

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



Opotřebení kotouče při řezání DTD

Bakalářská práce

Autor: Július Sztolárik

Vedoucí práce: doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Július Sztolárik

Dřevařství

Dřevařství

Název práce

Opotřebení kotouče při řezání DTD

Název anglicky

Disc wear during DTD cutting

Cíle práce

Hlavním cílem práce je charakteristika procesu obrábění kotoučovými pilami a zhodnocení opotřebení pilového kotouče při obrábění velkoplošných desek. Zaměříme se na řezání konkrétních velkoplošných desek při použití nástroje od různých výrobců.

Metodika

Popsat opotřebení kotouče při řezání surových dřevotřískových desek a dřevotřískových desek laminovaných. Popis a charakteristika pilového nástroje a přiblížení konkrétních typů kotoučů použitých v práci. Charakteristika a rozdělení velkoplošných desek.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stránek

Klíčová slova

kvalita povrchu, DTD, materiál na bázi dřeva

Doporučené zdroje informací

BARCÍK, Š., KVIETKOVÁ, M., BOMBA, J., SIKLIENKA, M. Dřevoobráběcí nástroje – údržba a provozování. Powerprint Praha. 2013. 355 s., ISBN 978-80-87415-80-1.

KVIETKOVÁ, M. Obrábění dřeva. CARTER Praha. 2015. 295 s., ISBN 978-80-213-2604-0.

MATOVIČ, A. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva. Br-no: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1993. 212 s. ISBN 80-7157-068-9.

OVERBY, A. CNC Machining. Building, Programming, and Implementation. 1st ed. New York: McGraw-Hill Professional Publishing. 2010. 272s., ISBN 0071623019.

PESCHEL, P. a kol. Dřevařská příručka. Český překlad 1. něm. vyd. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-85920-84-0.

SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, M. SEDLECKÝ, M. Stroje a zařízení pro zpracování dřeva I. CARTER Praha. 2019. 98 s., ISBN 978-80-213-2982-9.

ŠTEFKA, V. Kompozitné drevné materiály, Část 2. Zvolen: TU, 2002. 205 s. ISBN 80-228-1136-X.

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Opotřebení kotouče při řezání DTD vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Moniky Sarvašové Kvietkové, PhD. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č.111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne:

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Monice Sarvašové Kvietkové PhD za pomoc, odborné rady a cenné informace při vedení práce.

Dále bych rád poděkoval kolektivu LZB FLD ČZU. Velký dík patří také mé rodině a přátelům za jejich podporu a pomoc.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá analýzou vlivu povrchové úpravy laminováním dřevotřískových desek na opotřebování pilového kotouče.

Rešeršní část je zaměřena na proces řezání, popis kotoučových pil a jejich příslušenství, na popis pilových kotoučů, materiálů pro výrobu nástrojů, jejich údržbu a proces opotřebování. Současně se dotkne problematiky materiálů na bázi dřeva, především dřevotřískových desek.

Praktická část řeší postupné opotřebování a trvanlivost pilových kotoučů v závislosti na odštěpování laminace na vyhotovených vzorcích. Pokračuje jejich vyhodnocením pomocí digitálního měřicího systému.

Ze zjištěných hodnot vyplývá, že povrchová úprava laminováním výrazně ovlivňuje opotřebování pilových kotoučů při řezání. Dále byly zjištěny značné rozdíly v trvanlivosti sledovaných nástrojů.

Klíčová slova: kvalita povrchu, DTD, materiál na bázi dřeva

Abstract

The bachelor thesis deals with the analysis of the impact of surface treatment by lamination of chipboard on the wear of the saw blade.

The research part is focused on the cutting process, the description of circular saw, their accessories, the description of saw blades, materials for production of tools and on their maintenance. At the same time, it touches on the issue of wood-based materials, especially chipboards.

The practical part solves the sequential wear and durability of saw blades depending on the splitting on the lamination on the prepared samples. It continues with their evaluation using a digital measuring system.

The obtained values show that the surface treatment by lamination considerably affects the wear of the saw blades during cutting. Furthermore, there were found significant differences in the durability of the monitored tools.

Key words: surface quality, chipboard, wood-based materials

Obsah

1 Úvod.....	9
2 Cíl práce.....	10
3 Kotoučové pily.....	11
3.1 Zkracovací kotoučové pily	12
3.2 Rozmítací kotoučové pily	12
3.3 Omítací kotoučové pily	13
3.4 Stolní kotoučové pily	13
3.5 Horizontální formátovací pily	14
3.6 Vertikální formátovací pily	15
3.7 CNC nářezová centra	15
4 Pilové kotouče.....	16
4.1 Geometrie PK.....	17
4.2 Materiály na výrobu PK	20
4.2.1 Nástrojové oceli.....	20
4.2.2 Rychlořezné oceli	20
4.2.3 Slinuté karbidy.....	20
4.2.4 Stelity.....	21
4.2.5 Keramické materiály	21
4.3 Opatření řezného klínu	22
4.4 Údržba pilových kotoučů	23
5 Dřevotřískové desky	25
5.1 Složení DTD.....	27
5.2 Laminované DTD.....	29
6 Metodika	30
6.1 Použité materiály.....	30
6.2 Použité nástroje	31
6.3 Použité stroje a přístroje.....	34
6.3.1 Formátovací pila.....	34
6.3.2 Ostřicí automat	35
6.3.3 Digitální měřicí systém IM-7500	36
7 Výsledky a diskuze	38
8 Závěr	48
9 Zdroje.....	49

Seznam tabulek

Tabulka 1 Geometrie zubů s SK plátky	21
Tabulka 2 Výsledky odštípnutí PK Dimar – DTD surová	39
Tabulka 3 Výsledky odštípnutí PK Dimar – DTD laminovaná	40
Tabulka 4 Výsledky odštípnutí PK Kanefusa – DTD surová	41
Tabulka 5 Výsledky odštípnutí PK Kanefusa – DTD laminovaná	42
Tabulka 6 Výsledky odštípnutí PK Pilana – DTD surová	43
Tabulka 7 Výsledky odštípnutí PK Pilana – DTD laminovaná	44
Tabulka 8 Výsledky trvanlivosti pilových kotoučů	45

Seznam obrázků

Obrázek 1 Zkracovací pokosová pila Bosch PCM 8S	12
Obrázek 2 Dvouhřídelová rozmítací KP	12
Obrázek 3 Omítací KP EG250	12
Obrázek 4 Stolní KP Makita	13
Obrázek 5 Vertikální formátovací pila HOLZ-HER	15
Obrázek 6 CNC velkoplošná pila PANAS	15
Obrázek 7 Geometrie břitu	18
Obrázek 8 Části kotoučové pily	18
Obrázek 9 Tvary kotoučů	19
Obrázek 10 Tvary zubů	19
Obrázek 11 Materiály na bázi dřeva	26
Obrázek 12 DTD surová	30
Obrázek 13 DTD laminovaná bílá hladká 8100	30
Obrázek 14 PK s SK plátky – trapézový	31
Obrázek 15 Pilové kotouče Dimar DW 96	32
Obrázek 16 Pilové kotouče Kanefusa Board Pro NEO	33
Obrázek 17 Pilové kotouče Pilana 97-11 TFZ L	33
Obrázek 18 Formátovací pila FORMAT-4 KAPPA 550x	35
Obrázek 19 Ostřicí automat VOLLMER CX 100	36
Obrázek 20 Detail ostřicího automatu	36
Obrázek 21 Digitální měřicí systém IM-7500	37
Obrázek 22 Měřený vzorek s označenou plochou	37

Seznam grafů

Graf 1 Křivka časového průběhu opotřebení	23
Graf 2 Srovnání výsledků odštipnutí DTDS vs. DTDL pro PK Dimar	40
Graf 3 Srovnání výsledků odštipnutí DTDS vs. DTDL pro PK Kanefusa	42
Graf 4 Srovnání výsledků odštipnutí DTDS vs. DTDL pro PK Pilana	44
Graf 5 Srovnání trvanlivosti pilových kotoučů	45

1 Úvod

Dřevo je jedna z nejdůležitějších surovin již od pravěku. Používalo se ke stavbě lidských příbytků, zhotovování náradí nebo zbraní. Dnes je základní surovinou v lesnické a pilařské výrobě i v dalších oborech zpracování a zužitkování, cestou mechanickou i chemickou. Má velký hospodářský význam v nábytkářství, ve výrobě hudebních nástrojů, obalů, papíru, celulózy a dalších chemických surovin. V poslední době opět nabývá důležitosti i ve stavebnictví díky rostoucí oblibě mnoha druhů dřevostaveb.

V dnešní době se snaha o účinnou ochranu životního prostředí odráží v přechodu z odpadového na oběhové hospodářství a využívání materiálů z trvale udržitelných zdrojů. Tomuto požadavku dokonale vyhovuje dřevo, které je přírodní, obnovitelné i recyklovatelné. Díky postupujícímu výzkumu a vývoji může do budoucna nahradit výrobky z neobnovitelných surovin. Zužitkování dřevního odpadu přinesl v posledních desetiletích obrovský nárůst především ve výrobě aglomerovaných materiálů.

Tyto materiály vykazují jiné vlastnosti než rostlé dřevo a pro zvýšení odolnosti povrchu a zlepšení estetického vzhledu se dýhují, polepují fólií nebo nejčastěji laminují. Technologie obrábění těchto nových materiálů vyžaduje zdokonalování používaných strojů a nástrojů. Nejrozšířenějším strojem pro jejich řezání je formátovací pila.

Formátovací pila je druh kotoučové pily, která prošla za dobu svého vývoje mnohými změnami od velkých, drahých po cenově dostupné, přesné a spolehlivé stroje, používané ve velkých dřevoobráběcích provozech i v domácích dílnách. Podobným vývojem prošly i nástroje, kterými jsou pilové kotouče. Výsledkem jsou tvrdší, houževnatější a odolnější materiály pro jejich výrobu. Pro obrábění aglomerovaných materiálů jsou to především slinuté karbidy. Neméně důležitý je pokrok ve vývoji tvaru zubů, roztečí a dalších částí, zajišťujících bezproblémový chod nástroje.

Při obrábění dochází k interakci nástroje a obráběného materiálu. Kvalita řezu i opotřebenosti nástroje jsou důsledkem charakteristiky tohoto spolupůsobení, daného kinematickými a geometrickými parametry řezání. Jejich správné nastavení, znalost chování materiálů při obrábění a volba kvalitního nástroje jsou základem úspěšné práce.

