a je možno je konzultovat prostřednictvím firemní sítě.

Dále je možno vytisknout výsledky testu s číselnými hodnotami a grafické znázornění rozložení granulometrie. Objektivní kontrola opakovatelnosti testu anebo

srovnání s předchozími zkouškami je možné s překrýváním grafických obrazů prostřednictvím jednoduché nabídky.

Tab. 4 Technické charakteristiky

Zdroj: Návod k použití a údržbě FiberCam 100

Změřené veličiny	Délka vlákna; Odhadované hodnoty
Opakovatelnost	~ 2 %
Oblast měření	[0,05 - 30] mm
Doba měření *	2 - 4 min
Použitelné online **	Ano

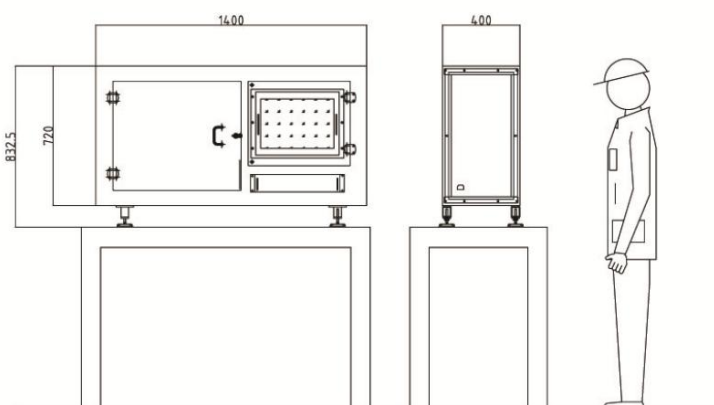
* proporční vůči množství materiálů

** pomocí vhodných odběrných zařízení

System je tvořen:

- Vnitřním pneumatickým systémem pro přepravu vlákna
- Systém digitálního snímání
- Automatický čisticí systém
- Dotykový obslužný panel
- Na objednávku: automatický systém pro odběr materiálu z linky

Prostorové rozměry (mm)



Obr. 19 Prostorové rozměry

Zdroj: Návod k použití a údržbě FiberCam 100

3.5.2 Metodika měření a zpracování dat

V této části práce je popsána metodika měření, od samotného odebírání vzorků až po jejich grafické vyhodnocení. Byl sledován vliv výrobních parametrů (výrobce segmentu a stáří segmentu) na frakci vyrobených vláken.

Vlákna pro výrobu dřevovláknité desky se střední hustotou (MDF) z jehličnatého i listnatého dřeva byla běžným způsobem vyrobena (ze štěpek rozvlákněna v defibrátoru) a poté odebrána v sušárně do plastových obalů v několika intervalech. Vzorky vlákna jsou odebírané od počátku zavedení nově instalovaných rozvláknovacích segmentů v defibrátoru až po jejich opotřebení a následnou výměnou segmentů. V případě, že měly segmenty specifickou energii na výrobu vlákna do 160 kW/tunu, tak byly osazené cca 1500 mth. Pokud byla spotřeba větší, tak se demontují a osazují novými. Segmenty, které byly osazené kratší dobu než 1200 mth, tak to jsou přesně ty, u nichž byla specifická energie nad 160 kW/t. Každý segment rozvláknoval vlákna různou dobu. Vycházelo se ze spotřeby elektrické energie. Pokud nějaký segment spotřeboval více energie a docházelo k hrubé frakci vláken, byl segment odebrán a vyměněn. Téměř s každým typem segmentů lze vyrobit dobré vlákno, ale s vyšší spotřebou energie.

Příprava vzorků

Reprezentativně odebrané vzorky ze sušárny vlákna byly vloženy do plastového uzavíratelného obalu a následně řádně popsány datem a typem segmentu, jak je znázorněno na obr. 20.

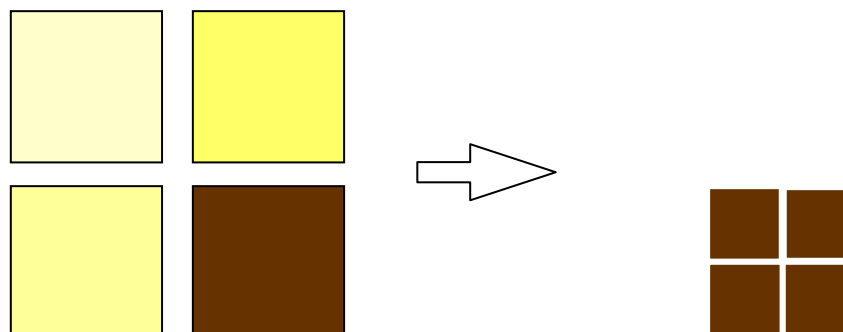


Obr. 20 Vzorky vlákna v plastovém obalu

Zdroj: Vlastní zpracování

Vzorky byly skladovány v místnosti s optimální relativní vlhkostí a během převozu se nesměly dostat do přímého kontaktu s vodou. Vlákna se z obalu postupně

nasypala na stůl, kde se důkladně promíchala. Nejprve se celý obsah sáčku rozčtvrtil na 4 stejné díly. Poté se 3/4 dílů dala stranou a zbylá 1/4 se znovu důkladně zamíchala a rozdělila se na další 4 stejné díly (min. 10 000 vláken), což znázorňuje obr. 21.



Obr. 21 Schéma dělení vláken

Zdroj: Vlastní zpracování

Poté se nastavil FiberCam. Po spuštění programu se v hlavním menu (obr. 22) klikne na *Start measurement*. Dojde k otevření okna s názvem Production – výroba (obr. 23), kde se nastaví příslušné údaje pro provedení zkoušky, jako je název souboru v pořadí typ segmentu, datum odebrání a číslo vzorku (od 1 - 4). Provedeme úpravu sítí, v rozsahu od 0 - 30 mm s určitými odstupy (0 – 0,3; 0,3 - 0,6; 0,6 - 0,9; 0,9 - 1,2; 1,2 - 1,5; 1,5 - 1,8; 1,8 - 2,1; 2,1 - 2,4; 2,4 - 2,7; 2,7 – 3; 3 - 3,3; 3,3 - 3,6; 3,6 - 3,9; 3,9 - 4,2; 4,2 – 30), typ grafického znázornění Major axis, stiskneme tlačítko Save.

Pro každý výrobní postup je možné definovat různé sítě v závislosti na měření, které si přejeme znázornit (a je tedy možné nastavit různé sítě pro diagram horní osy, spodní osy, pro kulové prvky a slenderness). Pro toto měření byla použita síť Major axis. Charakteristikou tohoto grafického znázornění je větší osa. Každý histogram představuje procentuální hmotnost částic, jejichž větší osa je znázorněna v síti. V pravém dolním rohu je možno spustit měření ručně stiskem tlačítka *Start measurement*.

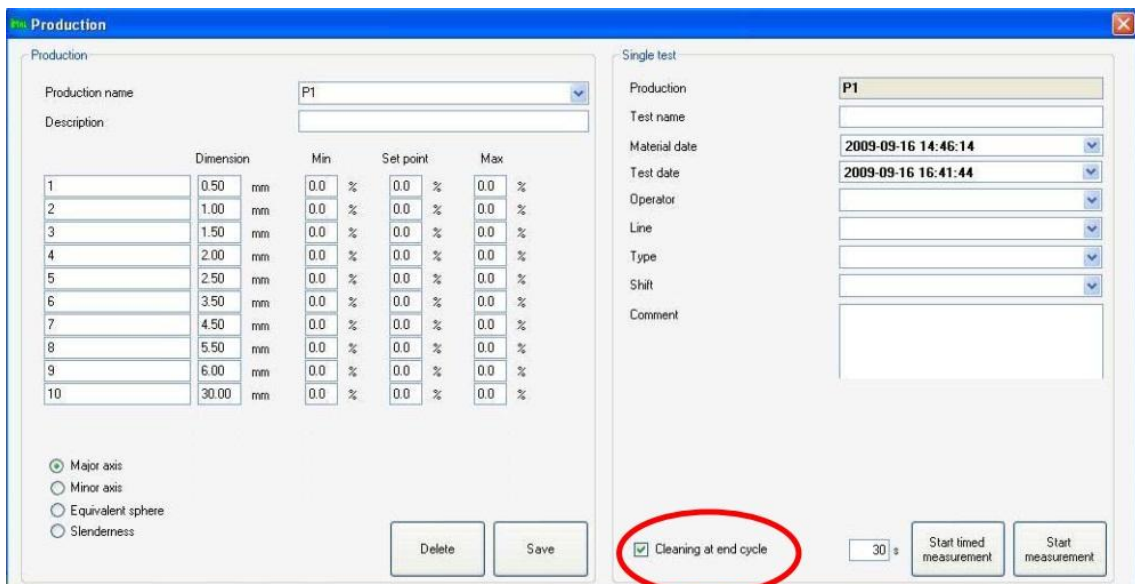
Po stisknutí tlačítka Save Result v hlavním menu, lze ukládat v kterémkoliv okamžiku údaje ze zkoušky (tlačítko Save Result je aktivováno pouze po dobu průběhu zkoušky od jejího začátku, do ukončení zkoušky). Maximální počet měřících sítí, které lze nastavovat pro každý diagram je 15, rozsah je nastavitelný od 0 do 30 mm.



Obr. 22 Hlavní menu měřicího přístroje FiberCam

Zdroj: Návod k použití a údržbě FiberCam 100

Grafické znázornění a příslušné údaje



Obr. 23 Nastavení příslušných údajů pro provedení zkoušky

Zdroj: Návod k použití a údržbě FiberCam 100

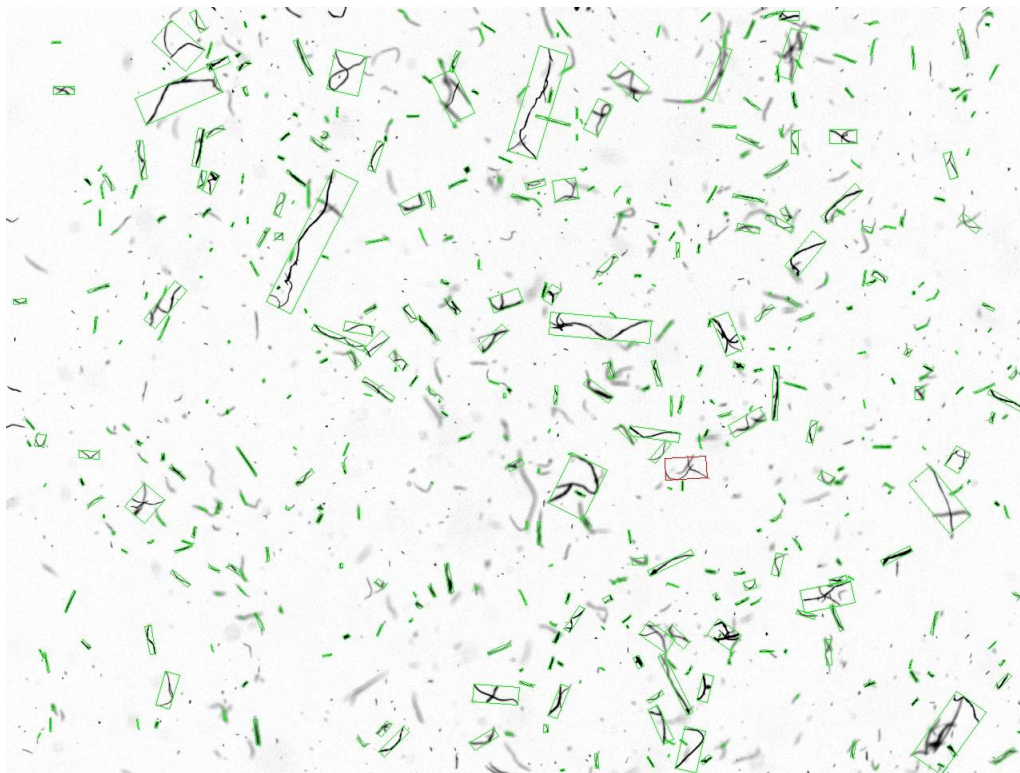
Poté se jednotlivá vlákna ručně sypou do horního otvoru FiberCam, který nám vyhodnocuje délku vláken a procentuální podíl hrubé a jemné frakce. V případě, že je tam nějaký shluk vláken, tak to přístroj nevyhodnotí. Stroj vyhodnocuje délku vlákna, a pokud jsou dvě vlákna přes sebe, tak to nepozná a vyhodí to. Snažíme se tedy o pečlivé sypání vláken. Po naměření min. 10 000 vláken (cca 2g) zastavíme stroj tlačítkem *Stop measurement* a poté mezi jednotlivými vzorky vždy vyčistíme stroj od zbytku vláken.

Cyklus čištění v trvání 20s může být spouštěn buď automaticky po skončení každé zkoušky, případně při vyjmutí sběrného zásobníku. Nebo je možné na stránce *Production* deaktivovat automatické čištění prostřednictvím tlačítka *cleaning at end cycle* a provést cyklus čištění v kterémkoliv okamžiku aktivací ovladače *Suction Cycle*.

Tímto postupem se změřily veškeré vzorky. Všechny hodnoty byly zapsány do Excel tabulek, ze kterých se následně vytvořily grafy.

Příklad snímaného obrazu:

Po stisknutí tlačítka Snap je možné ukládat snímky z kamery na soubor. Na obr. 22 se v zelených rámečcích znázornila vlákna, jejichž délka byla vypočtena.



Obr. 24 Dřevní vlákna ANDRITZ

Zdroj: Vlastní zpracování

V červených rámečcích jsou uvedena vlákna, která se mezi sebou překrývají, nebo jsou nadměrně zkroucená a byla tudíž vyřazena z měření.

Na obr. 23 je vidět shluk dřevních vláken, který není ohraničeno červenou ani zelenou barvou. Stroj nepoznal délku vláken a celý shluk byl vyřazen z měření.



Obr. 25 Shluk dřevních vláken ANDRITZ

Zdroj: Vlastní zpracování

3.5.3 Elektronová mikroskopie vláken

Měření vláken probíhalo na rastrovacím elektronovém mikroskopu MIRA-3, který je umístěn v Dřevařském pavilonu, České zemědělské univerzity v Praze. Elektronový mikroskop se v posledních letech stává součástí většina hi-tech budov a laboratoří.



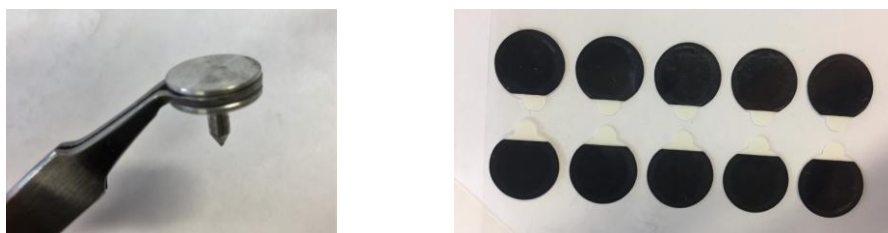
Obr. 26 Elektronový mikroskop

Zdroj: <https://home.czu.cz/bohm/conference-woodworking-techniques?editmode=0>

Umožňuje pozorovat povrch vzorku ve vysokém rozlišení. Rozlišovací schopnost má kolem 2 nm. Rastrovací elektronový mikroskop může dosáhnout zvětšení 10 000 až 200 000 x s velkou hloubkou ostrostí (Návod k obsluze MIRA 3).

Příprava vzorků pro elektronovou mikroskopii

Povrch vzorku musí být čistý, nesmí být přeleptaný ani jinak deformovaný. Byl použit nejběžnější držák, který je vhodný pro menší vzorky \varnothing 12,5 mm, výška 3 mm na který se pinzetou nalepila oboustranná karbonová lepicí páska se zadní hliníkovou folií. Poté se pinzetou odebrala vlákna z plastového sáčku a přilepila se na černou lepicí pásku.