2 Cíl práce

Cílem práce je charakteristika procesu obrábění kotoučovými pilami a porovnání opotřebení pilového kotouče při obrábění dřevotřískových desek surových a dřevotřískových desek laminovaných. Práce je zaměřena na pilové kotouče srovnatelných parametrů od třech různých výrobců.

Dalším cílem je dlouhodobé sledování a zhodnocení trvanlivosti pilových kotoučů při formátování laminovaných desek v běžné výrobě nábytkových dílců.

3 Kotoučové pily

Kotoučové pily jsou dřevoobráběcí stroje, které slouží k dělení dřeva a materiálů ze dřeva na menší části, nebo k úpravě jejich tvaru. Jsou nejrozšířenějšími stroji v dřevařském průmyslu. Používají se ke zpracování výřezů, řeziva, přířezů, aglomerovaných materiálů, v truhlářství, v nábytkářství, stavebním truhlářství a dalších odvětvích. Nástrojem kotoučových pil jsou pilové kotouče, popsané blíže v kapitole 4 (Barcík, 2009).

Kotoučové pily dělíme podle následujících kritérií:

- Podle použití:
- a) zkracovací,
 - b) rozřezávací,
 - c) rozmítací,
 - d) omítací,
 - e) formátovací,
 - f) drážkovací.

- Podle polohy PK vzhledem k obrobku:
- a) horní,
 - b) spodní,
 - c) jednostranné,
 - d) dvojstranné.

- Podle konstrukce:
- a) ramenové,
 - b) stolové,
 - c) stojanové,
 - d) kyvadlovo-vahadlové,
 - e) formátovací,
 - d) ruční.

- Podle počtu nástrojů:
- a) jednokotoučové,
 - b) dvojkotoučové,
 - c) vícekotoučové.

- Podle druhu zpracovávaného materiálu na:
- a) kulatinu,
 - b) řezivo, přířezy,
 - c) aglomerované materiály.

- Podle podávání materiálu:
- a) ruční,
 - b) mechanizované.

3.1 Zkracovací kotoučové pily

Zkracovací kotoučové pily slouží ke zkracování řeziva a kulatiny na požadovanou délku. Používají se k čelnímu řezání – kolmo na vlákna, příp. k šikmému přerézávání. Pilový kotouč je vedený ručně, nebo mechanicky. Materiál se nejčastěji posouvá po válečkových drahách, u moderních strojů programově řízeným systémem. Uložení kotouče může být horní (obr.1) nebo spodní, pohyb přímočarý nebo po oblouku, konstrukce kyvadlová nebo ramenová. K podélnému dělení materiálů slouží KP přibližné v následujících kapitolách (Barcík, 2009).



Obrázek 1 Zkracovací pokosová pila Bosch PCM 8S

Zdroj: naradibosch.com, (19.4.2020)

3.2 Rozmítací kotoučové pily

Rozmítací kotoučové pily slouží k podélnému dělení řeziva. Používá se jeden, nebo více PK, výškově stavitelných, oddělených distančními kroužky. Podle počtu hřídelů jsou jedno nebo dvouhřídelové (obr.2), podle polohy vrchní, spodní a dvojstranné, s vrchním nebo spodním předstihem hřídele. Posuv materiálu zajišťují podávací válce nebo článkový pás. Za účelem získání hraněného řeziva může následovat operace omítání, k čemuž slouží KP omítací (Barcík, 2009).



Obrázek 2 Dvouhřídelová rozmítací KP

Zdroj: reparo.cz, (27.2.2020)



Obrázek 3 Omítací KP EG250

Zdroj: woodmizer.cz, (27.2.2020)

3.3 Omítací kotoučové pily

Omítací kotoučové pily slouží ke dvojstrannému ořezávání krajového řeziva za účelem získání hraněného řeziva. Používá se dvou (obr.3), nebo více pilových kotoučů, na jedné straně pevných, na druhé straně stavitelných, ručně nebo mechanicky s automatickým nastavením šířky řeziva pro optimální výtěžnost. Posuv materiálu zajišťují podávací válce, příp. v kombinaci s pásovým dopravníkem. Omítací KP v podstatě vykonávají jednu operaci. Stroje s mnohostrannou použitelností jsou popsány v následujících kapitolách (Barcík, 2009).

3.4 Stolní kotoučové pily

Stolní kotoučové pily jsou univerzální truhlářské stroje, které patří k nejrozšířenějším KP (obr.4). Materiál se posouvá ručně, přídatným stolem nebo mechanickými podavači. Některé typy mají výškově i úhlově stavitelný kotouč. Jsou vybaveny rozvírácím klínem, případně předřezovou jednotkou pro obrábění laminovaných desek. Přesných řezů se dosahuje použitím podélného pravítka, bočního zkracovacího vozíku, podle optické stupnice nebo využitím laserového zaměřovače. Stolní KP se vyznačují velkým výkonem a dlouhou životností. Používají se k řezání:

- ve všech směrech a pod úhlem volně nebo podle rysky,
- pomocí vodícího pravítka a posuvného stolu podélně i příčně,
- velkoplošných materiálů,
- drážek, polodrážek, čepů atd (Barcík, 2009).



Obrázek 4 Stolní KP Makita
Zdroj: makita-eshop.cz, (27.2.2020)

Rozšířením aglomerovaných materiálů vznikla potřeba větších ploch při jejich řezání, což způsobilo rozvoj formátovacích pil.

3.5 Horizontální formátovací pily

Formátovací kotoučové pily slouží k úpravě rozměrů velkoplošných materiálů. Konstrukčně se vyvinuly z truhlářské stolní KP postupným zvětšováním formátovacího vozíku, který se stal důležitou částí stroje. Hlavní části FKP jsou:

- stojan,
- pilová jednotka,
- formátovací vozík,
- podpěrný rám.

Stojan stroje

Stojan je svařovaný z ocelových plechů tloušťky 3–6 mm. Na stojanu je osazen pevný stůl z ocelového plechu, nebo ze šedé litiny. Rozměr stolu se pohybuje okolo 50 x 100 cm. U větších pil je rozšířen o boční a zadní přídatný stůl z hliníkových slitin nebo ocelového plechu, který je k němu přišroubován a podepřen konzolami.

Pilová jednotka

Pilová jednotka je ocelový svařenec nebo litinový odlitek, v němž je uložen hřídel. Hřídel je poháněn elektromotorem přes plochý nebo klínový řemen. Stroje jsou většinou vybaveny stavitelnou rychlostí 3 až 6 tis. ot./min. Kotouč bývá výškově stavitelný, příp. s možností naklopení pro řezání pod úhlem 45°. KP určené k formátování laminovaných DTD jsou vybaveny předřezovým agregátem, který nese stranově a výškově stavitelný předřezový kotouč. Tento kotouč má rychlost 7 až 10 tis. ot./min. a otáčí se proti směru hlavního PK. Funkcí předřezu je proříznutí spodní vrstvy laminace a zabránění vytrhávání hlavním kotoučem. Moderní stroje vyšší řady jsou vybaveny ovládacím panelem, na kterém se zadávají parametry řezu a nastavují se automaticky.

Formátovací vozík

Formátovací vozík se skládá z nosného trámce a vlastního vozíku, které jsou vyráběny z eloxovaných hliníkových slitin. Trámec je pevně spojen se stojanem a umožňuje seřízení vozíku do roviny. Trámec a vozík spojují různé pojezdové mechanismy.

Podpěrný rám

Je to ocelový rám, na jedné straně zavěšený na formátovacím vozíku, na druhé straně jej podpírá teleskopické rameno. Na konci je osazen válečkem pro snadné nakládání desek na vozík. Na rámu se nachází zadní příčné pravítko s dorazy. Pro řezání pod úhlem bývá stroj doplněn úhlovacím pravítkem nebo oboustranným pokosníkem.

Vpravo od kotouče se nachází paralelní pravítko, posouvající se na pevné ocelové tyči. Posuv je buď ruční nebo ovládaný elektricky. Dále jsou stroje vybaveny rozvracím klínem a ochranným krytem.

V místech, kde není dostatek prostoru je výhodné použití formátovacích pil vertikálních (Böhm a kol., 2012).

3.6 Vertikální formátovací pily

Tyto stroje mají základní stojan svislý (mírně šikmý). Desky se opírají do stojanu, před kterým přejíždí výložník s pilovou jednotkou (obr.5). Nejlepší mají i předřezový agregát. Největší výhodou těchto strojů je menší zabraná plocha. Většinou jsou používány v prodejnách k nařezávání desek, v kusové a malosériové výrobě. K výrobě větších sérií dílců slouží dělicí velkoplošné pily-CNC nářezová centra (Böhm a kol.,2012).



Obrázek 5 Vertikální formátovací pila HOLZ-HER

Zdroj: pilart.cz, (27.2.2020)

3.7 CNC nářezová centra

Tyto stroje mají vysokou řeznou kapacitu a výkon, umožňují řezat více desek současně, uložených na sobě. Desky se zakládají na pracovní stůl pily (obr.6), programově řízený agregát se pohybuje po vlastním vedení a dělí desky. Zakládání desek a odebrání naformátovaných dílců je řízené počítačem. Tyto stroje se uplatňují v sériové a hromadné výrobě (Overby, 2012).



Obrázek 6 CNC velkoplošná pila

Zdroj: panas.cz, (27.2.2020)

4 Pilové kotouče

V případě KP se jedná o proces řezání úzkým rotujícím kotoučem s ozubením na obvodě. Otáčení kotouče zajišťuje hřídel, s kterým je kotouč spojený pomocí přírub. Je nasazen buď přímo na hřídeli elektromotoru nebo na jiném, poháněném motorem pomocí převodu. Hlavní řezný pohyb vykonává kotouč, vedlejší posuvný pohyb koná řezaný materiál. Obě rychlosti považujeme za konstantní (Lisičan, 1988).

Výsledkem těchto pohybů je dráha zubů, která tvoří cykloidu. Hlavní řezná rychlost je v porovnání s posuvnou rychlostí několikrát větší, proto se při rozboru kinematiky řezání považuje tato dráha za kružnici. Zub v každém okamžiku odebírá jinou tloušťku zřezané vrstvy – nominální tloušťka třísky se mění od h_{\min} po h_{\max} .

Střední tloušťka se vyjadřuje vztahem:

$$h_{\text{stř}} = \frac{f_z \cdot e}{l} \text{ [mm]}, \quad (1)$$

f_z : posuv na zub [mm],
 e : výška řezu [mm],
 l : délka zřezané vrstvy [mm].

Délka zřezané vrstvy:

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi_{\text{stř}}}{360^\circ} \text{ [mm]}, \quad (2)$$

D : průměr kotouče [mm],
 $\varphi_{\text{stř}}$: úhel styku ozubení s materiálem [°].

Posuv na zub:

$$f_z = \frac{v_f \cdot 1000}{n \cdot z} \text{ [mm]}, \quad (3)$$

v_f : rychlost posuvu [mm]
 n : počet otáček,
 z : počet zubů.

Posuv na otáčku:

$$f_o = \frac{v_f \cdot 1000}{n} \text{ [mm]}, \quad (4)$$

v_f : rychlost posuvu [mm],
 n : počet otáček.

Rozteč zubů:

$$t = \frac{\pi \cdot D}{z} \text{ [mm]}, \quad (5)$$

D: průměr kotouče [mm],
z: počet zubů.

Řezná rychlost:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \text{ [m/s]}, \quad (6)$$

D: průměr kotouče [mm],
n: počet otáček.

Rychlost posuvu:

$$v_f = \frac{f_z \cdot n \cdot z}{1000} \text{ [m/min]}, \quad (7)$$

f_z : posuv na zub [mm],
n: počet otáček,
z: počet zubů.

Důležitým faktorem procesu řezání je geometrie pilových kotoučů, která je přiblížena v následující kapitole.

4.1 Geometrie PK

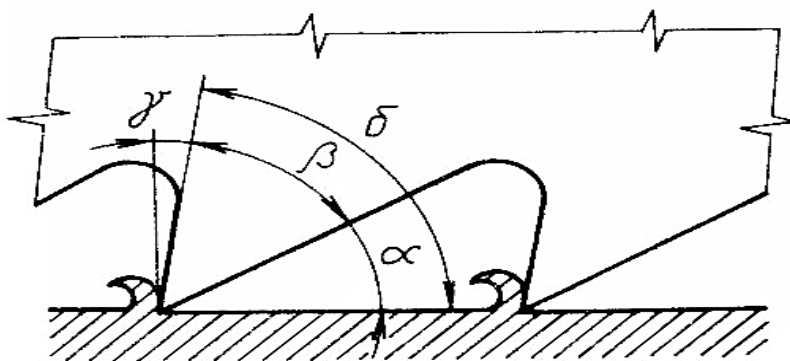
Geometrie PK určuje rozmístění a uložení zubů na nástroji. Vhodná kombinace úhlů pomáhá ke snížení řezného odporu, opotřebenosti, přehřívání a hlučnosti, k dosažení kvalitnějšího řezu, vyšší výkonnosti a hospodárnosti obrábění (Lugosi, 1987).

Funkční částí nástroje je břit, který je tvořen dvěma plochami – čelem a hřbetem a je charakterizován následujícími úhly (obr.7).

Úhel hřbetu – je mezi hřbetem a rovinou řezu. Čím je menší, tím větší je tření mezi těmito plochami. Velikost úhlu je 8 až 30°.

Úhel břitu – je mezi čelem a hřbetem. Čím je větší, tím větší je řezný odpor. Čím je menší, tím menší je pevnost a tuhost břitu.

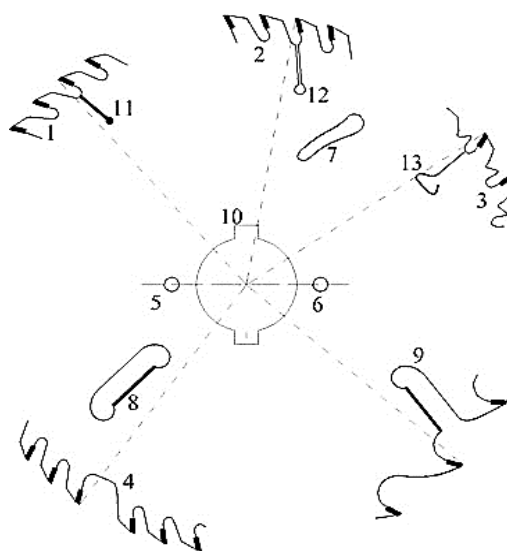
Úhel čela – je mezi čelem a základní rovinou. Čím je menší, tím větší je řezný odpor. Čím je větší, tím menší je pevnost břitu. Optimální hodnota závisí na vlastnostech obráběného materiálu, pohybuje se od -5 do 30°. Úhel řezu – je součet úhlů hřbetu a břitu.



Obrázek 7 Geometrie břítu
Zdroj: Kvietskova, (2015)

Další části nástroje jsou (obr.8):

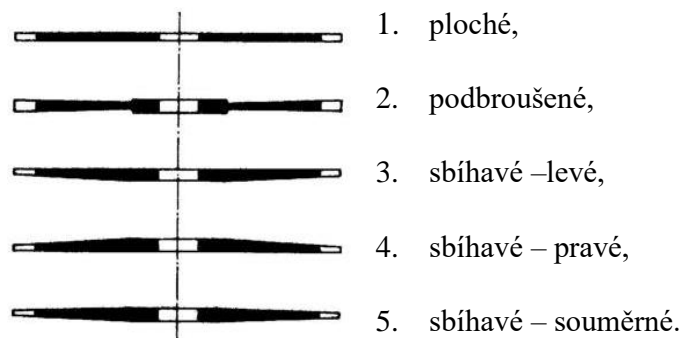
- dilatační drážky – slouží k vyrovnávání pnutí na obvodě kotouče. může být vyplněn měděným páskem, který slouží k odvádění tepla a ke snížení hlučnosti při řezání,
- otvory pro ochlazování – k ochlazování těla kotouče a k odvádění třísek,
- stabilizační a začišťovací prvky – pro podélné řezání vlhkého rostlého dřeva,
- protihlukové úpravy – ke snížení hladiny hluku,
- omezovače třísky – k ochraně řezné hrany proti nárazům (Barcík a kol., 2013).



1. zaoblený tvar zubu
2. zalomený tvar zubu
3. zub s omezovačem třísky
4. zubová mezera
5. otvor pro kolík v přírubě
6. otvor pro kolík v přírubě
7. otvor pro ochlazování
8. čistící a stabilizační SK plátek-vnitřní
9. čistící a stabilizační SK plátek-vnější
10. upínací otvor s drážkami na pera
11. dilatační otvor s prvkem pro chlazení
12. dilatační otvor s odvrtáním
13. dilatační otvor s protihlukovou úpravou

Obrázek 8 Části kotoučové pily
Zdroj: Barcík a kol., (2013)

Pilové kotouče dělíme podle tvaru na (obr.9):



Obrázek 9 Tvary kotoučů
Zdroj: Barčík a kol., (2013)

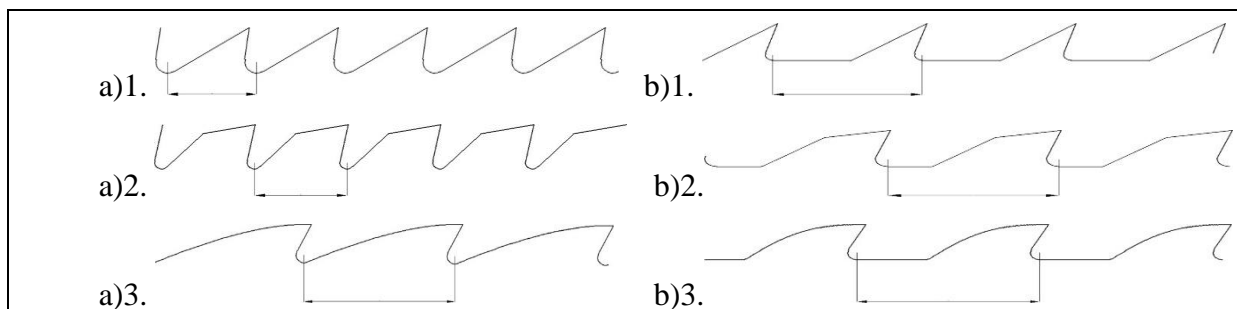
Podle tvaru zubů (obr.10):

a) se zaobleným dnem zubové mezery

1. trojúhelníkové nesouměrné,
2. trojúhelníkové s lomeným hřbetem,
3. trojúhelníkové s oblým hřbetem,

b) s přímým dnem zubové mezery,

1. trojúhelníkové,
2. trojúhelníkové s lomeným hřbetem,
3. trojúhelníkové s oblým hřbetem.



Obrázek 10 Tvary zubů
Zdroj: Barčík a kol., (2013)

Úprava zubů:

- a) pēchováním,
- b) rozvāděním,
- c) změnou materiálu řezné hrany.

Následující kapitola se věnuje materiálům, sloužícím k výrobě pilových kotoučů.

4.2 Materiály na výrobu PK

Dle povahy obráběného materiálu a řezných podmínek se pro výrobu pilových kotoučů používají materiály:

- nástrojové oceli uhlíkové,
- slitinové – nízko legované, vysoko legované,
- rychlořezné oceli,
- slinuté karbidy,
- stelity,
- keramické materiály,
- diamantové materiály.

4.2.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli se vyznačují vysokou tvrdostí, pevností, houževnatostí, odolností při změnách teplot a proti opotřebení, překalitelností atd. Optimální kombinace těchto vlastností se volí podle použité technologie. Uhlíkové nástrojové oceli obsahují 0,6-1,1 % uhlíku, legované obsahují přísadové karbidotvorné prvky: chrom, wolfram, vanad a mangan.

4.2.2 Rychlořezné oceli


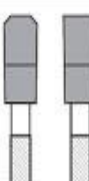
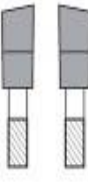
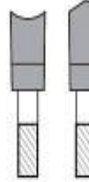


Rychlořezné oceli se používají pro výrobu vysokovýkonných řezných nástrojů. Od ostatních ocelí se liší obsahem legujících prvků a podmínkami tepelného zpracování. Kromě uhlíku (0,7-1,3 %), obsahují chrom (3-4,4 %), wolfram (2-24 %), vanad (1-5 %), molybden (0,5-10 %), kobalt (2-17 %). Vhodná kombinace legujících prvků zajišťuje vysokou tvrdost, odolnost proti otěru a odolnost proti popouštění i při teplotách okolo 600°C. Tyto oceli mají 10-30x větší trvanlivost než oceli uhlíkové a nízko legované.