Obr. 27 Standardní držák na vzorky a oboustranná lepicí páska

Zdroj: Vlastní zpracování

Důležité je, aby vzorek byl elektricky vodivý. Pro zajištění vodivosti vzorků byly držáky s vlákny umístěny do naprašovačky, kde byly naprášeny zlatem. Následovalo pořízení snímků pomocí mikroskopu MIRA 3. Byl použit detektor

sekundárních elektronů a urychlovací napětí bylo nastaveno na 10 kV. Vyexportované obrázky nebyly nikterak upraveny.

3.6 Výsledky

Tato část práce je věnována stanovení vlivu výrobních parametrů dřevních vláken určených pro výrobu MDF na frakci vláken ve Dřevozpracujícím družstvu Lukavec. Na základě výsledků byl doporučen nejvhodnější segment pro výrobu kvalitního vlákna, který vydržel nejdelší dobu při dobré spotřebě elektrické energie a měl nejnižší podíl hrubé frakce a prachových částic. První vzorky pro měření byly odebrány na začátku ledna v roce 2013 a poslední vzorky na začátku května 2019. Účelem této práce je zjistit ze všech vzorků, které byly odebírány po dobu 6 – ti let, nejvhodnější segment, který by firma mohla dále pro výrobu využívat. Celkem bylo k dispozici 54 vzorků a od každého typu segmentu různý počet. Snahou bylo odebírat vzorky vlákna vždy na začátku a na konci osazení a v průběhu životnosti segmentů. Počet vzorků vždy závisel na celkové době segmentu v provozu.

U všech měřených vzorků bylo sledováno procentuální zastoupení prachových částic, žádoucí frakce a hrubé frakce vlákna. Pro výrobu MDF desek je nejžádanější frakce 1,2 – 4,2 mm. Pokud je frakce menší než < 1,2 mm (tzv. prachové vlákno) pevnost desky se snižuje v tahu kolmo k rovině a je větší spotřeba lepicí směsi a v případě, že je vlákno delší než 4,2 mm, dělá problémy při zpracování MDF desek (pod naneseným lakem bobtná a narušuje homogenost povrchu).

Cílem této části práce je nalézt optimální typ segmentů a stanovit jestli k tomuto účelu je vhodné používat zařízení FiberCam od firmy Imal. K dispozici bylo od výrobce Andritz – 7 typů segmentu a od výrobce Metso – 3 typy segmentů. Pro analýzu tedy bylo potřeba kvantifikovat frakci 0,0 – 1,2 mm (prachová část), frakci 1,2 – 4,2 mm (žádoucí vlákno) a frakci 4,2 – 30 mm (hrubé vlákno). Pro zpracování naměřených hodnot byl použit program Microsoft Excel.

3.6.1 Vliv výrobních parametrů na frakci vláken

Vzorky obsahovali 80 % smrkového a 20 % bukového dřeva a byly vyráběny při spotřebě energie v rozmezí 140 – 160 kW/t, kdy je to ekonomicky a kvalitativně

přijatelné. Pro výrobu MDF desek se vždy hledá kompromis mezi energetickou náročností (náklady), kvalitou vlákna (požadavky trhu) a životností segmentů (náklady).

Otáčky rotoru byly konstantní a nastavené na 1500 ot. /min. Mezera mezi mlecími segmenty byla řízena dle odběru elektrické energie a kvality vlákna, mezera mezi dvěma disky v rafiněru se může měnit s množstvím vyrobených vláken. Zastoupení však nebylo konstantní a lišilo se podle toho, o jakou tloušťku a jaký druh MDF desky šlo (standardní, lehčená, pro hloubkové frézování). Segmenty byly stále vchodu, akorát byly zastaveny v době poruchy některého zařízení v lince, nebo při odstávce. U vzorků byla uvedena čistá doba běhu segmentů tzn. bez prostojů.

Pro výrobu MDF desek je nejdůležitější, aby hrubá frakce 4,20 – 30 mm byla co nejnižší po startu segmentů a vydržela po celou životnost segmentů (optimální životnost segmentů je 1500 mth při dobré spotřebě energie). Není výhodné vyrábět vlákno při vyšší spotřebě energie (bylo by kvalitní, ale výroba by se prodražila) nebo naopak, při nižší spotřebě energie by vznikalo hrubé vlákno a MDF deska by byla neprodejná.

Tab. 5 Celkový přehled odebraných vzorků segmentů Andritz a Metso v procentech

Zdroj: Vlastní zpracování

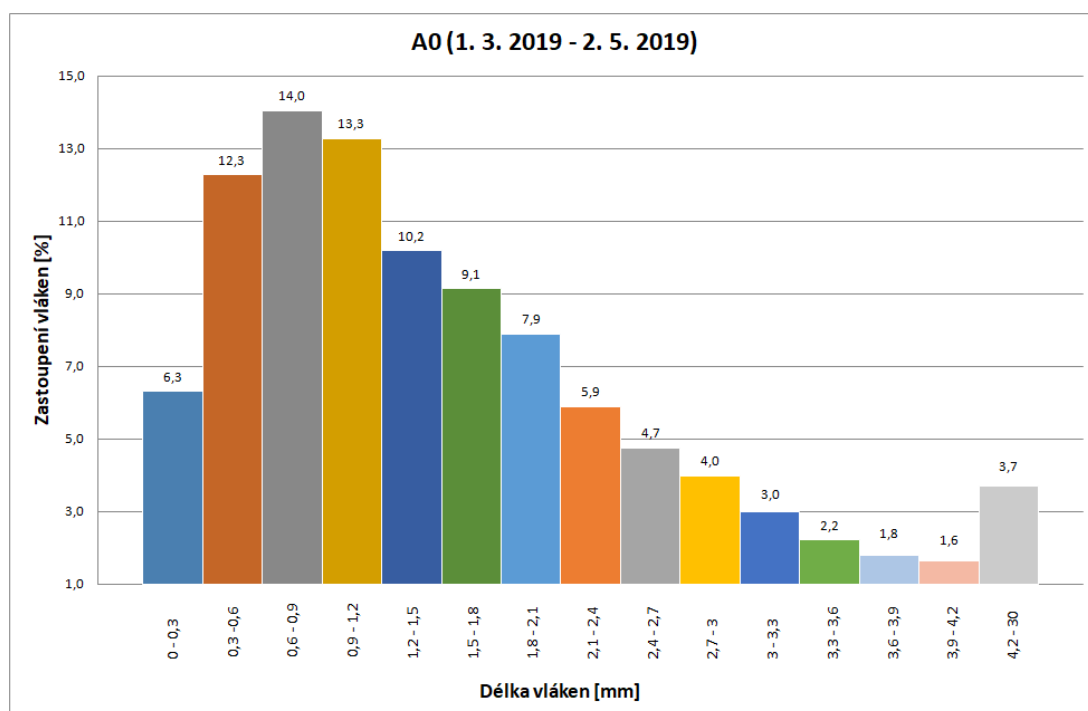
Délka vláken [mm]	A0 (1.3.2019-2.5.2019)	M1 (3.1.2013-7.3.2013)	A1 (7.3.2013-28.3.2013)	M2 (17.4.2014-7.5.2014)	A2 (16.7.2014-11.9.2014)	M3 (15.1.2015-5.2.2015)	A3 (9.4.2015-2.6.2015)	A4 (30.6.2016-18.8.2016)	A5 (20.4.2017-3.5.2017)	A6 (2.5.2019-24.5.2019)
0 - 0,3	6,3	5,7	3,6	5,3	5,4	7,8	5,0	5,0	5,9	6,0
0,3 - 0,6	12,3	9,9	8,1	10,2	9,9	13,1	9,3	8,8	9,8	10,8
0,6 - 0,9	14,0	10,7	10,5	11,3	11,5	13,5	11,0	10,3	10,3	11,4
0,9 - 1,2	13,3	10,5	10,5	11,3	11,2	11,6	11,1	10,1	10,1	11,3
1,2 - 1,5	10,2	8,7	9,0	9,1	9,6	9,8	9,6	8,6	8,4	9,5
1,5 - 1,8	9,1	9,0	9,2	8,9	9,4	9,1	9,1	9,0	8,6	9,1
1,8 - 2,1	7,9	8,0	8,4	8,2	7,8	7,2	7,8	8,7	6,5	7,6
2,1 - 2,4	5,9	6,6	5,9	5,9	6,1	5,8	6,6	7,1	6,1	5,8
2,4 - 2,7	4,7	6,5	5,8	5,5	5,5	4,7	6,3	6,2	5,4	5,8
2,7 - 3	4,0	4,6	5,0	4,6	4,9	4,0	4,6	4,6	6,0	4,6
3 - 3,3	3,0	4,5	4,9	4,6	3,4	3,8	4,0	4,8	4,8	3,8
3,3 - 3,6	2,2	3,5	4,2	3,8	3,1	2,9	3,2	4,1	3,2	3,4
3,6 - 3,9	1,8	3,1	4,0	2,7	2,6	1,5	2,8	2,3	3,5	2,8
3,9 - 4,2	1,6	2,5	2,2	2,2	2,3	1,6	2,5	1,8	2,7	1,5
4,2 - 30	3,7	6,3	8,7	6,5	7,1	3,6	7,3	8,6	8,9	6,8

V tab. 6 je zobrazen celkový přehled odebraných vzorků různých typů segmentů od firmy Andritz a Metso. Tabulka udává procentuální podíl jednotlivých frakcí vlákna od 0 – 30 mm. K dispozici byly vzorky segmentů od roku 2013 – 2019. Při pohledu na tabulku je zřejmé, že segment M3 vykazuje nejmenší podíl hrubé frakce 4,2 – 30 mm a to pouhých 3,6 % z celkového průměru odebraných vzorků. Největší podíl hrubé

frakce vykazuje segment A5 8,9 %. Zatímco nejmenší podíl prachového vlákna 0 – 0,3 mm měl segment A1 3,6 % a nejvyšší hodnotu 7,8 % měl segment M3. V analýze je důležité brát v úvahu, jak dlouho byl segment osazen, kolik obsahoval podíl prachového vlákna a hrubé frakce, která je pro výrobu nejvíce nežádoucí, a kolik spotřeboval při výrobě elektrické energie. V příloze C, je přiložen souhrnný sumarizující 2D graf všech typů segmentů.

U grafů níže lze vyčíst zjištěné hodnoty. Byly použity sloupcové typy grafů, kde název segmentu a datum je zobrazen nad oblastí grafů, na svislé ose je zastoupení vláken v procentech a na vodorovné ose délka vláken v milimetrech. Každý sloupec ukazuje průměrné zastoupení vláken v čase.

Referenční segment, který zachycuje závislost frakce vláken na opotřebení segmentu je od výrobce Andritz. V oběhu byl 59 dní ve dnech 1. 3. 2019 – 2. 5. 2019. Výsledky jsou zobrazeny v následujícím grafu.



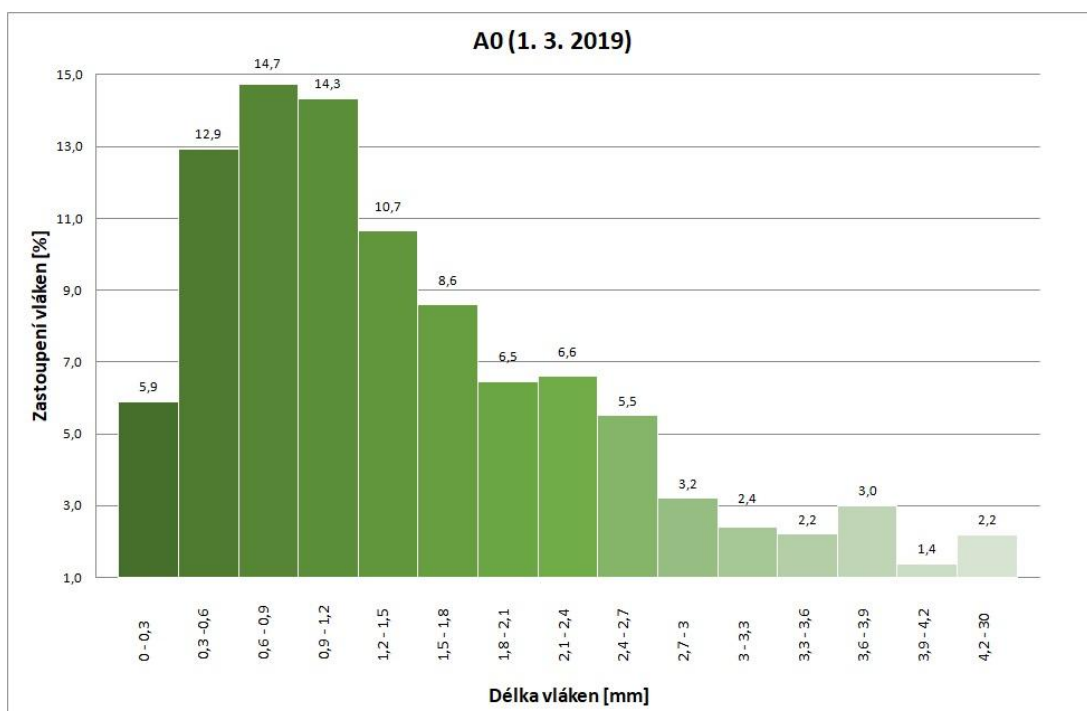
Graf 2 Průměr zastoupení vláken u segmentu A0 (1. 3. 2019 - 2. 5. 2019)

Zdroj: Vlastní zpracování

Tento typ segmentu se jednoznačně ukázal, že je pro výrobu vlákna nejvhodnější a to hned z několika důvodů. Doba provozu je vyhovující, jelikož vykazoval i dobrou spotřebu elektrické energie do 160 kW/t. Podíl nežádoucí hrubé frakce je pouhých

3,7 % a podíl prachového vlákna skoro dvojnásobně větší 6,3 %. Nejvíce je zastoupená frakce 0,6 - 0,9 mm a to 14 %, jejíž zastoupení se v čase mění. Nezávisle na stáří se však vždy jedná o nejvíce zastoupenou frakci. Žádoucí frakce od 1,2 – 4,2 mm nám v čase mírně kolísá. Jelikož je tento segment nejvhodnější z hlediska doby osazení a spotřeby elektrické energie, v následujících 3 grafech lze vidět hodnoty jednotlivých frakcí, které se mění v čase.

První vzorek vláken od výrobce Andritz byl odebrán 1. 3. 2019 ihned po zajištění nového segmentu do výroby. První odběr je dosti zavádějící, protože každý nový segment potřebuje na začátku určitou dobu na stabilizování (někdy až 48 hodin). Na začátku se segment nejprve stabilizuje a výsledky měření mohou být tudíž nepřesné. Proto se segment nechá ustálit nějaký čas, dokud se nezjistí přesnější hodnoty. Každý segment reaguje na pracovní zatížení jinak, tak je zapotřebí aby si tzv. sednul. Prachová část je ze začátku 5,9 % a hrubá frakce 4,2 – 30 mm dosahuje pouze 2,2 %. Nejvyšší podíl zastoupení je frakce 0,6 – 0,9 mm se 14,7 %.