4.2.3 Slinuté karbidy

Destičky ze slinutých karbidů se používají k výrobě zubů pilových kotoučů i jiných nástrojů. Mají 30 až 50násobně vyšší trvanlivost než nástrojové oceli. Používají se k řezání dřeva, aglomerovaných a různých abrazivních materiálů s větší tvrdostí. Jsou křehké, proto se z nich nevyrábí celé kotouče, ale navařují se jen plátky na konce zubů. Tělo kotouče se vyrábí z nástrojové oceli.

Tabulka 1 Geometrie zubů s SK plátky

Zdroj: Böhlm a kol., (2012)

	FZ	rovný zub		TFZ	trapézový zub střídavě s rovným zubem
	FZ N	rovný zub s negativním úhlem čela		TFZ N	trapézový zub střídavě s rovným zubem s negativními úhly čela
	LFZ	rovný zub s omezovačem úběru třísky			
	WZ	střídavý zub		DHZ	rovný dutý zub střídavě se střechovitým dutým zubem
	WZ N	střídavý zub s negativním úhlem čela		DHZ N	rovný dutý zub střídavě se střechovitým dutým zubem s negativními úhly čela
	LWZ	střídavý zub s omezovačem úběru třísky			
	TZ	trapézový zub		KON	kónický zub

Slinuté karbidy jsou směsí prášků tvrdých karbidů (karbidy wolframu, titanu, niobu – 80-94 %), pojivem je kobalt, nebo nikl (6-20 %). Vyrábí se slinutím (spečením), bez dosažení teploty tání. Vlastnosti SK ovlivňuje složení, velikost zrn a struktura. Karbidy dodávají řezné vlastnosti (tvrdost 85-90 HRC), pojivo dodává houževnatost. Vlastnosti zůstávají zachovány i při teplotách, vznikajících při obrábění. SK plátky se na tělo nástroje pájí tvrdou měděnou pájkou při teplotě 1100 °C nebo mosaznou pájkou při teplotě 800 °C. Nástroje s SK plátky lze použít až při 6násobné řezné rychlosti a 3násobné teploty. Podle řezaného materiálu se volí různé geometrie zubů s SK plátky (Tabulka 1).

4.2.4 Stelity

Stelity jsou dalším tvrdým (67-82 HRC), ale poměrně křehkým materiálem k výrobě zubů PK. Jsou to slitiny neželezných kovů, vyznačující se vysokou odolností proti abrazivnímu a chemickému opotřebení. Hlavní složkou je kobalt, v zastoupení 50-65 %. Dalšími prvky jsou uhlík, wolfram a chrom. Použitelnost stelitových zubů je omezené maximální řeznou rychlostí do 50 m/s.

4.2.5 Keramické materiály

Keramické materiály jsou velmi tvrdé a křehké s vysokou termickou stabilitou, které neobsahují kovové pojivo. Vyrábějí se spékáním jemných prášků z chemicky a tepelně odolných chemických sloučenin na bázi Al_2O_3 a Si_3N_4 . Jsou náchylné na tepelné šoky. Podle chemického složení je keramika

- oxidová – korundová, zirkoniová, feritová,
- smíšená – kombinace keramik (SIALON),
- neoxidová – karborundová, k. nitridu křemíku (Barcík a kol., 2013).

Důsledkem kontaktu nástroje a obrobku, nezávisle na použitém materiálu je opotřebení řezného klínu. V následující kapitole je přiblížena problematika tohoto děje.

4.3 Opotřebení řezného klínu

Opotřebení vzniká vlivem tření nástroje o obráběnou plochu a vznikající třísku. Projevuje se úbytkem materiálu na břitu nástroje a jeho odstraňováním ze zóny řezání.

Průnikem roviny čela a hřbetu je ideální řezná hrana, která má ve skutečnosti tvar s určitým poloměrem zaoblení. Opotřebení je postupnou změnou této mikrogeometrie, zvětšení poloměru zaoblení, doprovázené ztrátou schopnosti řezat. Kritický stav, kdy je nástroj opotřebený, se projevuje zvýšením řezné síly, rozměrovými nepřesnostmi, pálením a v neposlední řadě zhoršením kvality řezu. Právě tohoto děje je použito ke sledování opotřebení a trvanlivosti pilových kotoučů v této práci.

Trvanlivost řezné hrany je čas od naostření nástroje do kritického stavu, ztráty schopnosti práce při daných parametrech, kdy je potřeba opět naostřit. V ekonomice výrobního procesu je důležité co nejpřesněji určení tohoto momentu, aby nástroj byl co nejlépe využit a zároveň nedocházelo ke snížení kvality řezu. Faktory procesu opotřebení jsou

- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu,
- druh operace,
- geometrie nástroje,
- pracovní podmínky,
- řezné prostředí.

Jednotkou trvanlivosti může být obrobená plocha, objem odebraného materiálu, počet obrobených součástek apod.

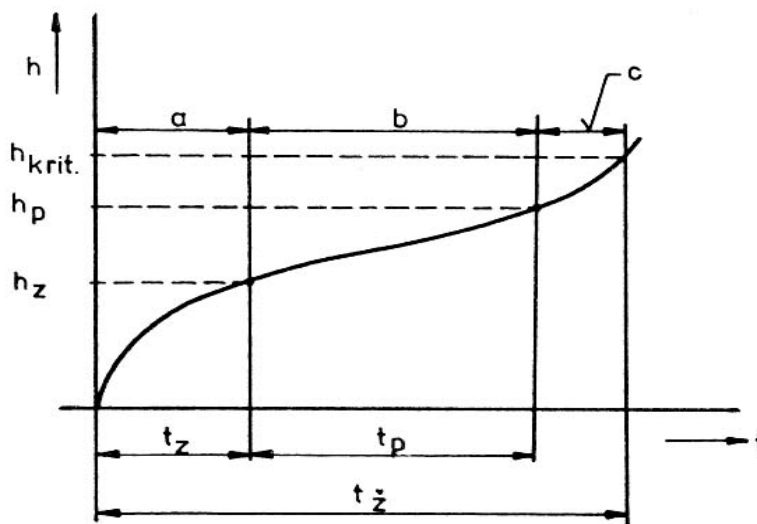
Životnost nástroje je násobkem trvanlivosti řezné hrany, čas do jeho vyřazení:

$$\check{Z} = t_p * (n + 1) \text{ [h]} \quad (8)$$

\check{Z} – životnost [h],
 t_p – doba práce mezi ostřeními [h],
 n – počet přeoštění.

Průběh opotřebení má 3 úseky (graf 1):

- úsek počátečního opotřebení – velmi krátký, při kterém se odlamuje jehla, vzniklá při ostření – záběh (t_z),
- úsek normálního opotřebení – dlouhý s malou intenzitou opotřebení (t_p),
- úsek zrychleného opotřebení – růst intenzity opotřebení, způsobený změnou geometrického tvaru činné části řezného klínu (Barcík a kol., 2013).



Graf 1 Křivka časového průběhu opotřebení

Zdroj: Barcík a kol., (2013)

Správná funkčnost nástroje je zajištěna kvalitní údržbou. Tomuto procesu je věnována následující kapitola.

4.4 Údržba pilových kotoučů

Údržba PK je velmi důležitý a náročný proces ovlivňující jejich životnost. Nesprávná údržba může mít za následek:

- snížení kvality řezu – zabíhání PK,
- snížení doby použitelnosti – rychlé opotřebení,
- zvýšení energetických nákladů na provoz stroje,
- přehřívání – mechanické poškození PK,
- další faktory ovlivňující proces řezání.

Základem správné údržby je včasné ostření. Impulzem pro nutnost ostření může být:

- nepřijatelné opotřebení na hřbetní a čelní straně,
- poloměr opotřebení řezné hrany je větší než 0,1 mm,
- nedostatečná výstupní kvalita řezu.

Vykonávání údržby je odlišné pro PK z nástrojové oceli a pro PK s SK plátky.

Údržba PK z nástrojové oceli

Údržba pilových kotoučů zahrnuje tyto operace:

- předběžná kontrola,
- čištění,
- vyrovnávání a odstraňování místních chyb vnitřního pnutí,
- úprava celkového pnutí válcováním,
- úprava zubů,
- ostření,
- konečná kontrola.

Čištění

Před zahájením údržbových prací je důležitou operací čištění PK pro předcházení nedostatečné přesnosti při měření potřebných údajů a znečištění brusného kotouče. Zahřívání PK a vyšší rezný odpor jsou často způsobeny nánosy pilin a pryskyřice. Příčinou nedostatečné funkčnosti je někdy právě znečištěný nástroj, který stačí očistit.

Čištění se provádí po ponoru PK do rozpouštědla mechanicky – štětcem, kartáčem, příp. škrabkou, nebo pomocí ultrazvukové pračky. K čištění se používá teplá voda (proti rezivění se přidává soda) roztok hydroxidu sodného a vody, směs petroleje a nafty, benzín, trichloretylen a jiná rozpouštědla.

Úprava zubů

Funkční část kotouče musí být širší než tělo nástroje, aby tělo netřelo o obráběný materiál a nezahřívalo se. Toho se docílí střídavým vyhnutím zubů nebo pýchováním. Malý rozvod způsobuje zabíhání a ztrátu tuhosti nástroje, velký rozvod má za následek nekvalitní řez a velké ztráty materiálu. Velikost rozvodu určuje druh, vlhkost, teplota, rozměry materiálu a další faktory. Rozvod se kontroluje, příp. upravuje vždy před ostřením nástroje. K úpravě rozvodu se používá rozvodka, rozváděcí kleště nebo se provádí na automatických strojích.

Ostření

Důsledkem tření mezi materiálem a zuby PK dochází k opotřebení rezné hrany. Míra opotřebení je daná poloměrem zaoblení rezné hrany. Ostření je proces obnovy otupeného břitu brusnými prostředky, při kterém se z břitu zubu odebírá malá tloušťka materiálu (0,015–0,3 mm), dokud se nedocílí požadované ostrosti. Materiál se odebírá na čele zubu, na hřbetu nebo kombinovaně. Ostření se provádí na ostrících strojích – poloautomatech. Rozváděné nástroje

se brousí buď šikmo – dvěma kotouči, nebo rovně – kotoučem kolmo na zub. Tvar a vlastnosti brusných prostředků se volí podle druhu nástroje a materiálu břítu. Po ostření následuje obtahování ostří, při kterém se odstraní jehla, vytvořená při ostření a sníží se drsnost čela a hřbetu (Prokeš, 1990).