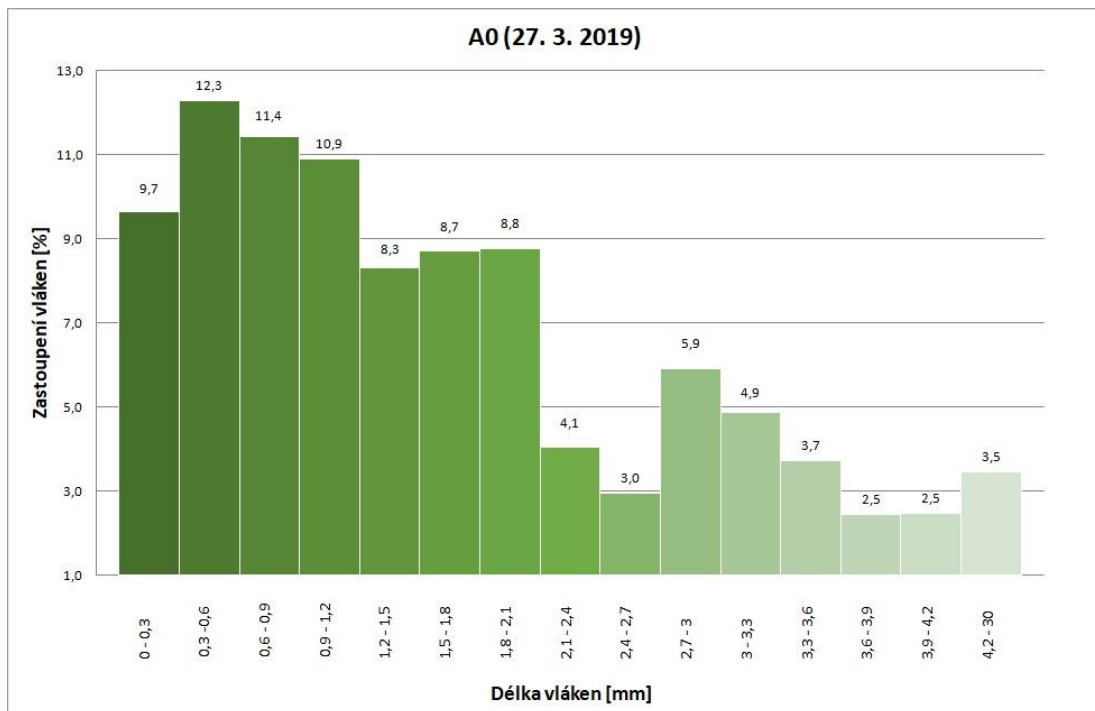


Graf 3 Průměr zastoupení vláken segmentu A0 1 den odběru (1. 3. 2019)

Zdroj: Vlastní zpracování

Žádoucí vlákna jsou zastoupena ve velkém množství. U prvního dne odběru vzorku je předpokladem, že se zastoupení vláken v dalších dnech ještě změní.

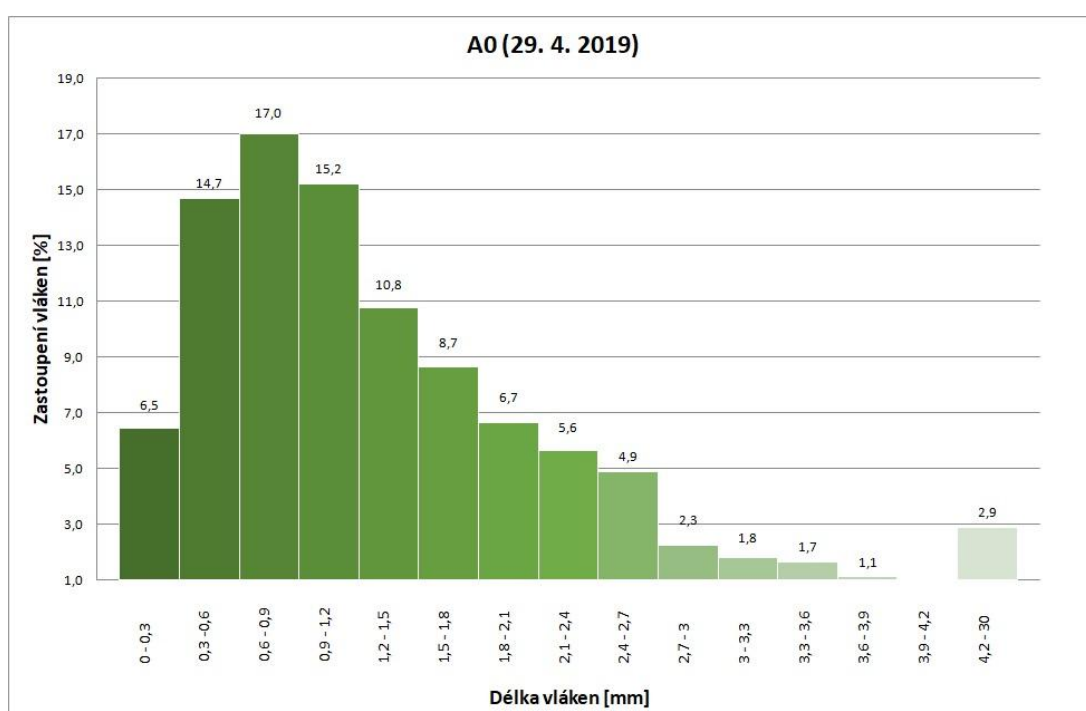
Následující graf č. 4, odebrán 27. 3. 2019 je zhruba v půlce své životnosti. Po 26 dnech se rapidně zastoupení vláken změnilo. Hodnoty se vyznačují značným klesáním a stoupáním. Na grafu lze tedy pozorovat zastoupení vláken v čase. Hrubá frakce se zvýšila o necelou 1/3 oproti datu 1. 3. 2019 na 3,5 %. Zvýšil se podíl i prachového vlákna na 9,7 %. Nejvýše zastoupenou frakci vláken je u toho segmentu 0,3 – 0,6 a to 12,3 %.



Graf 4 Průměr zastoupení vláken segmentu A0 26 den odběru (27. 3. 2019)

Zdroj: Vlastní zpracování

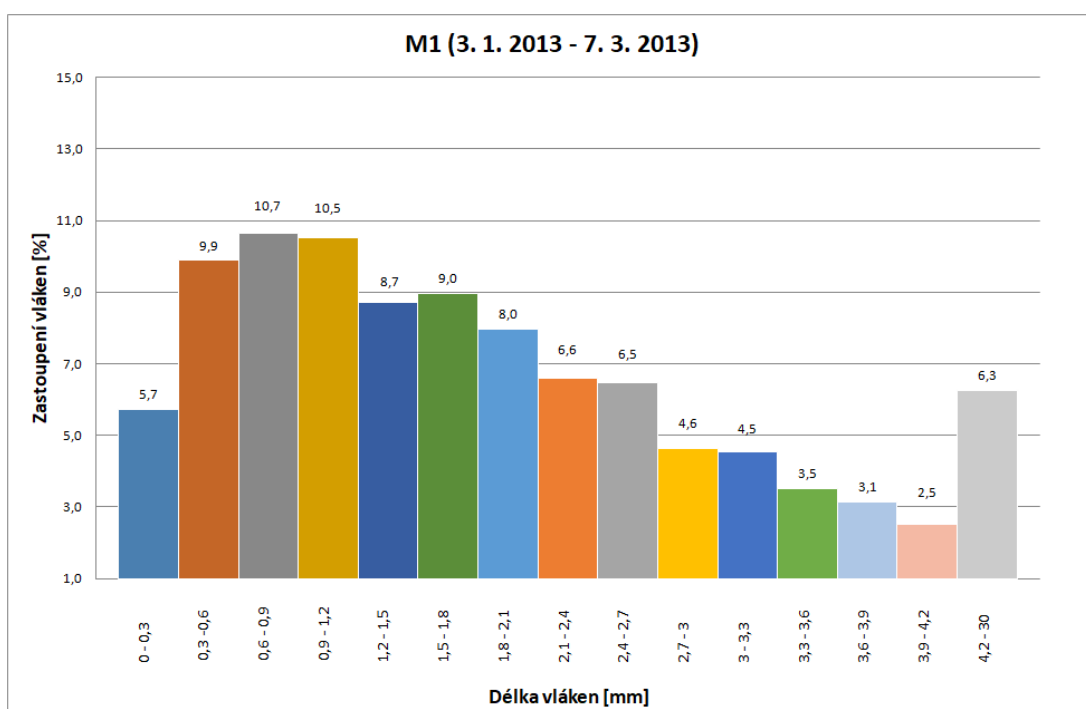
Výsledky posledního měření vláken ze dne 29. 4. 2019 jsou patrné v následujícím grafu č. 5. Segment je na konci své životnosti a stále vykazuje vynikající výsledky. Mohl být osazen ještě více dní, ale to už by z hlediska spotřeby elektrické energie nemuselo být výhodné. Hrubá frakce 4,20 – 30 mm klesla na 2,9 % a snížila se i prachová část na 6,5 %. Nejvíce je zastoupená již zmiňovaná frakce 0,6 – 0,9 mm a to 17 %. Žádoucí vlákna nám stále kolísají v čase, a proto se tento segment jeví jako nejvhodnější pro výrobu MDF. Důvodem demontování tohoto segmentu byla zvyšující se spotřeba specifické energie na výrobu vlákna přesahující 160 kW/t.



Graf 5 Průměr zastoupení vláken segmentu A0 59 den odběru (29. 4. 2019)

Zdroj: Vlastní zpracování

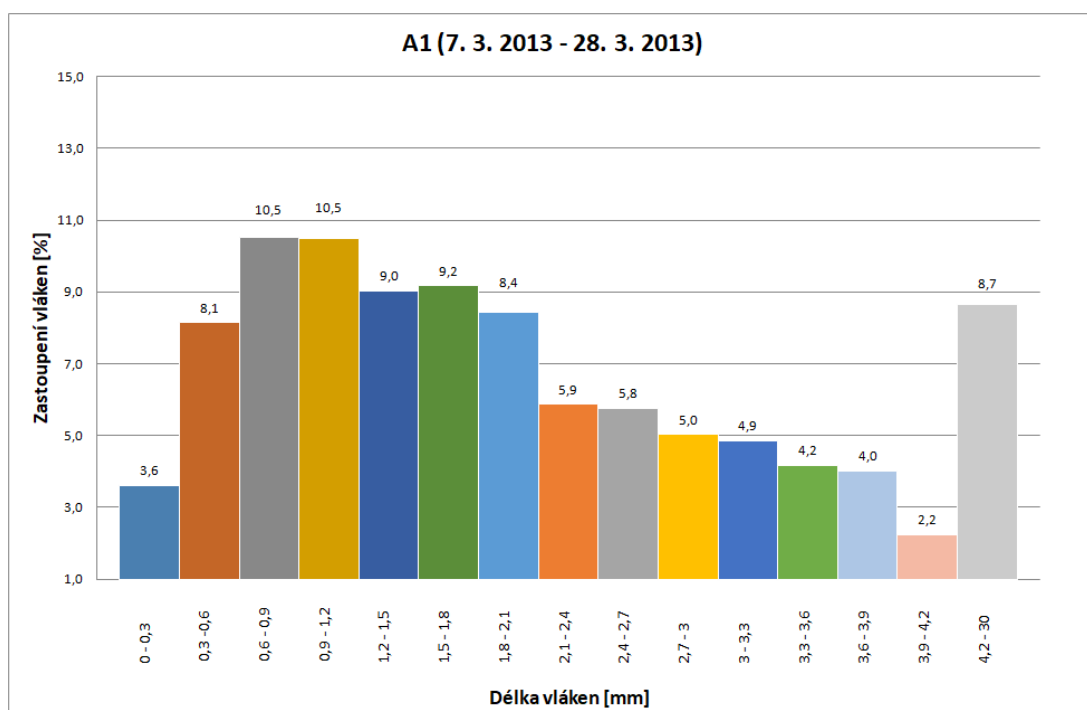
Graf č. 6 nám znázorňuje průměr zastoupení vláken segmentu od výrobce Metso M1, který byl v oběhu 62 dní ve dnech 3. 1. 2013 – 7. 3. 2013. Na první pohled jsou vidět vyšší hodnoty hrubého vlákna oproti segmentu A0 a menší zastoupení frakce 0,6 – 0,9 mm, která klesla ze 14 % na 10,7 %. Hrubé vlákno v délce 4,2 – 30 mm má značně vysokou hodnotu 6,3 % a pro výrobu kvalitní desky je nevyhovující. Prachové vlákno má oproti segmentu A0 nižší hodnotu 5,7 % z celkového průměru. Spotřeba elektrické energie se pohybovala do 160 kW/t. Výrobce sice hledá segment, který vydrží cca 60 dní, ale především záleží na podílu hrubé a jemné frakce.



Graf 6 Průměr zastoupení vláken u segmentu M1 (3. 1. 2013 - 7. 3. 2013)

Zdroj: Vlastní zpracování

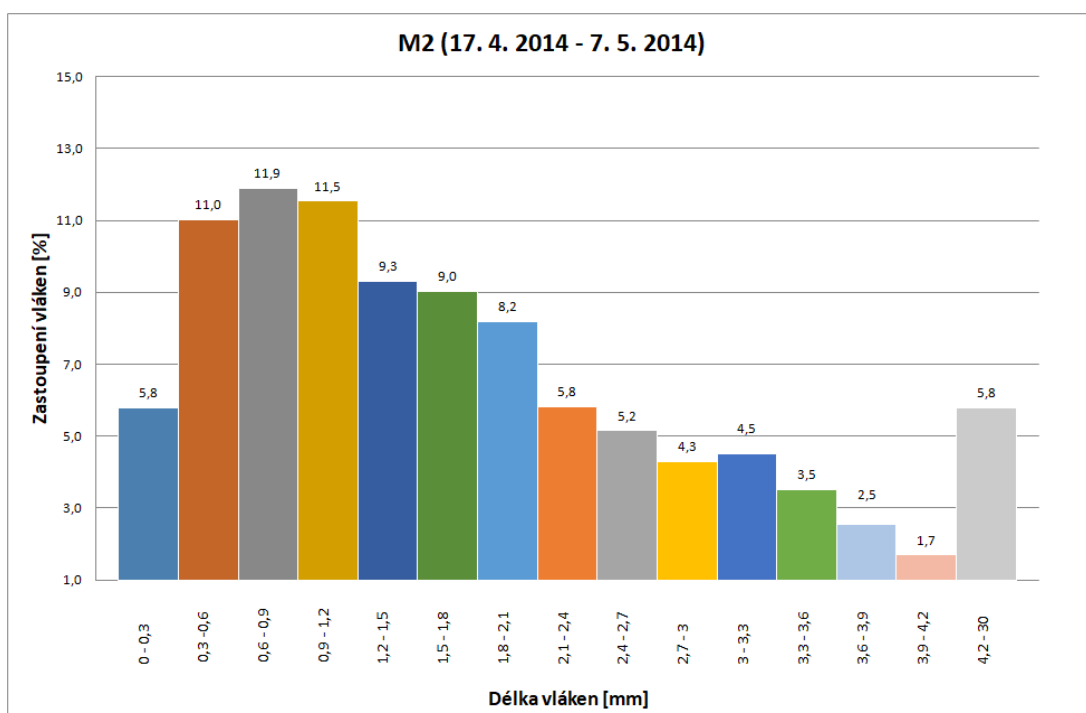
U grafu č. 7 s typem segmentu A1, který byl v oběhu pouhých 20 dní ve dnech 7. 3. 2013 – 28. 3. 2013 si nelze nevšimnou, velkého nárůstu hrubého vlákna, a to až na 8,7 %, což je hodnota nepřijatelná pro výrobu kvalitních desek. S nejvyšším podílem vláken se shoduje frakce 0,6 – 0,9 mm a 0,9 – 1,2 mm s hodnotou 10,5 %. Tento typ segmentu má sice nejmenší podíl prachového vlákna 0 – 0,3 mm s hodnotou 3,6 %, ale z důvodu velké spotřeby elektrické energie, která dosahovala více jak 160 kW/t, musel být odstaven. Mimo jiné prokazoval i velké množství hrubého vlákna, což je pro výrobu nevhovující.



Graf 7 Průměr zastoupení vláken u segmentu A1 (7. 3. 2013 - 28. 3. 2013)

Zdroj: Vlastní zpracování

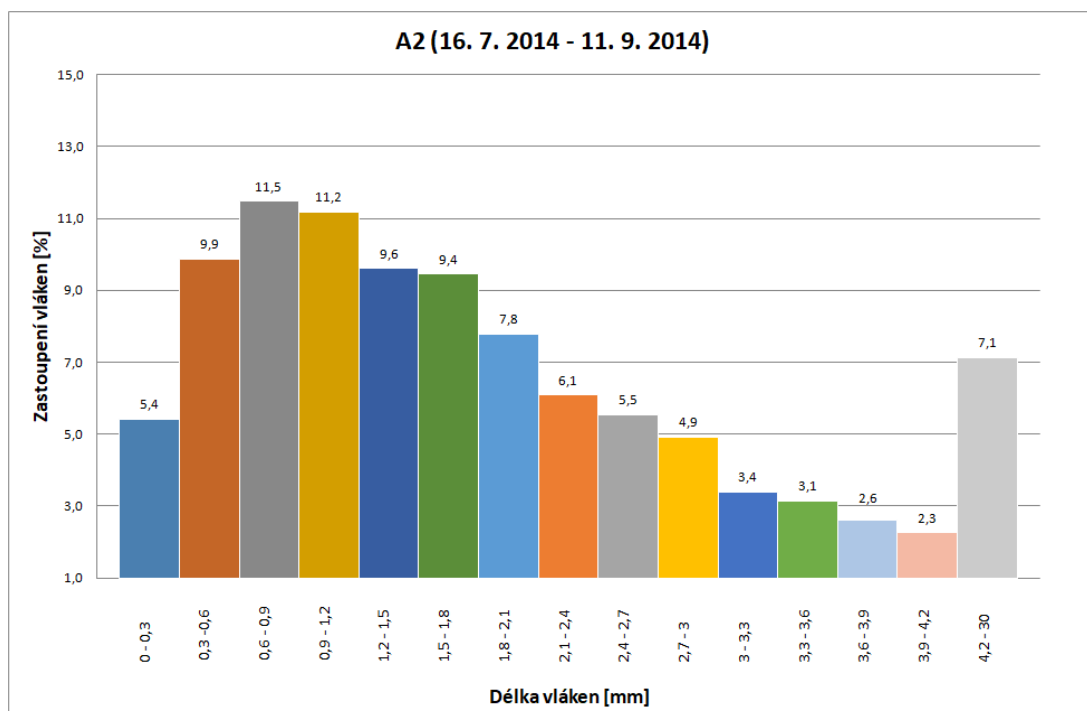
Segment M2 znázorněn na grafu č. 8 byl v provozu 21 dní, ve dnech 17. 4. 2014 – 7. 5. 2014. Nežádoucí prachové a hrubé vlákno, dosahuje shodné hodnoty a to 5,8 %. V nejvyšších hodnotách se pohybuje frakce 0,6 – 0,9 mm s hodnotou 11,9 %. Kdyby byl segment osazen více dní, kvalita hrubého vlákna by se nijak nezměnila. Naopak by se zvýšil podíl jak vláken prachových, tak hrubých a elektrická energie by se každým dnem zvyšovala. Už takhle segment vykazoval velkou spotřebu energie nad 160 kW/t a byl právě z tohoto důvodu demontován.



Graf 8 Průměr zastoupení vláken u segmentu M2 (17. 4. 2014 - 7. 5. 2014)

Zdroj: Vlastní zpracování

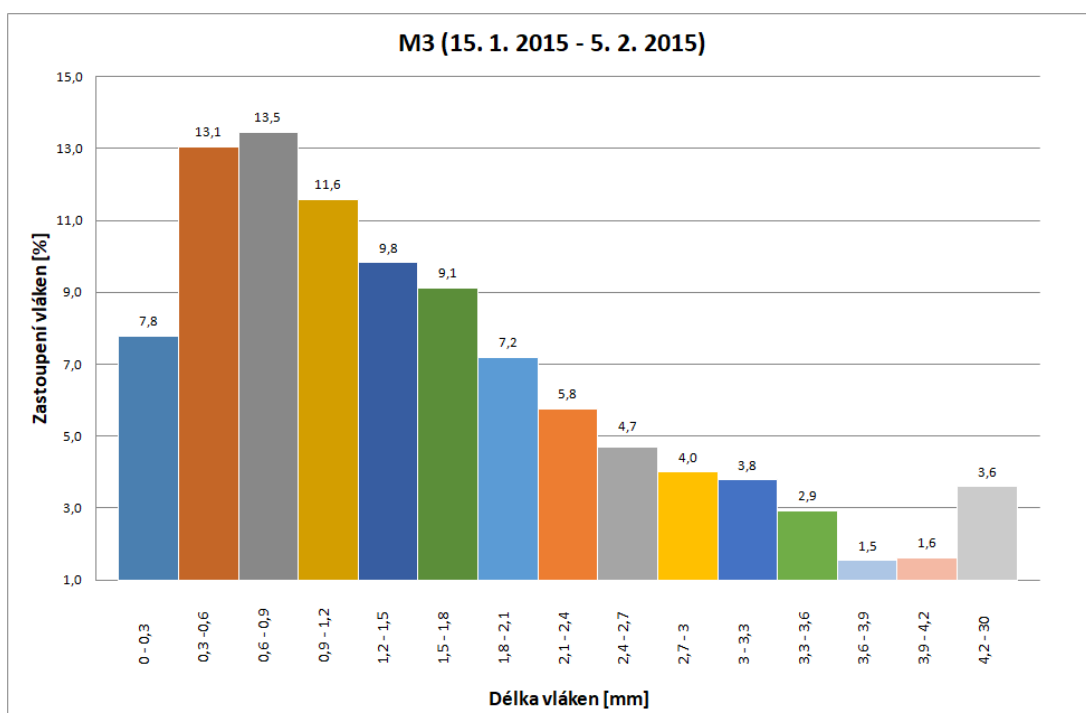
Segment A2 zobrazen na grafu č. 9 byl osazen 54 dní, ve dnech 16. 7. 2014 – 11. 9. 2014. I na tomto segmentu je vidět velké množství hrubého vlákna 7,1 %, což je téměř dvojnásobné množství než u A0. Prachové vlákno 0 – 0,3 mm dosahuje 5,4 %. Ostatní žádoucí frakce kolísají v čase, ale to nestačí pro dobrou kvalitu desek. Spotřeba elektrické energie byla do 160 kW/t. Segment se sice blížil vhodné doby provozu, ale opětovně měl vysoký podíl hrubého vlákna.



Graf 9 Průměr zastoupení vláken u segmentu A2 (16. 7. 2014 - 11. 9. 2014)

Zdroj: Vlastní zpracování

Délku vláken a jejich procentuální zastoupení zachycuje graf č. 10 v období 15. 1. 2015 – 5. 2. 2015. Nejvíce se referenčnímu segmentu A0 přiblížil právě tento segment M3, ale byl osazen pouze 21 dní, jelikož měl velkou spotřebu elektrické energie, a to více jak 160 kW/t. Nejvíce jsou zastoupena vlákna o délce 0,6 – 0,9 mm s hodnotou 13,5 %, což je pouze o 0,5 % méně než u segmentu A0. Zatímco hrubá vlákna vykazují nejnižší hodnotu 3,6 % ze všech typů segmentů, prachová část se vyskytuje ve značné míře, a to 7,8 %. Tento typ segmentu byl demontován z důvodu velké spotřeby elektrické energie už po 21 dnech.

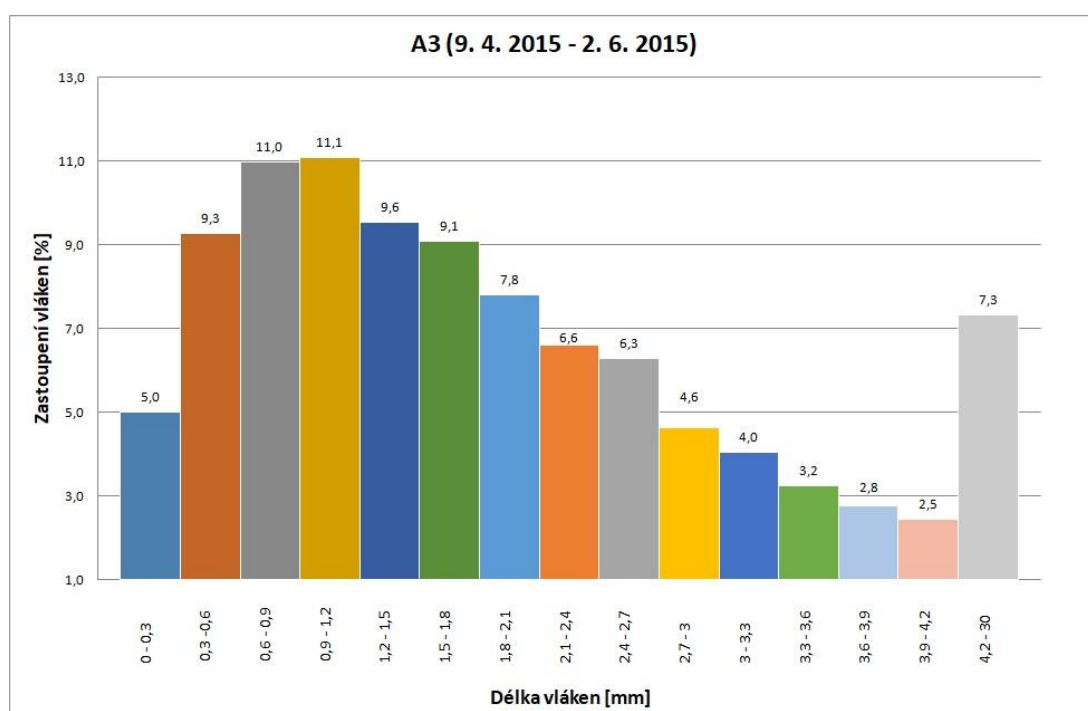


Graf 10 Průměr zastoupení vláken u segmentu M3 (15. 1. 2015 - 5. 2. 2015)

Zdroj: Vlastní zpracování

Období 9. 4. 2015 – 2. 6. 2015 přibližuje graf č. 11 s typem segmentu A3. Celkově byl v provozu 53 dní. Podíl prachového vlákna 5 % je menší než u segmentu A0. Hrubé vlákno dosahuje vysokých hodnot - 7,3 %. Ostatní vlákna se mění v čase s nejvyšší hodnotou 11,1 % u délky vlákna 0,9 – 1,2 mm. Spotřeba energie se pohybovala do 160 kW/t. Segment byl demontován z důvodu velkého množství hrubého vlákna.

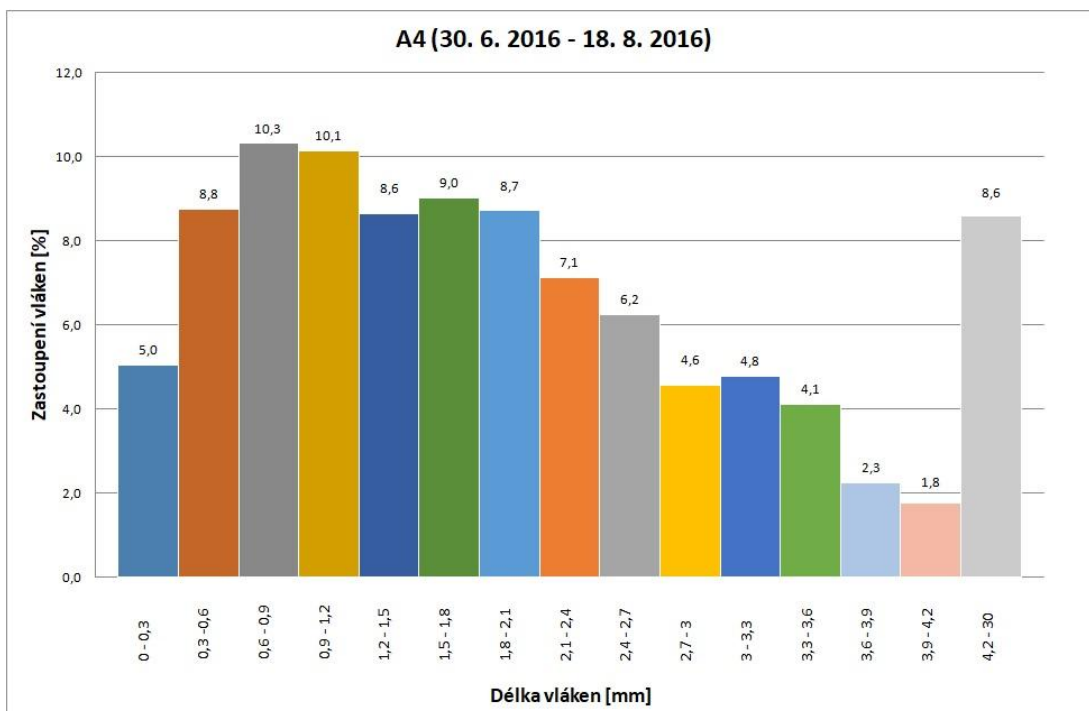
Tento segment vykazoval v tomto období dobrou spotřebu energie, ale v už půlce své životnosti vyráběl vlákna s velkým podílem hrubé frakce. Ke konci své životnosti se hrubá vlákna snížila, ale i tak byl průměr vláken vysoký a nevyhovující.



Graf 11 Průměr zastoupení vláken u segmentu A3 (9. 4. 2015 - 2. 6. 2015)

Zdroj: Vlastní zpracování

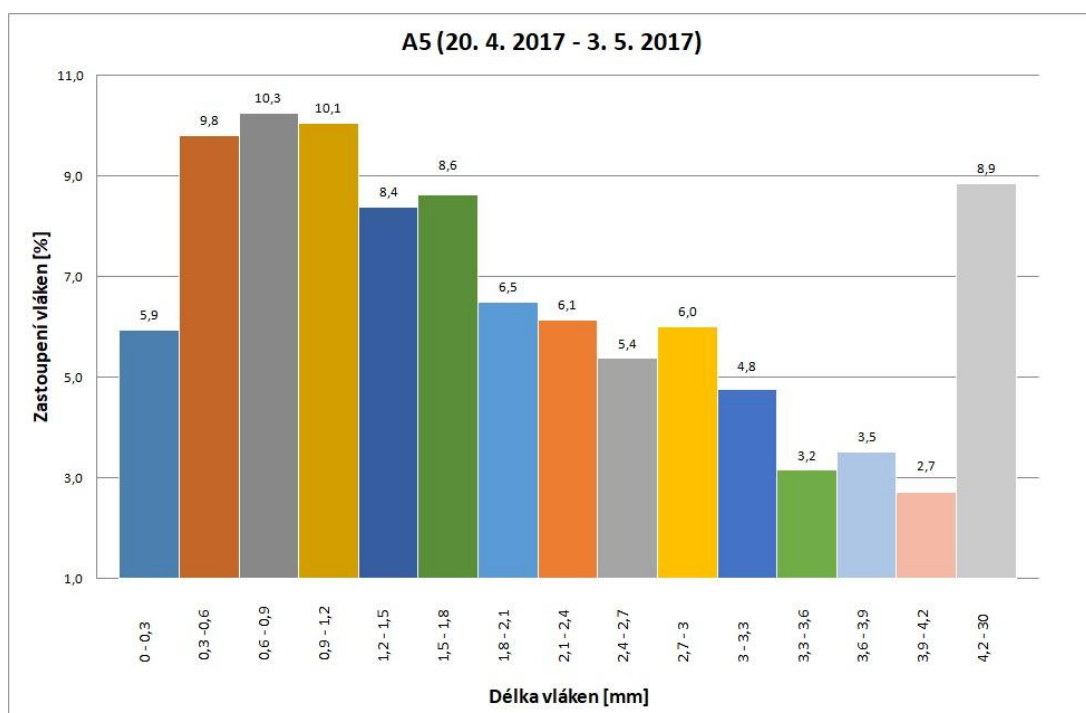
Časové období od 30. 6. 2016 do 18. 8. 2016 vyobrazuje graf č. 12 s typem segmentu A4. Na grafu je jasně vidět velký nárůst hrubého vlákna, a to až 8,6 %. To je velký rozdíl oproti 3,7 % u typu A0. Nejvyšší podíl vláken bylo v rozmezí 0,6 – 0,9 mm s hodnotou 10,3 %. Ke konci své životnosti vykazoval segment spotřebu energie lehce nad 160 kW/t. Segment byl demontován po 46 dnech z důvodu příliš velkého množství nežádoucích hrubých vláken, která se objevovala po celou dobu chodu segmentu.