Údržba PK s SK plátky

Údržba PK s SK plátky probíhá s některými odlišnostmi ve srovnání s PK z nástrojových ocelí. Při předběžné kontrole se nástroje roztrídí podle druhu a rozsahu opotřebení:

- k přeastření,
- k výměně poškozených SK plátek,
- ke speciálnímu ošetření – oprava místních chyb, válcování,
- k vyřazení.

Ostření se provádí na brousících automatech za vydatného chlazení - pod stálým proudem chladící kapaliny, ve dvou fázích:

1. přebroušení hřbetu zubu,
2. přebroušení SK plátek.

Pro ostření se používají diamantové brusné kotouče zrnitosti 100 až 320 při obvodové rychlosti 15 až 30 m/s, příp. pro hrubé ostření siliciumkarbidové zrnitosti 60 při rychlosti 25 až 30 m/s (Banski, 2000).

Předmětem této práce jsou pilové kotouče s SK plátky, které jsou určeny k obrábění aglomerovaných materiálů, především dřevotřískových desek, popsaných v následující kapitole.

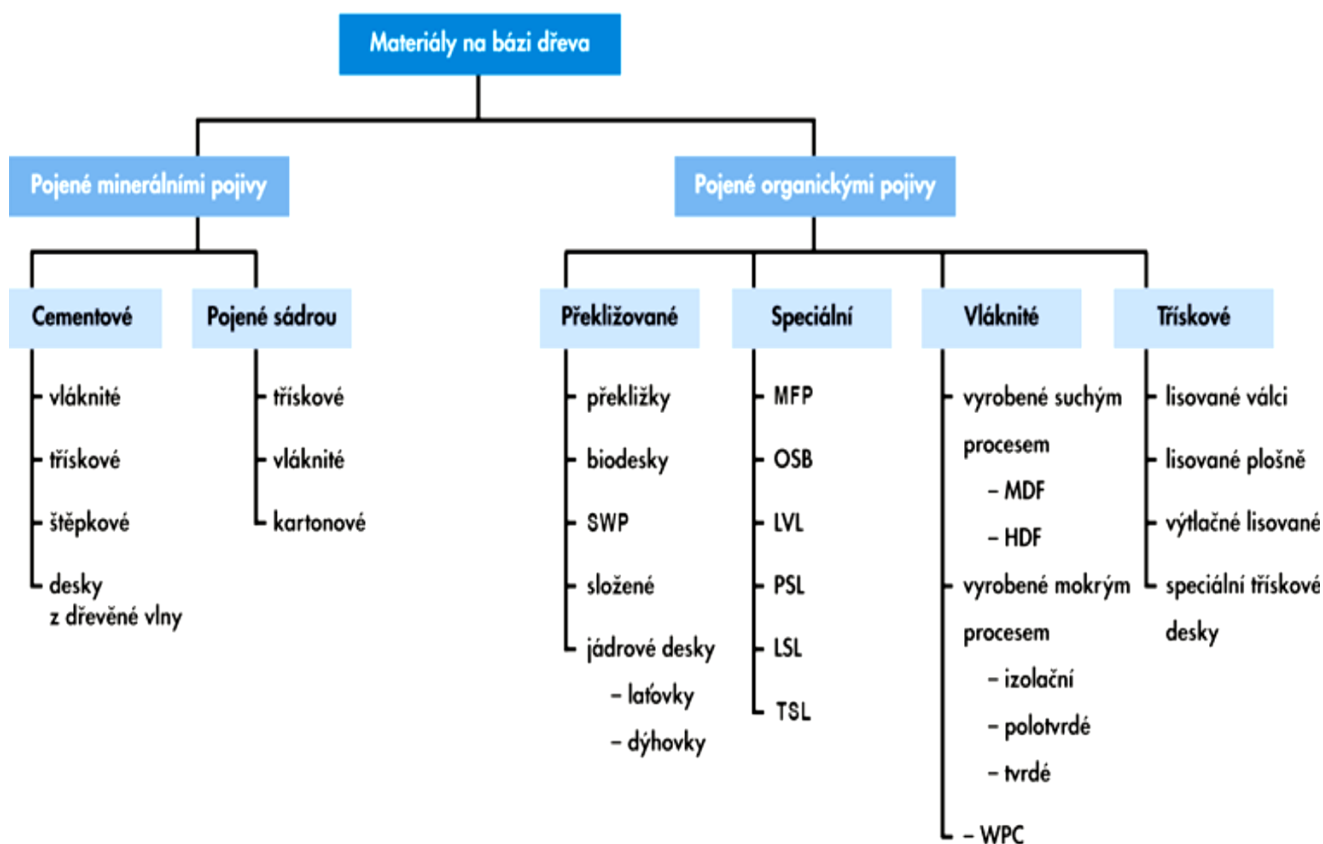
5 Dřevotřískové desky

Dřevotřískové desky patří do skupiny materiálů na bázi dřeva (obr.12), které jsou výsledkem snahy o využití dřeva a jeho příznivých vlastností (izolační, výborné mechanicko-fyzikální vlastnosti vzhledem k nízké hmotnosti, nízké náklady), s potlačením vlastností negativních (anizotropní chování, rozměrová nestabilita, hořlavost).

V užším pojetí řadíme dřevotřískové desky mezi materiály aglomerované. AM jsou výrobky z drobných dřevěných nebo jiných lignocelulózových částic, získaných dezagregací dřeva a jejich spojením, pomocí lepicích směsí, na velkoplošné či tvarové výrobky.

Snahy o zužitkování dřevního odpadu sahají pravděpodobně do 2. poloviny 19. století. První významnější pokusy byly přerušeny 2. světovou válkou. Průmyslová výroba DTD začala v 50.-60. letech 20. století a během krátké doby se staly a jsou do současnosti nejrozšířenějším aglomerovaným materiálem. Široké uplatnění si našly ve výrobě bytového a čalouněného nábytku, obkladů, podlahovin, obalů atd.

Mezi přednosti DTD patří velkoplošnost, plošná izotropnost, vysoká rozměrová a tvarová stabilita, hladký povrch, jednoduché opracování běžnými dřevoobráběcími stroji. Nevýhodou je malá odolnost proti vlhkosti, nutnost dýchování nebo laminování pro estetický vzhled, hrubá struktura, horší mechanické vlastnosti ve srovnání s rostlým dřevem (Štefka, 2001).



Obrázek 11 Materiály na bázi dřeva
Zdroj: Böhm a kol., (2012)

Dřevotřískové desky dělíme podle následujících kritérií:

Podle způsobu výroby:

- plošně lisované,
- výtlačně lisované,
- lisované válcovým lisem,
- kontinuálně lisované.

Podle způsobu úpravy povrchu:

- surové – nebroušené, broušené,
- dýhované,
- kaširované – papírovou nebo plastovou fólií,
- laminované.

Podle počtu vrstev:

- jednovrstvé,
- třívrstvé.

Druhy DTD:

P1 – pro všeobecné účely v suchém prostředí,

P2 – pro vnitřní vybavení v suchém prostředí,

P3 – nenosné ve vlhkém prostředí,

P4 – nosné v suchém prostředí,

P5 – nosné ve vlhkém prostředí,

P6 – zvlášť zatížitelné nosné v suchém prostředí,

P7 – zvlášť zatížitelné nosné ve vlhkém prostředí (Böhm a kol., 2012).

Vlastnosti DTD jsou ovlivněny jejich složením. Jednotlivé složky jsou popsány v následující kapitole.

5.1 Složení DTD

Dřevotřískové desky se skládají z těchto komponentů:

- dřevní surovina,
- lepidlo,
- hydrofobizační prostředky,
- biocidní prostředky,
- retardéry hoření.

Dřevní surovina

Dřevní surovina zahrnuje tři základní zdroje:

- lesní sortimenty – z prořezávek a probírek, odkorněné dříví 5. třídy,
- průmyslový odpad – pilařské krajiny, odřezky, dýhárenský odpad, hobliny, piliny,
- staré dřevo – palety, obaly, nábytek.

Lepidlo

Pojivem třísek při výrobě DTD jsou syntetická lepidla, která se hrála významnou roli ve vývoji tohoto materiálu.

Močovino-formaldehydová lepidla (UF) jsou nejrozšířenější při výrobě DTD pro svou nízkou cenu a vysokou reaktivitu. Vznikají kondenzací močoviny a formaldehydu. Vytvrzují pomocí tvrdidla při teplotě 10–150 °C. Nevýhodou těchto lepidel je malá voděodolnost a uvolňování formaldehydu při výrobě i používání.

Melamin-formaldehydová lepidla (MF) se používají převážně jako směsná kvůli vysoké ceně. Jsou podobná UF lepidlům a přidávají se do nich pro zlepšení vlastností. Vyznačují se dobrou pevností i voděodolností, neuvolňují formaldehyd.

Fenol-formaldehydová lepidla (PF) vznikají kondenzací fenolu a formaldehydu. Jsou pružná, odolná vodě i stárnutí. Jejich nevýhodou je vysoká cena a tmavá barva. Vytvrzují při teplotě 140-180 °C bez tvrdidla.

Diizokyanátová lepidla jsou organická, voděodolná lepidla bez rozpouštědla a formaldehydu. Vyznačují se vytvářením chemických vazeb s hydroxylovými skupinami dřeva.

Hydrofobizační prostředky

Ke zmírnění nežádoucích účinků vody a vzdušné vlhkosti se do DTD, při použití UF lepidel, přidávají prostředky odpuzující vodu. Nejpoužívanější jsou látky na bázi parafínu. Parafín se přidává do lepidlové směsi ve formě emulze v množství 0,5-1,5 % na sušinu dřevních částic. Příznivý účinek parafínu je nejvýraznější při krátkodobém působení vody.

Biocidní prostředky

Jelikož lepidla používaná jako pojivo DTD nemají biocidní účinek, pro fungicidní ochranu se přidávají různé přísady, např. TCMTB, fluoridy, TBTO, insekticidní účinek zajišťují soli arzenu, bifluoridy a jiné.