Graf 12 Průměr zastoupení vláken u segmentu A4 (30. 6. 2016 - 18. 8. 2016)

Zdroj: Vlastní zpracování

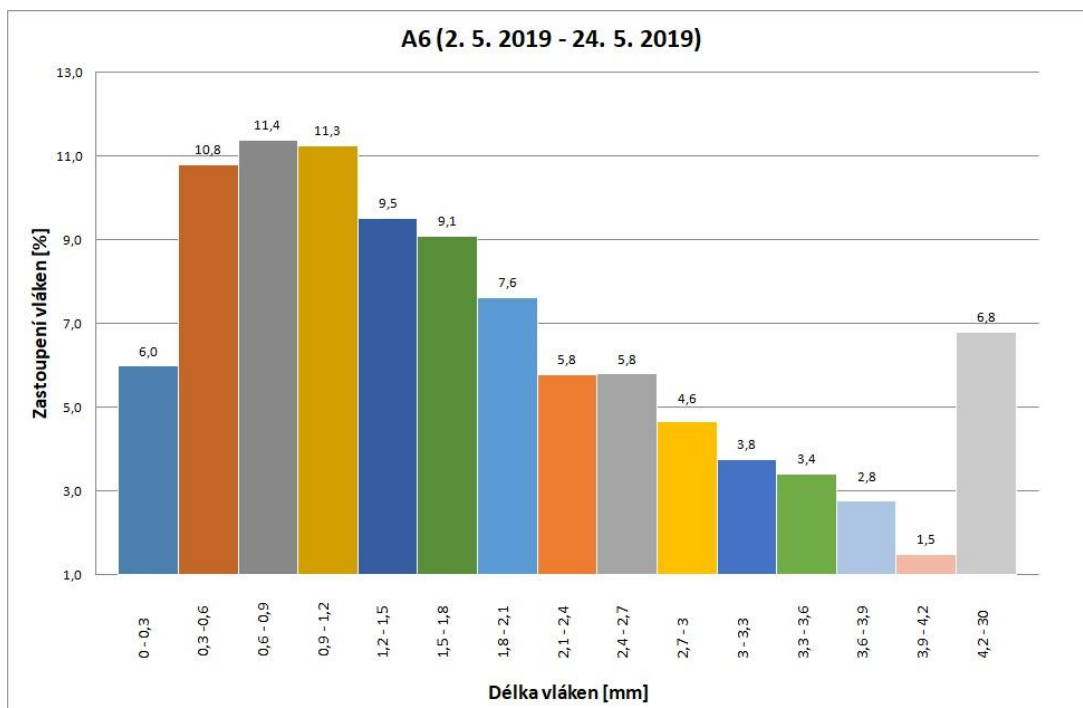
Celý graf č. 13 znázorňuje průměr vláken u segmentu A5 za sledované období 20. 4. 2017 – 3. 5. 2017. Byl osazen pouhých 13 dní, jelikož už na začátku odebraného vzorku měl tento segment příliš stoupající tendenci hrubého vlákna, která ani po pár dnech neklesla, ale spíš stoupla, a velmi vysokou spotřebu elektrické energie nad 160 kW/t. Nejvíce procent má vlákno o délce 0,6 – 0,9 mm, a to 10,3 %. Prachové vlákno je nižší o 0,4 % než u A0. Frakce 4,2 – 30 mm má nejvyšší zastoupení vláken ze všech druhů segmentů, a to 8,9 %, a proto byl segment velmi brzy vyměněn.



Graf 13 Průměr zastoupení vláken u segmentu A5 (20. 4. 2017 - 3. 5. 2017)

Zdroj: Vlastní zpracování

Úsek období od 2. 5. 2019 do 24. 5. 2019 znázorňuje graf č. 14. Segment A6 byl v provozu 21 dní. Jemná frakce vláken dosahuje 6 % a hrubá vlákna 6,8 %. Tento segment spotřeboval hodně elektrické energie nad 160 kW/t a obsahoval velké procento hrubých vláken, což byl hlavní důvod předčasného demontování a výměny nového segmentu za jiný.



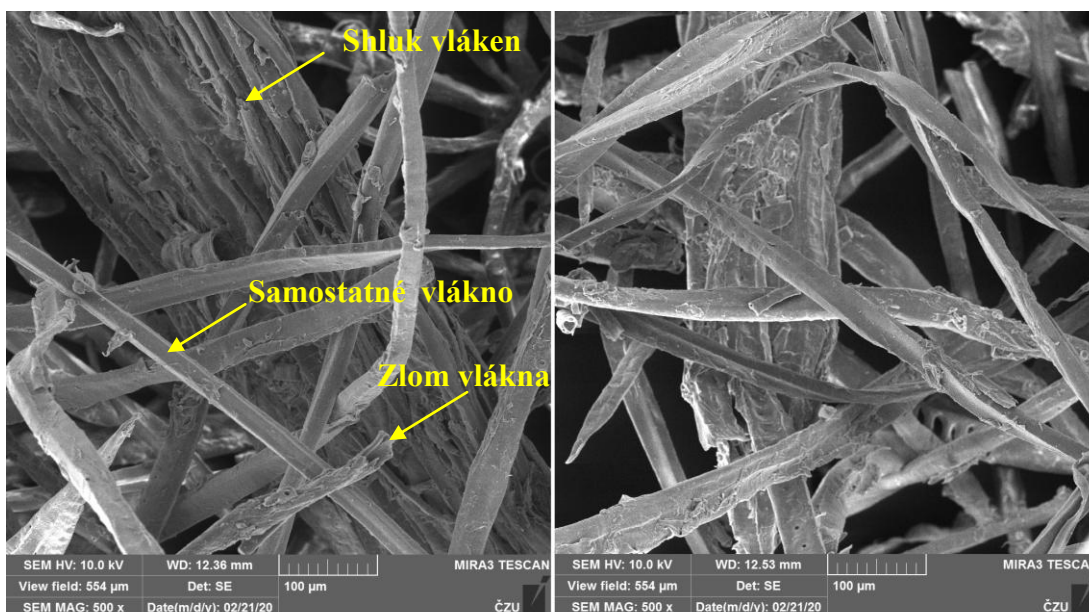
Graf 14 Průměr zastoupení vláken u segmentu A6 (2. 5. 2019 - 24. 5. 2019)

Zdroj: Vlastní zpracování

Struktura vláken

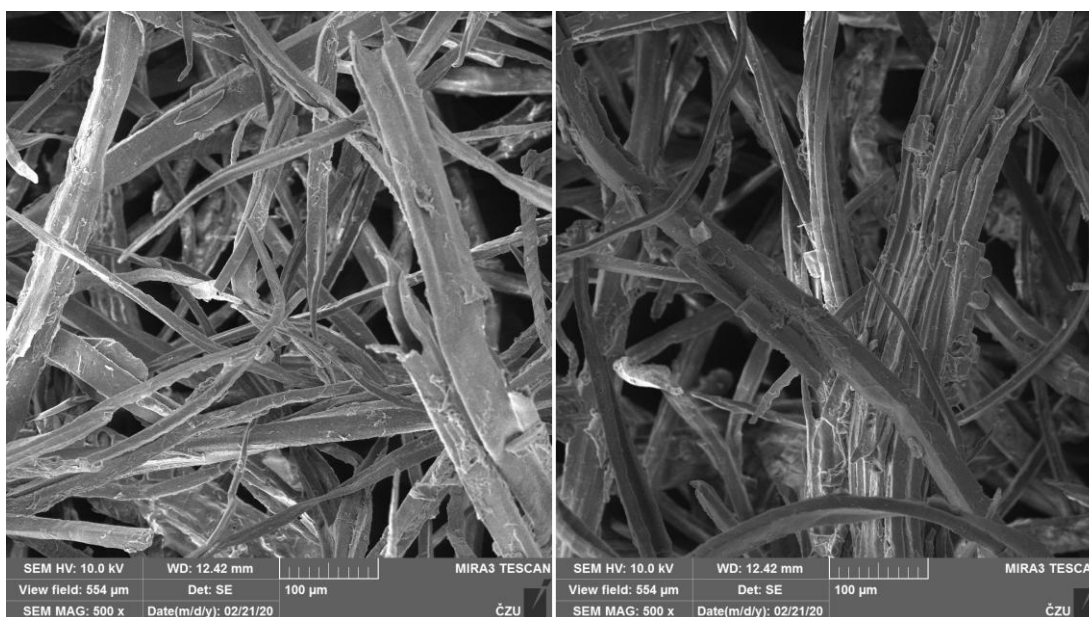
V této podkapitole je možné vidět snímky elektronovým mikroskopem dřevních vláken vyrobené segmenty od výrobce Andritz a Metso. Tímto způsobem bylo možno do detailu zjistit, zda je nějaký viditelný rozdíl mezi vláknem na začátku výroby a vláknem na konci výroby. Také bylo možno porovnat, jaký je rozdíl mezi segmentem A0 a M3. Segment A0, který se jeví pro výrobu vláken jako nejvhodnější, neukazuje tak rozdílné snímky se segmentem M3, který měl téměř totožné zastoupení vláken, ale byl demontován z důvodu vyšší spotřeby elektrické energie.

Každý typ segmentu má dva snímky, a to vlákna na začátku výroby a na konci výroby před demontováním nového segmentu.



Obr. 28 Snímky vláken A0 elektronovým mikroskopem na začátku a na konci výroby

Zdroj: Vlastní zpracování



Obr. 29 Snímky vláken M3 elektronovým mikroskopem na začátku a na konci výroby

Zdroj: Vlastní zpracování

Z uvedených snímků je patrné, že vliv segmentu (Andritz x Metso) ani vliv opotřebení (začátek výroby x konec výroby) na strukturu vyrobeného vlákna nelze pozorovat. U všech odebraných vzorků byly pozorovány shluky vláken i jednotlivá

vlákna. Při větším zvětšení nebyl pozorován ani vliv sledovaných faktorů na povrch vláken či na jejich zlom. Vliv segmentu a jeho stáří na strukturu vláken by byl pravděpodobně pozorovatelný až po delší době provozu daného segmentu. Z důvodu udržení kvality vyráběného vlákna však výrobce segmenty odstavuje včas.

3.7 Diskuze

Výsledkem této práce bylo zjistit nejvhodnější typ segmentu na výrobu MDF desek podle stanovených parametrů. Vlákna obsahovala 80 % smrkového a 20 % borového dřeva a byla běžným způsobem vyrobena. Každý segment vydržel jiný počet dní, měl jiný podíl jemné a hrubé frakce, která je nejvíce nežádoucí pro výrobu těchto desek a poslední parametr byla spotřeba elektrické energie jednotlivých segmentů. Tyto parametry byly jednotlivě vyhodnoceny a byly zjištěny následující výsledky.

Výše uvedené grafy, které ukazují procentuální zastoupení vláken u každého typu segmentu, přinesly očekávané výsledky. Už na první pohled bylo z tabulky č. 6 zřejmé, že nejvhodnější segment pro výrobu kvalitního vlákna může být A0 nebo M3. Jedním z předpokladů bylo poměrně stejné průměrné zastoupení vláken. Tento předpoklad byl však vyvrácen při pohledu na celkové dny v provozu daného mlecího disku a na spotřebu elektrické energie. Segment A0 vykazoval podíl hrubé frakce 3,7 %, zatímco segment M3 - 3,6 %. Tato hodnota byla ovšem zavádějící. U obou typů byla téměř stejná hodnota délky vlákna 0,6 – 0,9 mm a to u A0 - 14 % a u M3 - 13,5 %. Za povšimnutí stojí typ M3, který ukazoval podíl jemné frakce 0 – 0,3 mm 7,8 % a typ A0 o něco méně 6,3 %. Po srovnání s ostatními segmenty, vykazují nejvyšší podíl jemné frakce právě tyto dva segmenty. Oba segmenty jinak mají klesající tendenci od jemné frakce vláken 0,6 – 0,9 mm do frakce 3,9 – 4,2 mm. Hrubá frakce 4,2 – 30 mm vždy mírně stoupne. Z hlediska počtu dní v provozu je velký rozdíl. Typ A0 vydržel při dobré spotřebě energie do 160 kW/t 59 dní, zatímco typ M3 pouhých 21 dní. Ten byl demontován z důvodu velké spotřeby energie, a to více jak 160 kW/t. Kdyby se tam typ M3 nechal více dní, spotřeba energie by byla absurdní a také by se vyrobilo vlákno horší kvality. Proto byl z tohoto důvodu demontován a vyměněn a typ A0 zvolen jako nejvhodnější. U segmentu A1, A2, A3, A4, A5, A6, M1, M2 se naměřila hrubá frakce 4,2 – 30 mm téměř dvojnásobného množství od segmentu A0 a M3. U segmentu A1 je průměrná hodnota 8,7 %, u A2 - 7,1 %, u A3 - 7,3 %, u A4 - 8,6 %, u A5 - 8,9 %

a u A6 – 6,8 %. Typ M1 má 6,3 % a typ M2 – 5,8 % podíl hrubého vlákna. Když nekoukáme na počet dnů v chodu, takhle vysoká hodnota je pro výrobu kvalitních MDF desek nepřípustná. Jemná frakce je u těchto typů naopak zase menší než u typu segmentu A0 a M3, a to u A1 – 3,6 %, u A2 – 5,4 %, u A3 – 5 %, u A4 5 %, u A5 – 5,9 % a u A6 – 6 %. Téměř totožnou má tuto hodnotu segment M1 – 5,7 % se segmentem M2 – 5,8 %. Segmenty A2, A3 a A6 mají relativně od délky vlákna 0,6 – 0,9 mm klesající pravidelnou hodnotu až na podíl hrubého vlákna, která vždy velice stoupne. Segment A1, A4, A5 má hodnoty různě klesající a rostoucí. Nejkratší dobu ze všech segmentů vydržel typ A5 a to pouhých 13 dní od zavedení segmentu do výroby. Spotřeboval více jak 160 kW/t. Tento segment vykazoval, jak nejvyšší hodnotu hrubého vlákna, tak druhou nejhorší hodnotu jemného vlákna. Už ve 3. dni odběru vzorku vlákna měl tak vysokou hodnotu hrubého vlákna a větší spotřebu energie než je dovoleno. Nebylo možné tento typ nechat v oběhu delší dobu, a tak byl demontován. Je ale pravda, že segment potřebuje určitý čas na stabilizaci, ale i po odebrání vzorku skoro na konci své životnosti vykazoval shodné hodnoty. Typ A1 byl v provozu 20 dní. Tento typ měl druhou nejvyšší hodnotu hrubé frakce už od 4. dne, kdy byl segment v provozu a za celou dobu životnosti se téměř hodnota neměnila. Elektrická energie byla nad 160 kW/t, a to byl hlavní důvod vyřazení segmentu z výroby. Segment A6 zůstal v oběhu 21 dní v období 2. 5. 2019 – 24. 5. 2019. Spotřeba elektrické energie byla nad 160 kW/t. Hodnota hrubé frakce se už po třetím dnu začala zvyšovat a už neklesla, a tak byl segment vyměněn zpět na segment A0, který byl osazen v období 1. 3. 2019 – 2. 5. 2019 a jeví se jako nejvhodnější. Segment A4 na tom byl o něco hůř, než segment A3. Výsledky sice ukázaly stejnou průměrnou hodnotu jemné frakce 0 - 0,3 mm 5 %, ale segment A4 měl třetí nejvyšší hodnotu hrubé frakce 8,6 %. Segment A3 byl v oběhu sice o 7 dní déle, i přesto nevykazoval tak dobré hodnoty frakcí vláken. Hodnoty délek hrubé frakce (4,2 – 30 mm) byly sice menší, ale stále nevyhovující - 7,3 %. Oba segmenty ale měly dobrou spotřebu elektrické energie do 160 kW/t. Typ segmentu A2 byl v oběhu 54 dní a spotřeboval energii do 160 kW/t. Nicméně měl vyšší zastoupení hrubé frakce 7,1 %. Tato hodnota se více méně srovnává s typem segmentu A3. Typ M1 má podíl hrubé frakce 6,3 % a typ M2 5,8 %. Tyto dva druhy rozvláknovacích segmentů mají nejčastěji zastoupenou frakci vlákna (0,6 – 0,9 mm) nižší, než ostatní typy segmentů. Typ M1 byl v oběhu 62 dní, což je nejvíce ze všech druhů segmentů, které byly měřeny, měl dobrou spotřebu elektrické

energie do 160 kW/t. Výrobce MDF desek sice požaduje, aby měl segment optimální životnost okolo 60- ti dnů, ale musí zároveň splňovat požadavky minimální procentuální zastoupení jemné i hrubé frakce. Segment M1 splňuje pouze dny v provozu, ale další parametry jsou nedostačující. Segment M2 byl v oběhu 21 dní, stejně jako segment M3. Na rozdíl od segmentu M3 má M2 menší zastoupení jemné frakce, ale i nižší celkové procentuální zastoupení všech vláken, kromě hrubé frakce, která je dosti vysoká a vysoká byla i spotřeba energie, a to nad 160 kW/t.

Z výsledků se potvrdilo, to co se očekávalo. Jako nejvhodnější segment pro výrobu MDF desky se jednoznačně prokázal segment A0, který byl v oběhu 59 dní při dobré spotřebě energie do 160 kW/t. Po celou dobu chodu měl přípustné hodnoty hrubé frakce, a to pouhých 3,7 %. Je velmi důležité, aby hrubé vlákno bylo v desce minimálně zastoupeno, jelikož je nežádoucí pro následnou výrobu. Hrubá vlákna by při konečné úpravě broušením zhoršovaly kvalitu povrchu a při povrchové úpravě mokrým způsobem by měly schopnost nabobtnat, a tím by se zvýšily náklady na další postupy technologických operací pro výrobu. Jemná frakce je také nežádoucí, jelikož se spotřebuje více lepicí směsi při zachování mechanicko-fyzikálních vlastností MDF desky. Menší podíl hrubé frakce má sice segment M3, ale ten byl demontován z důvodu velké spotřeby energie už po 21 dnech. Nejnižší zastoupení jemné frakce měl segment A1, a to 3,6 %, ale ten byl v oběhu také pouze 20 dní a byl demontován z důvodu velkého množství hrubých vláken a velké spotřeby energie nad 160 kW/t. Proto byl zvolen za nejvhodnější segment A0.

(Lampert, 1996) uvádí ve své knize, že jsou pro výrobu MDF desek výhodná krátká, hladká a tenká vlákna, ale nezmiňuje jaká délka vlákna je pro výrobu nejvhodnější.

(Gao a kol. 2019) ve svém článku uvádí, že vlákna o velikosti od 20 do 120 - ti ok síta považuje za kvalifikovaná vlákna. Vlákna menší než 120 ok jsou příliš malá a spotřebovávají nadměrnou energii. Testy mu ukázaly, že malé částice (>200 ok) negativně ovlivňovaly kvalitu desky, což je možné posoudit na základě pravděpodobnosti, že se velké množství ligninu během rafinace rozpadlo na malé částice. Proto zvolil, aby velikost vláken nebyla příliš malá pro výrobu desek. Přepočít mezi těmito jednotkami (které, jsou založené na jiné metodě) zatím není známo.

Do budoucna by bylo vhodné stanovit nějaký přepočít, aby se zjistila nejvhodnější délka vláken pro výrobu.

(Hupka, 2011) ve své bakalářské práci stanovil kvalitu vlákna pomocí síťové analýzy, kdy se vlákno dělí do frakcí na vibračním třídíči. Použil síta o různé velikosti ok 2; 1; 0,5; 0,25; 0,16; 0,08; 0 mm. Sledoval na všech vzorcích také procentuální podíl hrubé a jemné frakce vlákna. Zjistil, že se podíl hrubé frakce v průběhu výroby snižuje, a to od 56 h výroby a podíl jemné frakce zvyšuje od 56 – 104 hodin. Podíl střední frakce zůstává na stejné úrovni vyskytující se na sítích 0,25 a 0,5 mm.

Autor upozoroval, že se podíl hrubých vláken snižuje cca po 2,5 dnech segmentu v provozu. Je pravděpodobné, že to má za následek samotné stabilizování segmentu, které může trvat někdy až 48 hodin. V této době mohou být hodnoty jiné, než v jiný den odběru.

Také ve své diplomové práci (Hupka, 2013) porovnával různé typy segmentů pro výrobu desek MDF. Zjistil rozdílnou kvalitu vlákna vyráběného na jednotlivých typech rozvláknovacích segmentů a určil segment A jako nejvhodnější. Tento segment nevykazoval na sítích 2 a 1 mm velký podíl hrubé frakce jako segmenty B a C, kde zjistil vyšší podíl hrubé frakce. Střední hodnoty na sítích 0,5 a 0,25 mm byly i o něco vyšší než u ostatních segmentů, což je pro výrobu požadováno. Podíl jemné frakce na sítích 0,16 mm a méně byl srovnatelný s dalšími segmenty.

Vlákna však měřil pomocí síťové analýzy, kde se především zjišťuje šířka vlákna, na rozdíl od měřicího přístroje FiberCam, kde se zjišťuje délka vlákna. Síťová analýza má maximálně 8 sít, ze kterých lze získat frakci vlákna. Je to nejčastěji používaná metoda, pro stanovení velikosti částic, a proto je i velice vhodná pro zjištění nejvhodnějšího segmentu pro výrobu. Vhodným experimentem by mohlo být stejné vzorky vlákna změřit jak na síťové analýze, tak na přístroji FiberCam. Tím by se docílilo přesnějších dat.

3.7.1 Závěrečné doporučení

Dílčím cílem bylo ověřit, zda metoda měření frakce vláken pomocí přístroje FiberCam je vhodná pro kvantifikaci rozdílů mezi jednotlivými typy segmentů. Pomocí tohoto přístroje se kvantifikovala frakce vláken všech vzorků a zjistilo se procentuální

zastoupení prachových částic 0 – 1,2 mm, žádoucí frakce 1,2 – 4,2 mm a hrubé frakce 4,2 – 30 mm.

Každý segment pro výrobu vlákna měl jinou specifickou geometrii, rozdíl v drážkování a úhlu broušení segmentu. Vzorky vlákna z výroby byly odebrány v časovém období 2013 – 2019 a dle jednotlivých parametrů (doba osazení, jemná frakce, hrubá frakce a spotřeba elektrické energie) se určil nejvhodnější segment.

Pro výrobu vlákna se z hlediska elektrické energie, doby osazení a malého obsahu hrubé frakce jako jednoznačně potvrdil segment A0, který byl osazen v období od 1. 3. 2019 – 2. 5. 2019, což je patrné v jednotlivých grafech. Zpracované diagramy nám ukazují velké výkyvy ve frakci 4,2 – 30 mm, a to je přesně to, co nám říká, že tato metoda je použitelná pro kvantifikaci rozdílů mezi jednotlivými typy segmentů od firmy Andritz a Metso.

Pro přehlednost jednotlivých segmentů byly vytvořeny tabulky, kde jsou zohledněny nejvíce ty, které měly dobu osazení nad 1200 mth (nad 160 kW/t). Dále byly zohledněny segmenty s nejmenším podílem hrubé frakce 4,2 – 30 mm a jemná frakce 0,0 – 0,3 mm.

Tab. 6 Přehled segmentů od výrobce Andritz a Metso

Zdroj: Vlastní zpracování

Druh segmentů	Celkové dny v provozu	Jemná frakce 0 - 0,3	Hrubá frakce 4,2 - 30	Spotřeba elektrické energie
M3 (15. 1. 2015 - 5. 2. 2015)	21	7,8	3,6	< 160 kW/t
A0 (1. 3. 2019 - 2. 5. 2019)	59	6,3	3,7	> 160 kW/t
M2 (17. 4. 2014 - 7. 5. 2014)	21	5,8	5,8	< 160 kW/t
M1 (3. 1. 2013 - 7. 3. 2013)	62	5,7	6,3	> 160 kW/t
A6 (2. 5. 2019 – 24. 5. 2019)	21	6,0	6,8	< 160 kW/t
A2 (16. 7. 2014 - 11. 9. 2014)	54	5,4	7,1	> 160 kW/t
A3 (9. 4. 2015 - 2. 6. 2015)	53	5,0	7,3	> 160 kW/t
A4 (30. 6. 2016 - 18. 8. 2016)	46	5,0	8,6	< 160 kW/t
A1 (7. 3. 2013 - 28. 3. 2013)	20	3,6	8,7	< 160 kW/t
A5 (20. 4. 2017 - 3. 5. 2017)	13	5,9	8,9	< 160 kW/t

V tabulce č. 7 jsou uvedeny všechny typy segmentů, které byly porovnány na základě 3 kritérií (doba osazení, jemná frakce, hrubá frakce a spotřeba elektrické

energie). Na první pohled se potvrdil nejvhodnější segment A0, který byl v oběhu 59 dní při dobré spotřebě energie a nízkým obsahem hrubého vlákna. Typ segmentu M3 nemohl být zvolen jako nejvhodnější z důvodu velké spotřeby energie a krátké doby osazení. Tento segment by sice vyráběl dobré vlákno, ale za vysokou cenu. Ostatní typy segmentů vykazují vyšší podíl hrubého vlákna, i když byly v provozu více či méně dní. Zároveň se u nich projevila vyšší i nižší spotřeba energie. Zatímco jemná frakce se ukázala u ostatních segmentů v menším procentuálním zastoupení, i přesto nebyly zvoleny za vhodné pro další výrobu.

Návrh nastavení parametrů zařízení FiberCam

V této práci byly zvoleny pro měření vláken konstantní rozestupy po 0,3 mm. Od 0 mm až do délky 30 mm, kdy už je vlákno považováno za hrubé a nevyhovující. Ve FiberCam lze nastavit i jiné hodnoty v rozsahu od 0 – 30 mm o max. 15- ti řádků. Každopádně jich může být i méně a hodnoty mohou být jakékoliv v tomto rozmezí.

Pro případné další měření vláken a zjištění rozdílů mezi různými segmenty by bylo dobré se zajímat více o jemnou a hrubou frakci. Pro výrobu by bylo přínosné zjistit i jiné rozestupy, kolik procent jemných a hrubých vláken vyrobí určitý typ rozvlákňovacího segmentu po opotřebení v určitých intervalech, dle zadaných menších rozestupů. Prachové částice by se mohly rozepsat na hodnoty od 0 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4; 0,4 – 0,5; 0,5 – 0,6; 0,6 – 0,7; 0,7 – 0,8; 0,8 – 0,9; 0,9 – 1 mm. Žádoucí frakce od 1 – 4 mm. Nežádoucí frakci od 4 – 4,1; 4,1 – 4,2; 4,2 – 10; 10 – 20; 20 – 30 mm.

Postup zjištění procentuálního zastoupení nežádoucích vláken by byl stejný jako u předchozích segmentů. Měření by se muselo opakovat dle popsaného postupu viz. kapitola 4.2.2. Metodika měření a zpracování dat.

5. Závěr

Dřevovláknité desky se střední hustotou (MDF) procházejí neustále svým vývojem a snahou tohoto materiálu je zužkovat na výrobu veškerý dřevní odpad. Výrobci se snaží zákazníkům pokaždé prodat stejnou kvalitu desky a to především závisí na mnoha faktorech. Nejdůležitější je kvalita vstupní suroviny, která se rozvláknuje na jednotlivá vlákna v defibrátoru a stejně tak je velmi důležité zvolit správný typ mlecích disků, aby vzniklo dobré vlákno hned po prvním rozvláknění za ekonomicky přijatelných nákladů.

Cílem této práce bylo stanovit vliv výrobních parametrů dřevních vláken určených pro výrobu MDF desek. Ze zjištěných dat a za pomoci vytvořených sloupcových grafů byly sledované parametry jako délka vláken a procentuální podíl jednotlivých frakcí vyhodnoceny u 7 segmentů od výrobce Andritz a u 3 segmentů od výrobce Metso. Tyto parametry byly posouzeny na měřicím přístroji FiberCam. Dále byla zohledněna spotřeba elektrické energie, hrubá a jemná frakce a doba osazení segmentu. Vzorčky vláken byly odebírány od roku 2013 – 2019 z důvodu zjištění nejvhodnějšího rozvláknovacího segmentu pro výrobu.

Výsledky jednoznačně ukázaly různé procentuální zastoupení vláken vyráběných na jednotlivých typech segmentů. Ty segmenty, které vykazovaly velký podíl hrubých vláken a velkou spotřebu elektrické energie, byly demontovány. Zatímco segmenty, které měly malou spotřebu elektrické energie do 160 kW/t, zůstaly déle v oběhu. A to byl segment A0, který vydržel v oběhu 59 dní při dobré spotřebě energie za přítomnosti malého podílu hrubých vláken 3,7 %.

Dílním cílem této práce bylo ověření, zda je metoda měření frakce vláken na měřicím přístroji FiberCam vhodná pro kvantifikaci rozdílů mezi jednotlivými typy segmentu. Díky FiberCam jsme schopni vidět rozdíly mezi jednotlivými segmenty a právě velké výkyvy ve frakci 4,2 – 30 mm, nám říkají, že je tato metoda použitelná pro kvantifikování rozdílů mezi jednotlivými typy segmentů.

Součástí práce bylo navrhnout nové parametry měřicího přístroje FiberCam, které jsou vhodné pro analýzu dřevního vlákna na výrobu MDF. Jelikož je nejdůležitější zohledňovat podíl jemné a hrubé frakce, tak se tyto délky rozepsaly na menší rozestupy, aby se zjistily přesnější hodnoty nežádoucích vláken u každého typu segmentu a předcházelo se špatné kvalitě v průřezu celé desky.

Přínosem této práce je bližší seznámení s technologickou výrobou, především defibrátorem, na kterém závisí kvalita vlákna a spotřeba elektrické energie.