Retardéry hoření

Pro zpomalení procesu hoření se přidávají ochranné prostředky na bázi fosforu, dusíku, bóru, antimonu nebo halogenů, příp. se desky upravují tzv. intumescentními nátěry pro snížení hořlavosti (Štefka, 2001).

Pro zvýšení odolnosti povrchu a zlepšení estetického vzhledu se dřevotřískové desky povrchově upravují nejčastěji laminováním. Takto získané desky jsou předmětem následující kapitoly.

5.2 Laminované DTD

Laminované DTD jsou dnes nejvíce zastoupenými povrchově upravenými deskami. Jsou základním plošným materiálem pro výrobu bytového, kuchyňského, kancelářského, laboratorního nábytku a pro zhotovení interiérů.

Nosným materiálem je třívrstvá surová DTD vysoké jakosti s jemným homogenním povrchem. Povrchová úprava vzniká nalisováním kvalitního sulfitového nebo sulfátového dekorativního papíru, impregnovaného aminoaldehydovými pryskyřicemi. Povrchová vrstva je snadno omyvatelná, odolná zvýšené teplotě, krátkodobému působení vody i běžným chemikáliím používaným v domácnosti. Široká paleta dekorů a struktur povrchu nabízí široké využití v nábytkářském průmyslu i ve stavebnictví (Hrázský a kol., 2007).

6 Metodika

Při práci byly použity pilové kotouče srovnatelných parametrů od 3 výrobců v počtu dvou kusů. Jedním PK se řezala surová DTD, druhým laminovaná DTD.

Pro zjišťování změn kvality povrchu se v pravidelných intervalech zhotovovaly vzorky z oboustranně laminované DTD bílé hladké 8100 o rozměrech 120 x 20 mm, z pravé i levé strany řezu, více než 150 mm od kraje desky z výroby, po 50 m řezu do doby, než plocha odštípnuté laminace libovolné strany překročila mezní hodnotu, 15 mm². Na vzorcích se vyznačil úsek 100 mm, který byl podroben měření v digitálním měřicím přístroji při mnohonásobném zvětšení. Pro možnost srovnání se zhotovovaly vzorky za stejných podmínek z bílé laminované desky i kotouči, kterými se formátovaly surové DTD.

Laminované desky se formátovaly s použitím předřezového kotouče, ten ale není předmětem této práce, zkoumání byla podrobena jen vrchní obrobena plocha. Postupné snižování kvality řezu – růst velikosti odštěpené plochy laminace poukazoval na postupné opotřebování PK. Pro měření opotřebení tedy byla použita tato nepřímá metoda.

6.1 Použité materiály

1. DTD surová P2 od firmy Kronospan Jihlava, tloušťky 18 mm, emisní třídy E1, o rozměrech 2800 x 2070 mm, hustotě 710 kg/m³ a vlhkosti 6 % (obr.13).

2. Laminovaná DTD bílá hladká 8100 od firmy Kronospan (obr.14). Nosná deska je shodná s deskou z odstavce 1.

Všechny desky byly před formátováním skladovány v klimatizovaném skladu. Hustota i vlhkost řezaných desek byla shodná.



Obrázek 12 DTD surová
Zdroj: kronospan.cz, (27.2.2020)



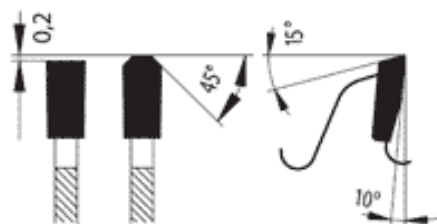
Obrázek 13 DTD laminovaná bílá 8100
Zdroj: kronospan.cz, (27.2.2020)

6.2 Použité nástroje

K řezání byly použity nové pilové kotouče (ostřené od výrobců) s SK plátky, s označením TFZ – trapézové (obr. 15):

1. Dimar DW 96
2. Kanefusa Board Pro NEO
3. Pilana 97-11 TFZ L

Jedná se o kombinaci zubů lichoběžníkových (TZ) a plochých (FZ), která se nejvíce osvědčila pro řezání laminovaných DTD.



Obrázek 14 PK s SK plátky – trapézový

Zdroj: pilana.cz, (27.2.2020)

Těla kotoučů se vyrábí z ušlechtilé, slitinové, nízkolegované oceli třídy 14 až 16 (s legujícími prvky Mn, Si, Cr, Mo, W, V), vyznačující se dostatečnou pevností a houževnatostí. Údaje o použitém materiálu výrobcí neupřesňují.

Společnými parametry nástrojů jsou:

- průměr kotouče 300 mm,
- šířka zubu 3,2 mm,
- tloušťka těla 2,2 mm,
- průměr upínacího otvoru 30 mm,
- rozdíl výšky zubů FZ a TZ 0,2 mm,
- počet zubů 96 ks.

Odlíšné parametry nástrojů jsou popsány v následujících odstavcích.

Dimar DW 96

Nástroje izraelské značky, která dlouhodobě patří mezi přední výrobce ve výrobě řezných nástrojů, se specializací na zpracování dřeva, plastů, hliníku a kompozitních materiálů.

Charakteristickým znakem těchto kotoučů je propracovaný systém dilatačních otvorů s protihlukovou úpravou (obr.16). Maximální řezná rychlost je 6500 m/s. Pracovní úhly PK:

- úhel čela 5°,
- úhel hřbetu 20°.

PK této značky jsou dlouhodobě používané firmou, ve které se práce prováděla (dimartooling.com, 4.4.2020).



Obrázek 15 Pilové kotouče DIMAR DW 96

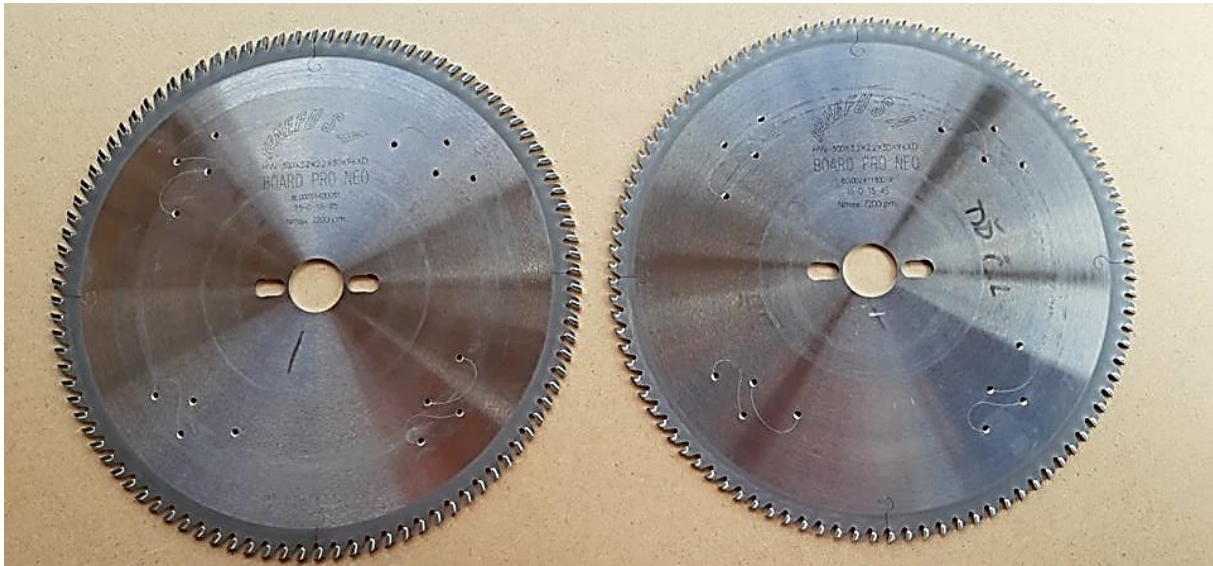
Kanefusa Board Pro NEO

Nástroje japonského výrobce, který se opírá o úspěchy vlastního výzkumu a vývoje nových materiálů. Podle výrobce i některých nezávislých zdrojů kvalita SK plátků výrazně předčí konkurenci, díky nově vyvinutému karbidu wolframu.

U dříve používaných měděných výplní dilatační otvorů s protihlukovou úpravou mohlo docházet k jejich uvolňování vlivem vysokých teplot při obrábění. Tyto otvory jsou dnes vyplněny polymerem, který pozitivně ovlivňuje hlučnost i vibrace kotouče. Nejvyšší řezná rychlost je 7200 m/s. Od ostatních použitých kotoučů se liší šířkou střední plošky lichoběžníkových zubů, která činí třetinu šířky zubu, u ostatních je to 1,6 mm (kanefusa.net, 4.4.2020).

Pracovní úhly PK:

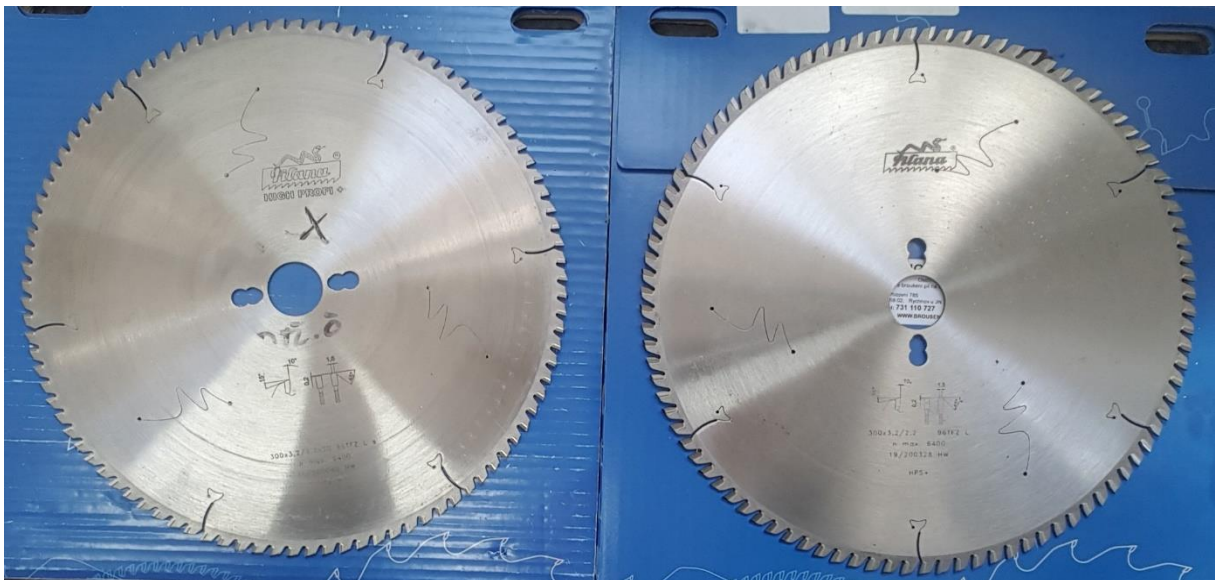
- úhel čela 15°,
- úhel hřbetu 15°.