V hledání nejvhodnějšího typu segmentu se stále pokračuje, je to proces, který nikdy nekončí. I tento segment A0 měl vyšší podíl jemné frakce, a to 6,3 %, ale z hlediska doby v provozu, elektrické energie a malého obsahu hrubého vlákna, byl zvolen jako nejvhodnější. Tato diplomová práce na téma „Vliv výrobních parametrů dřevních vláken na frakci vláken“ pomohla kvantifikovat kvalitu vlákna s ohledem na typ segmentů.

Seznam použitých zdrojů

ANSELL, Martin P. *Wood composites*. Waltham, MA: Elsevier, 2015. ISBN 9781782424542.

AYRILMIS, N., AKBULUT, T., and YURTTAS, E. (2017). "Effects of core layer fiber size and face-to-core layer ratio on the properties of three-layered fiberboard," *BioResources*. 12(4), 7964-7974.

BÖHM, M., - REISNER, J., - BOMBA, J.: *Materiály na bázi dřeva*: Vyd. Česká zemědělská univerzita, Fakulta Lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012. ISBN 97880-213-2251-6.

ČÍŽEK, J. *Vlastnosti a zpracování třískových a vláknitých desek*. 1. vyd., Praha: SNTL, 1985. 04-840-85 s. 351.

DEPPE, H. – J. a ERNST, K.: *Taschenbuch der Spansplattentechnik*. 3. Aufl. Stuttgart (1991).

DEPPE, H.J. – ERNST, K.: *MDF – Mitteldichte Faserplatte*. DRW – Verlag Weinbrenner GmbH u. Co, Leinfelden-Echterdingen, 1996, 200 s.

DEPPE, Hans-Joachim a ERNST Kurt. *Technologie der Spanplatten: ein Ratgeber für die Praxis*. Stuttgart: Holz-Zentralblatt, [1964].

EISNER, K.: *Technológia výroby konštrukčných veľkoplošných materiálov, časť II*. Technológia aglomerovaných materiálov, VŠLD, 1978, 218 s.

EISNER, Karel, OSTEN Miloš a HAVLÍČEK Vladimír. *Dřevo a plasty*. Praha: SNTL, 1983. 384 s.

ESKELINEN, E., HU, S. H., and MARTON, R. (1982), "Wood mechanics and mechanical pulping," *APPITA*. 36(1), 32-38.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. *Wood handbook – Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U. S. Department of

Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 508 p. (11–10) [online]. [cit. 2020-02-24].

GAO, Y., HUA, J., CHEN, G., CAI, L., JIA, N., and ZHU, L. (2019). "Bi-directional prediction of wood fiber production using the combination of improved particle swarm optimization and support vector machine," *BioResources*. 14(3), 7229-7246.

HALVARASSON Sören, *Manufacture of straw MDF and fibreboards*, Sundsvall 2010, ISBN 978-91-86073-86-2.

HUPKA, Pavel. *Analýza vlákna ve výrobě desek MDF*. 2011. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

HUPKA, Pavel. *Porovnání kvality vlákna na výrobu desky MDF vyráběného dvěma typy segmentů pomocí síťové analýzy*. 2013. Diplomová práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

HRÁZSKÝ, J., - KRÁL, P.: *Kompozitní materiály na bázi dřeva: Aglomerované materiály. Část I*. Vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2007. 253 s. ISBN 978-80-7375-034-3.

HRÁZSKÝ, J., - KRÁL, P.: *Kompozitní materiály na bázi dřeva: Aglomerované materiály: cvičení Část I*. Vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004. 130 s. ISBN 80-7157-751-0.

HRÁZSKÝ, Jaroslav a KRÁL Pavel. *Technologie výroby aglomerovaných materiálů*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000, 218 s. ISBN 80-7157-428-7.

HUA, J., CHEN, G., XU, D., and SHI, S. Q. (2012). "Impact of thermomechanical refining conditions on fiber quality and energy consumption by mill trial," *BioResources*. 7(2), 1919-1930.

JANÁK, Karel a KRÁL Pavel. *Technologie I: pro studijní obor Nábytkářství*. Praha: Informatorium, 2003. ISBN 80-7333-003-2.

KARTAL, S. N., and GREEN, F. (2003). "Decay and termite resistance of medium density fiberboard (MDF) made from different wood species," *International Biodeterioration & Biodegradation* 51(1), 29-35.

KENT, James A, BOMMARAJU Tilak V. and BARNICKI Scott D. *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology* [online]. 13rd ed. 2017. Cham: Springer International Publishing, 2017 [cit. 2020-02-06]. ISBN 978-3-319-52287-6.

KOLLMANN, Franz F. P., KUENZI, Edward W. and STAMM, Alfred J., *Principles of wood science and technology*. Berlin: Springer, 1975 [cit. 2020-02-06] ISBN 3-540-06467-2.

RAUNKJÆR Stubdrup Kristine, KARLIS Panagiotis, ROUDIER Serge, DELGADO Sancho Luis; *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Wood-based Panels*; EUR 27732; 2016. [cit. 2020-04-10] ISBN 978-92-79-54949-6.

KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Technologie pro 1. ročník SOU oborů zpracování dřeva*. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-74-3.

LAMPERT, Helmut. *Faserplatten: Rohstoffe, Herstellungsverfahren, Eigenschaften*. Leipzig: Fachbuchverlag, 1967, 456 s.

LAMPERT, Helmut: *Faserplatten. Rohstoffe, Herstellungsverfahren, Eigenschaften*. V EB Fachbuchverlag, Leipzig. 1966.

LI, J. G., PANG, S. S., and SCHARPF, E. W. (2007). "Modeling of thermal energy demand in MDF production," *Forest Products Journal* 57(9), 97-104.

MALONEY, Thomas M. *Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing*. Updated ed. San Francisco: Miller Freeman, c1993, 681 p. ISBN 0879302887.

MAŇAS, Ladislav a KOČARA František. *Stroje a zariadenia pre drevársky priemysel: učebný text pre 2., 3. a 4. ročník stredných priemyselných škôl drevárskych*. Bratislava: Alfa, 1981. Edícia strojárskej literatúry (Alfa).

MARTON, R., and ESKELINE, E. (1982). "Impact testing in the study of chip refining," TAPPI J. 65(12), 85-89.

MUZIKÁŘ, Zdeněk. *Materiály II: pro UO Truhlář*. Praha: Informatorium, 2008. ISBN 978-80-7333-061-3.

NOVOTNÝ, Milan. *Technologie III: dřevařská technologie pro 3. a 4. ročník SPŠ dřevařských: učebnice pro 3. a 4. ročník studijního oboru 33-31-6 Dřevařství*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.

PARK, Byung-Dae & KIM, Yoon & RIEDL, Bernard. (2001). *Effect of Wood-Fiber Characteristics on Medium Density Fiberboard (MDF) Performance*. Journal of the Korean Wood Science and Technology. 29.

PEÑA, S. V., ROJAS, I. M. (2006) *Tecnología de la madera (3ª edición)*. Artes Gráficas Cuesta, S.L., Madrid.

POŽGAJ A., CHOVANEC D., KURJATKO S., BABIAK M.: *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 1. vyd, Bratislava : Príroda a.s., 1993, 486 s., ISBN 80-07-00600-1.

POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava : Príroda a.s., 1997. 488 s. ISBN 80-07-00960-4.

RIVELA, Beatriz, Ma Teresa MOREIRA a Gumersindo FEIJOO. *Life cycle inventory of medium density fibreboard*. The International Journal of Life Cycle Assessment [online]. 2007, vol. 12, issue 3, s. 143–150 [cit. 2020-02-24].

ROWELL, Roger M. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005. s. 279-303.[cit. 2020-02-06]. ISBN 0-8493-1588-3.

SHI, J. L., ZHANG, S. Y., and RIEDL, B. (2006). "Multivariate modeling of MDF panel properties in relation to wood fiber characteristics," *Holzforschung*. 60(3), 285-293.

SHMULSKY, Rubin a P. JONES David. *Forest products and wood science: an introduction*. Seventh edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2019. 504 s. ISBN 9781119426370. [cit. 2020. 02. 10]

SUCHSLAND, Otto a WOODSON George E.. *Fiberboard manufacturing practices in the United States*. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, 1987. Agriculture handbook (United States. Department of Agriculture), no. 640.

ŠTEFKA, Vilém. *Kompozitné drevné materiály: Technológia aglomerovaných materiálov. Časť II*. 2. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2002. 205 s. ISBN 80-228-1136.

ŠTEFKA, Vilém. *Kompozitné drevné materiály: Technológia aglomerovaných materiálov. Časť II*. Vo Zvolene: Technická univerzita, 2007. ISBN 80-228-1705-8.

THOEMEN Heiko, IRLE Mark, SERNEK Milan. *Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists*. Brunel University Press 2010. ISBN 978-1-902316-82-6.

TSOUMIS, George T. *Science and technology of wood: structure, properties, utilization*. New York: Van Nostrand Reinhold, c1991. ISBN 0442239858.

U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Chapter 10: Wood Products Industry, Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, 6/2002 10.6.2-1* [cit. 2020. 02. 24].

UHLÍŘ, Alois, KAFKA Emanuel, KOUKAL Miroslav a NOVOTNÝ Milan. *Technológia II pre 3. ročník SPŠD študijného odboru nábytkárstvo*. vyd. Bratislava: Alfa, 1985. 253 s.

UHLÍŘ, Alois, KAFKA Emanuel a KOUKAL Jiří. *Technologie výroby nábytku I pro 2. ročník studijního oboru Nábytkářství*. 2. aktualiz. vyd. Praha: Informatorium, 1997. ISBN 80-86073-12-2.

VANĚŘAK, Jan a kolektiv. *Kokové a dřevěné materiály. Modul M01*. Brno 2006.

WANG, J., WANG, F., GAO, Z., ZHENG, M., and SUN, J. (2016). "Flame retardant medium-density fiberboard with expanded vermiculite," *BioResources*. 11(3), 6940-6947.

Podnikové zdroje

Dřevozpracující družstvo. *Interní dokumenty firmy*. [online]. Lukavec: Dřevozpracující družstvo., 2020 [cit. 2020-01-15].

Dřevozpracující družstvo. *Výroční zpráva 2018*. Lukavec: Dřevozpracující družstvo, 2019 [cit. 2020-03-10].

IMAL. FiberCam 100, Návod k použití a údržbě. Soubor: HVGLCZE0002, 2014

Technický manuál mikroskopu MIRA 3 FEG-SEM. Tescan, 2011

Internetové zdroje

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). [online]. ROME, 2016 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>>

Nábytkářský informační systém (NIS). *Aglomerované materiály* [online]. 2016 [cit. 2020-03-10] Dostupné z WWW: <<http://www.n-i-s.cz/cz/aglomerovane-materialy/page/190/>>

Česká zemědělská univerzita. Elektronová mikroskopie [online]. Praha : Česká zemědělská univerzita, [cit. 2020-03-17]. Dostupné z WWW: <<https://home.czu.cz/>>

Andritz [online] 2020. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z WWW: <<https://www.andritz.com/panelboard-en/frontend-system-panelboard> >

Technické normy

ČSN EN 316 Vlákenné desky. Definice, klasifikace a značky. Český normalizační institut 1985, 2020

ČSN EN 622 – 1 Vlákenné desky – Požadavky- Část 1: Všeobecné požadavky, 2020

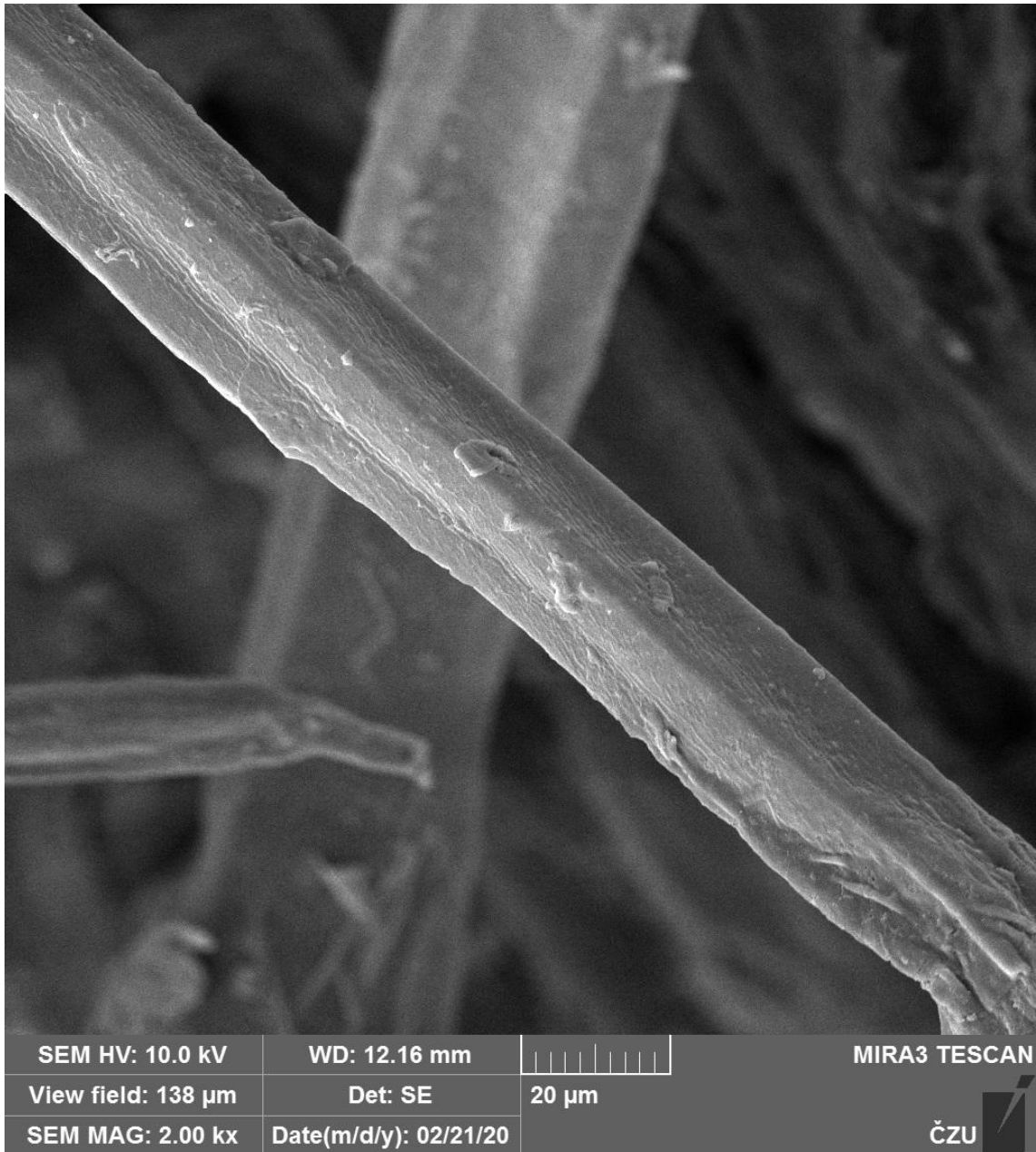
ČSN EN 622 – 5 Vlákenné desky – Požadavky- Část 5: Požadavky na desky vyrobené suchým způsobem (MFD) definované v ČSN EN 316, 2020

Seznam příloh

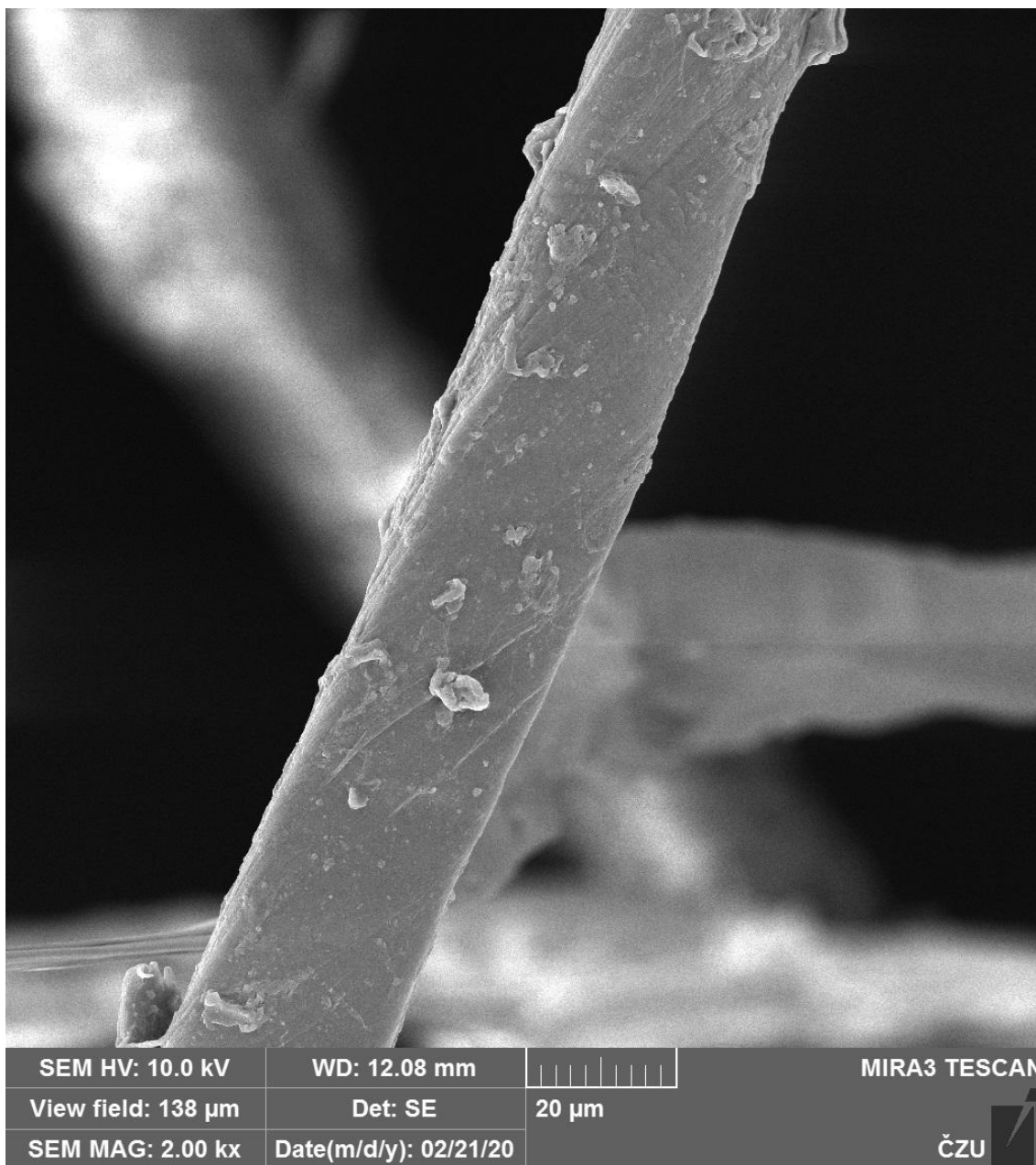
- Příloha A: CD médium – diplomová práce v elektronické podobě, přílohy v elektronické podobě
- Příloha B: Snímky elektronovým mikroskopem
- Příloha C: Souhrnný sumarizující 2D graf všech typů segmentů

Příloha B: Snímky elektronovým mikroskopem

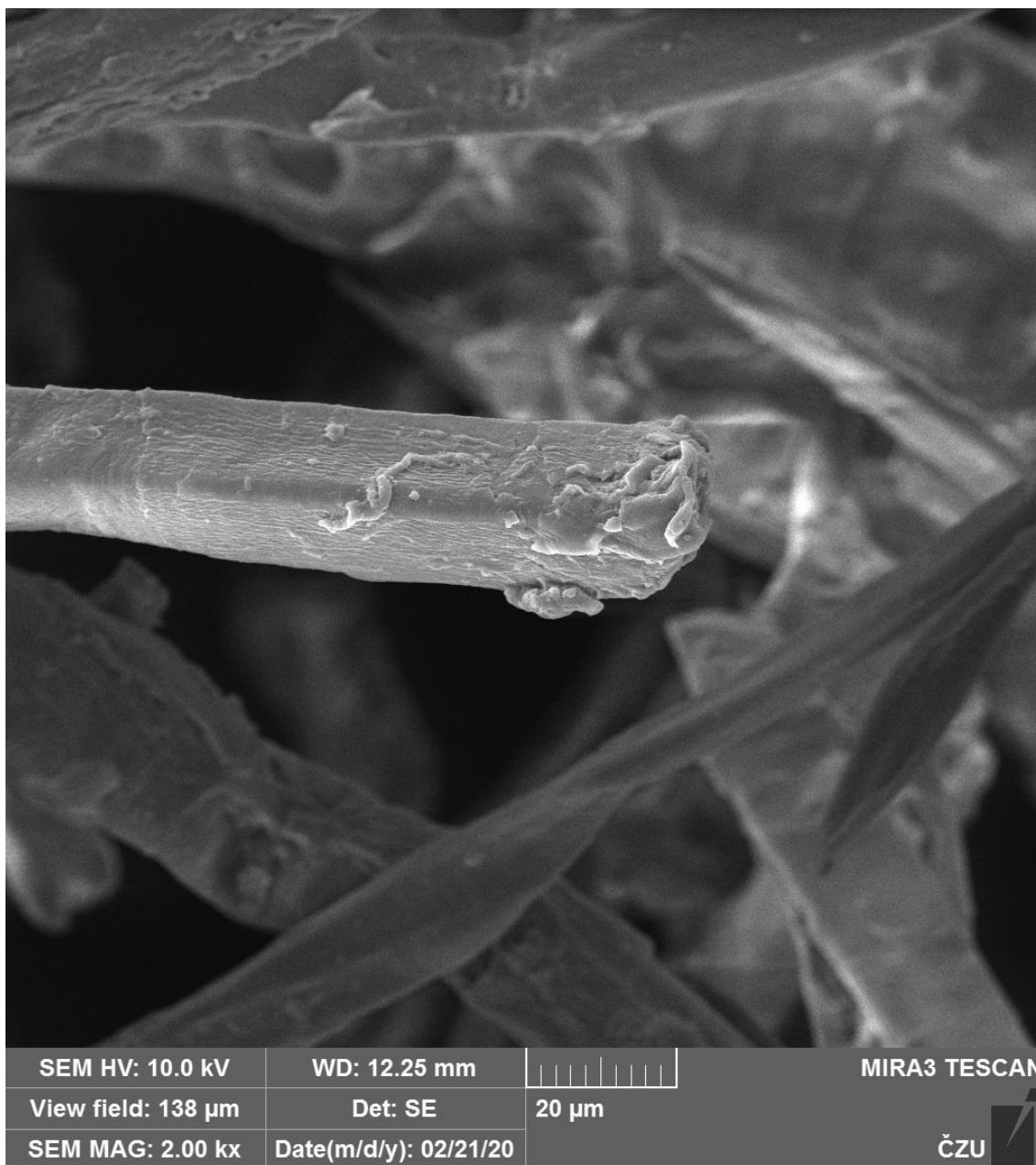
Snímek vlákna od výrobce Andritz A0 na začátku výroby (1. 3. 2019)



Snímek vlákna od výrobce Andritz A0 na konci výroby (29. 4. 2019)



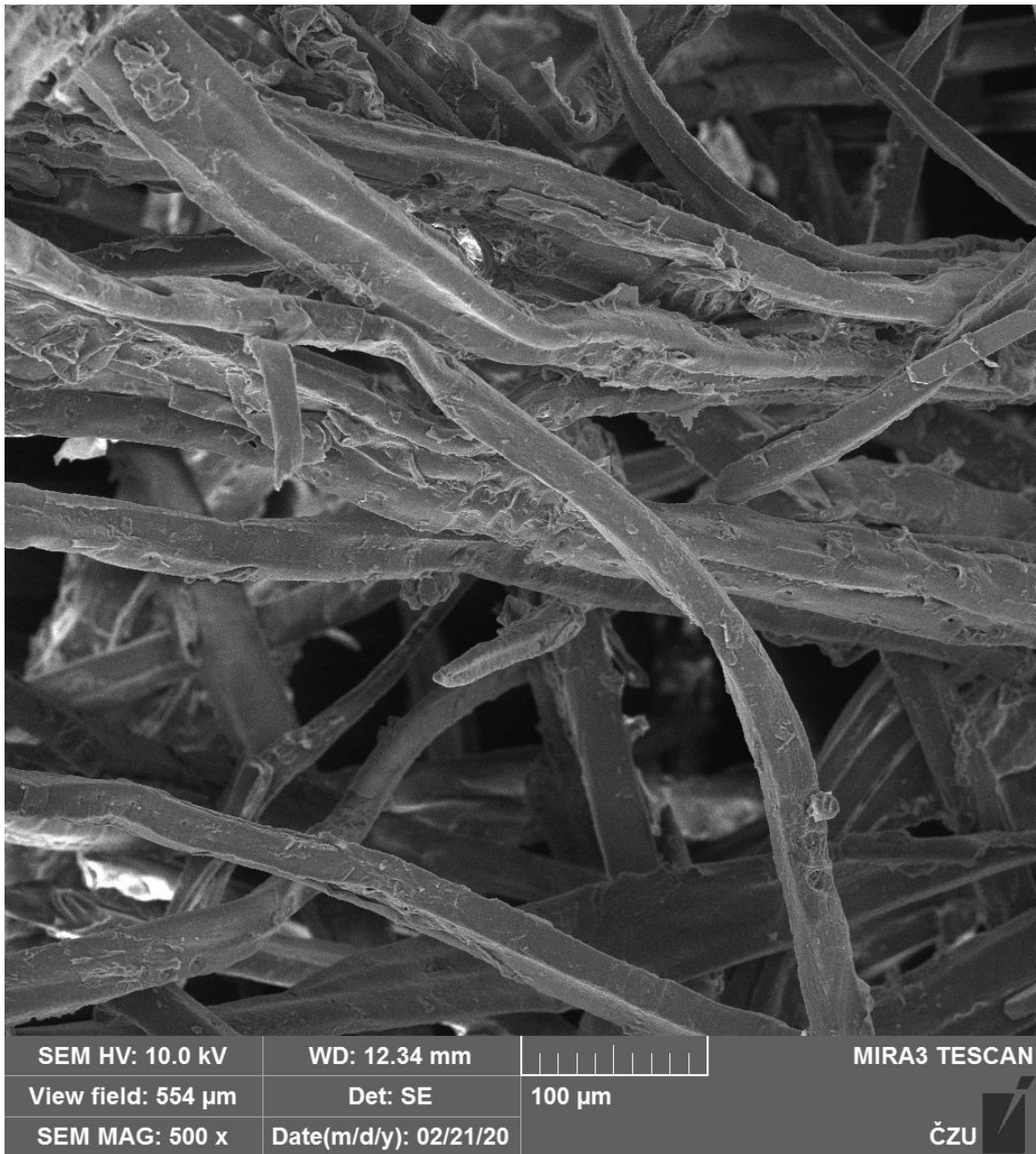
Snímek vlákna od výrobce Metso M3 na začátku výroby (15. 1. 2015)



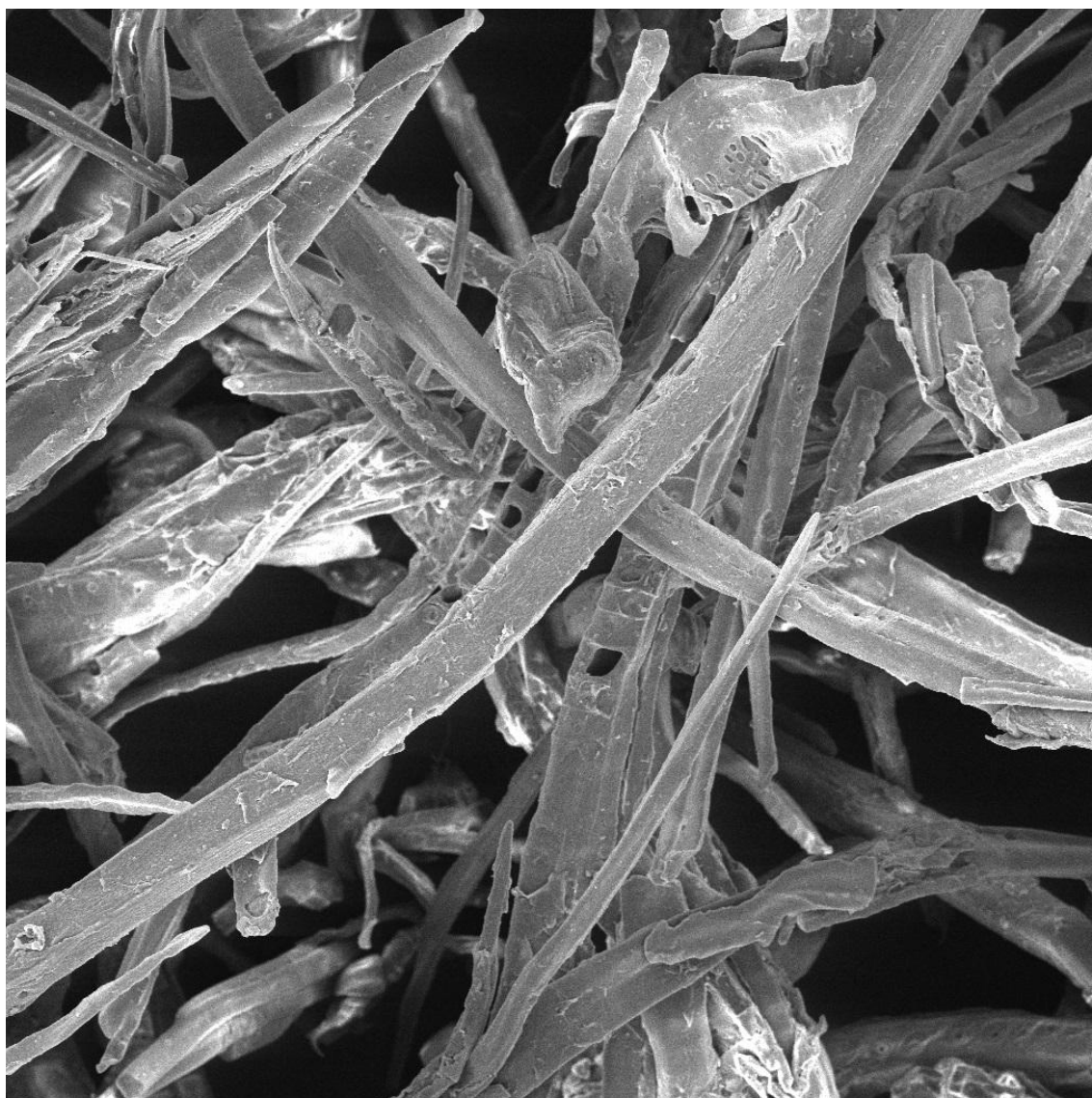
Snímek vlákna od výrobce Metso M3 na konci výroby (4. 2. 2015)



Snímek vlákna 100 % borovice (24. 6. 2011)



Snímek vlákna po bělení (15. 4. 2010)



SEM HV: 10.0 kV	WD: 13.00 mm		MIRA3 TESCAN
View field: 554 μm	Det: SE	100 μm	
SEM MAG: 500 x	Date(m/d/y): 02/21/20		ČZU 

Příloha C: Souhrnný sumarizující 2D graf všech typů segmentů