Obrázek 16 Pilové kotouče Kanefusa Board Pro NEO

Pilana 97-11 TFZ L

Nástroje od českého výrobce s dlouholetou tradicí (od r. 1934), disponující nejmodernějším výrobním zařízením. Díky nižším výrobním nákladům dodává vysoce kvalitní nástroje za výhodné ceny, nejen pro obrábění materiálů na bázi dřeva, ale i stavebních materiálů, železných a neželezných kovů. Podobně jako u předchozí PK i v tomto případě jsou dilatační otvory s protihlukovou úpravou v poslední době vyplněny polymerem (pilana.cz, 4.4.2020).



Obrázek 17 Pilové kotouče Pilana 97-11 TFZ L

Kotouče použité v této práci umožňují maximální řeznou rychlost 6400 m/s. Pracovní úhly PK:

- úhel čela 10°,
- úhel hřbetu 15°.

6.3 Použité stroje a přístroje

V následujících kapitolách jsou popsány stroje a přístroje použité k řezání materiálů a vzorků, k ostření pilových kotoučů a k vyhodnocení vzorků.

6.3.1 Formátovací pila

K řezání byla použita formátovací pila Kappa 550x (obr.12), která se řadí do prémiové třídy značky FORMAT-4 a je určena k profesionálnímu použití do středních i větších provozů. Vyznačuje se robustní konstrukcí ze silnostěnných materiálů a vysokou technickou úrovní.

Pilový hřídel je uložen v masivní litinové jednotce. Lze používat PK o průměru 250-550 mm. Max. výška řezu je 200 mm (při použití kotouče o průměru 550 mm). Umožňuje plynulé naklápění PK až 45°, přídatné funkce: falcování, drážkování, opakované drážkování.

Předřezová jednotka je vybavena funkcí automatického vysunutí a zasunutí předřezávacího kotouče o průměru 120-125 mm.

Ovládací panel řídí výškové a úhlové polohování pilové jednotky, automatickou kompenzaci řezné výšky, zobrazení otáček – v pracovním prostoru ve výšce očí s dotykovým displejem 5,7". Parametry stroje jsou:

Délka formátovacího stolu /řezná/	3200 mm,
Ložná plocha výložníku	1250 x 650 mm,
Délka pravítka výložníku	1900 mm,
Délka paralelního pravítka	1200 mm,
Řezná šířka /při paralelních řezech/	1600 mm,
Prodloužení stolu za PK	1200 mm,
Otáčky hlavního kotouče	3000-5000 ot./min,
Otáčky předřezového kotouče	8500 ot./min,
Výkon hlavního pilového agregátu	7,5 kW,
Výkon předřezového agregátu	1,1 kW.



Obrázek 18 Formátovací pila FORMAT-4 KAPPA 550x

6.3.2 Ostřicí automat

Použité pilové kotouče byly ostřeny diamantovými brusnými kotouči od firmy Tyrolit, s úběrem 0,2-0,3 mm ze hřbetu a 0,02-0,06 mm z čela zubů, na automatickém ostřicím stroji VOLLMER CX 100 (obr. 17) ve firmě Hofmann s.r.o. v Rychnově u Jablonce n/N. CNC stroj pracuje ve 4 osách, vyznačuje se vysokou kvalitou a hospodárností ostření. Je určen pro PK o průměru 80-500 mm, tloušťky těla do 5 mm, rozteč zubů 7-100 mm, úhel hřbetu do 45°, úhel čela do 30°.

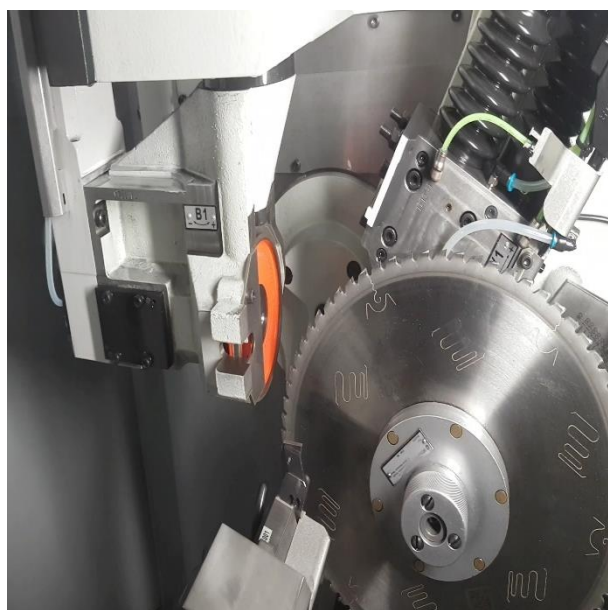
Parametry stroje:

- průměr brusného kotouče 125 mm,
- průměr upínacího otvoru 32 mm,
- rychlost broušení 0,5-20 mm/s,
- pracovní rychlost až 18 zubů/min,
- objem chladicí kapaliny 85 l,
- výkon 2,4 kW,
- hmotnost 950 kg.

(wollmer-group.com, 27.2.2020)



Obrázek 19 Ostřicí automat VOLLMER CX 100
Zdroj: vollmer-group.com, (27.2.2020)

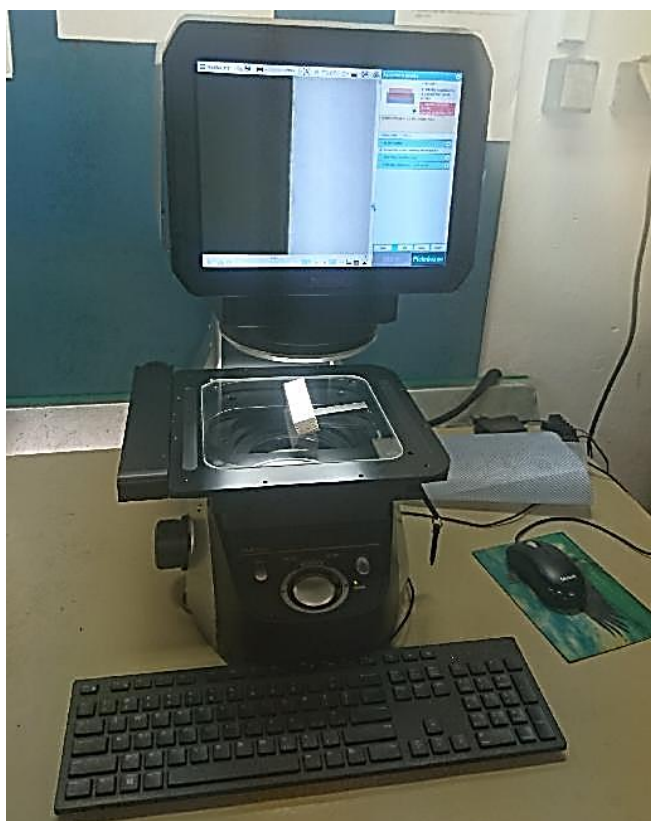


Obrázek 20 Detail ostřicího automatu

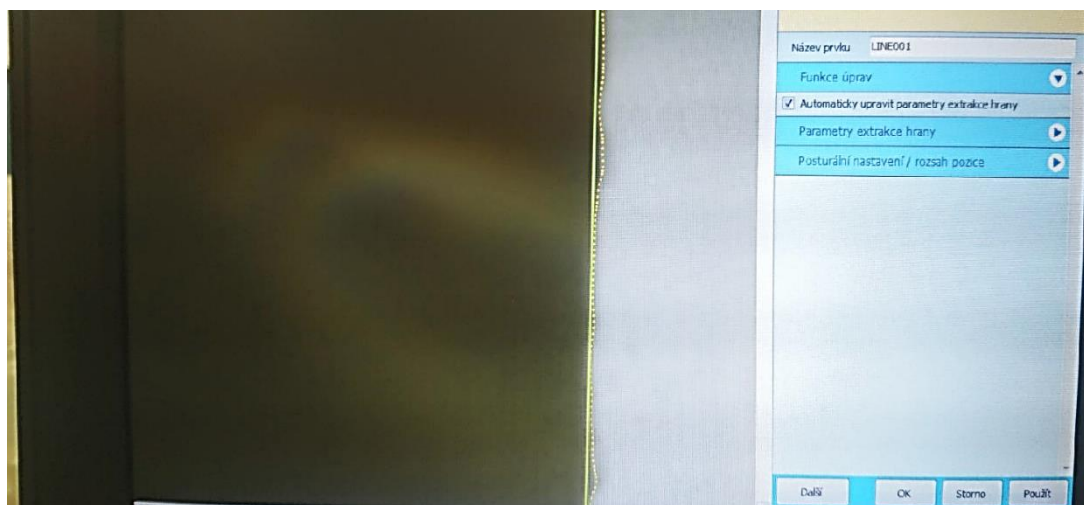
6.3.3 Digitální měřicí systém IM-7500

Měření zhotovených vzorků bylo provedeno ve výrobním družstvu Sokov Sosnová v digitálním měřicím systému IM-7500 (obr. 22). Tento přístroj se používá převážně v kovo zpracujícím průmyslu ke kontrole prototypů, prvních vyrobených dílů a k procesní kontrole vzorků a dílů. Disponuje pevnou konstrukcí, teplotním senzorem, hodnocením a automatickým ukládáním naměřených dat atd.

Vzorky se vložily na skleněnou inspekční plochu přístroje. Určilo se optimální nasvícení a zvětšení. Označila se plocha určená k měření (obr. 23), ohraničená přímkou, značící ideální rozhraní tmavé a světlé plochy a křivkou spojující odštipnuté části. Po změření plochy byly zjištěné údaje zaneseny do tabulky, zpracovány a vyhodnoceny. Jejich přehled je uveden v následující kapitole.



Obrázek 21 Digitální měřicí systém IM-7500



Obrázek 22 Měřený vzorek s označenou plochou

7 Výsledky a diskuze

Za podmínek popsaných v metodice této práce přirozeně nastalo, že počet vzorků byl různý pro každý pilový kotouč. Určená hodnota plochy odštěpené laminace 15 mm^2 (mezní hodnota) byla překročena při řezání surové DTD u 54. až 60. měřeného vzorku, při řezání laminované DTD u 17. až 20. měřeného vzorku. Po těchto měřeních byly kotouče považované za opotřebované, určené k ostření.

V následujících tabulkách 2 až 7 jsou zaznamenány naměřené hodnoty plochy odštěpené laminace. Srovnání pro páry kotoučů od každého výrobce je zaneseno v grafech č. 2 až 4.

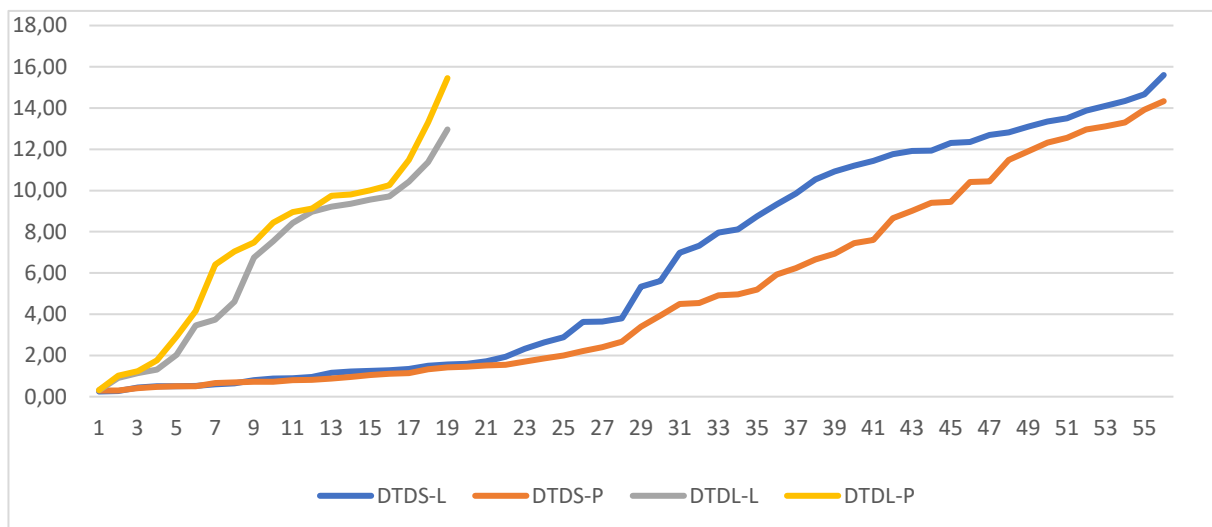
Tabulka 2 Výsledky odštipnutí PK Dimar – DTD surová

PK Dimar - DTD surová			
Vzorek č.	Řez [m]	Levá strana [mm ²]	Pravá strana [mm ²]
1	0	0,25	0,30
2	50	0,27	0,30
3	100	0,45	0,42
4	150	0,50	0,48
5	200	0,51	0,50
6	250	0,52	0,51
7	300	0,60	0,66
8	350	0,64	0,70
9	400	0,80	0,72
10	450	0,88	0,73
11	500	0,90	0,80
12	550	0,95	0,82
13	600	1,16	0,88
14	650	1,22	0,95
15	700	1,25	1,05
16	750	1,28	1,11
17	800	1,35	1,15
18	850	1,50	1,33
19	900	1,56	1,42
20	950	1,60	1,45
21	1000	1,72	1,51
22	1050	1,93	1,55
23	1100	2,33	1,70
24	1150	2,64	1,86
25	1200	2,88	2,00
26	1250	3,62	2,21
27	1300	3,65	2,40
28	1350	3,80	2,66
29	1400	5,33	3,40
30	1450	5,61	3,93
31	1500	6,98	4,50
32	1550	7,32	4,55
33	1600	7,96	4,92
34	1650	8,11	4,96
35	1700	8,75	5,20
36	1750	9,33	5,92
37	1800	9,86	6,23
38	1850	10,54	6,65
39	1900	10,92	6,93
40	1950	11,21	7,45
41	2000	11,43	7,60
42	2050	11,77	8,66
43	2100	11,91	9,02
44	2150	11,94	9,40
45	2200	12,30	9,45
46	2250	12,35	10,41
47	2300	12,70	10,44
48	2350	12,82	11,48
49	2400	13,10	11,90
50	2450	13,34	12,32
51	2500	13,50	12,55
52	2550	13,87	12,96
53	2600	14,11	13,12
54	2650	14,34	13,30
55	2700	14,66	13,92
56	2750	15,60	14,33

Tabulka 3 Výsledky odštipnutí PK Dimar – DTD laminovaná

PK Dimar - DTD laminovaná			
Vzorek č.	Řez [m]	Levá strana [mm ²]	Pravá strana [mm ²]
1	0,00	0,31	0,32
2	50,00	0,91	1,02
3	100,00	1,15	1,23
4	150,00	1,32	1,76
5	200,00	2,03	2,91
6	250,00	3,45	4,15
7	300,00	3,74	6,40
8	350,00	4,60	7,05
9	400,00	6,75	7,47
10	450,00	7,54	8,44
11	500,00	8,42	8,96
12	550,00	8,97	9,12
13	600,00	9,22	9,74
14	650,00	9,35	9,80
15	700,00	9,56	10,01
16	750,00	9,71	10,26
17	800,00	10,42	11,48
18	850,00	11,37	13,30
19	900,00	12,96	15,45

Jak vyplývá z tabulek 2 a 3, mezního stavu pro pilové kotouče Dimar bylo dosaženo po 2750 m řezání surové a 900 m laminované DTD.



Graf 2 Srovnání výsledků odštipnutí DTDS vs. DTDL pro PK Dimar

Z grafu 2 je patrné, že po 900 m řezání, kdy PK pro řezání laminované DTD byl posouzen jako opotřebovaný, vzorky zhotovované kotoučem pro řezání surové DTD ještě vykazovaly téměř dokonalý řez. Srovnatelné opotřebování kotouče nastalo po dalších 1850 m řezání.

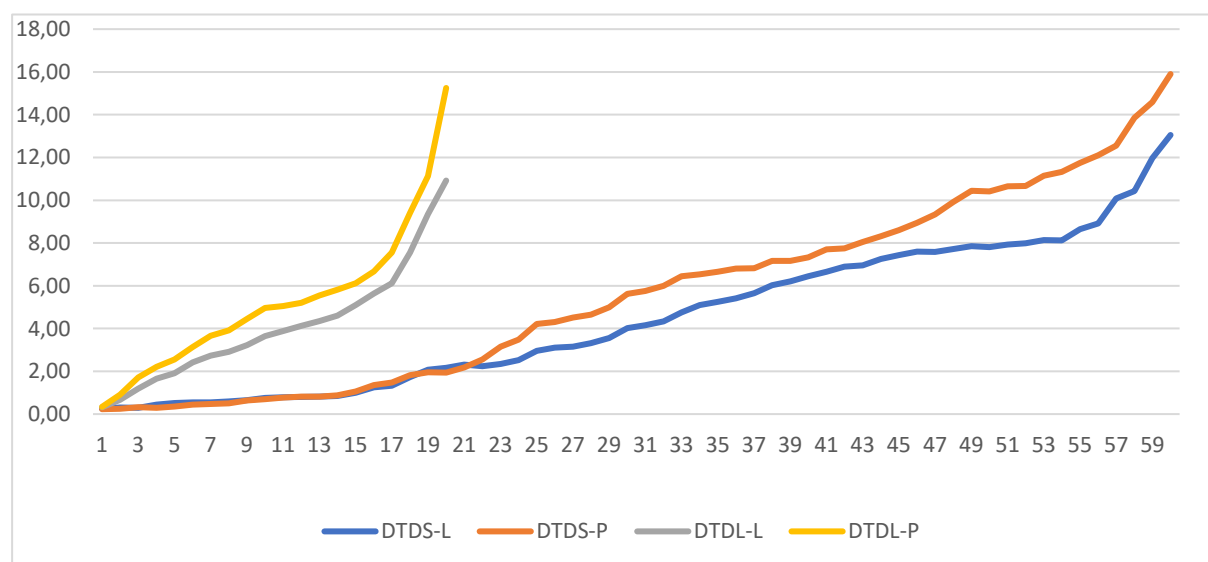
Tabulka 4 Výsledky odštipnutí PK Kanefusa – DTD surová

PK Kanefusa - DTD surová			
Vzorek č.	Řez [m]	Levá strana [mm ²]	Pravá strana [mm ²]
1	0	0,25	0,23
2	50	0,31	0,25
3	100	0,30	0,32
4	150	0,45	0,30
5	200	0,52	0,35
6	250	0,55	0,44
7	300	0,55	0,47
8	350	0,60	0,50
9	400	0,65	0,63
10	450	0,76	0,69
11	500	0,78	0,77
12	550	0,80	0,82
13	600	0,82	0,82
14	650	0,85	0,87
15	700	1,00	1,05
16	750	1,25	1,36
17	800	1,32	1,47
18	850	1,73	1,82
19	900	2,08	1,96
20	950	2,16	1,94
21	1000	2,32	2,18
22	1050	2,24	2,55
23	1100	2,35	3,15
24	1150	2,52	3,48
25	1200	2,96	4,22
26	1250	3,10	4,31
27	1300	3,15	4,52
28	1350	3,32	4,65
29	1400	3,55	5,00
30	1450	4,02	5,62
31	1500	4,15	5,75
32	1550	4,33	6,00
33	1600	4,76	6,45
34	1650	5,10	6,54
35	1700	5,25	6,65
36	1750	5,41	6,81
37	1800	5,65	6,82
38	1850	6,03	7,16
39	1900	6,20	7,16
40	1950	6,45	7,33
41	2000	6,66	7,70
42	2050	6,90	7,75
43	2100	6,95	8,04
44	2150	7,25	8,32
45	2200	7,44	8,60
46	2250	7,60	8,95
47	2300	7,59	9,33
48	2350	7,72	9,92
49	2400	7,85	10,44
50	2450	7,81	10,41
51	2500	7,92	10,65
52	2550	7,98	10,67
53	2600	8,14	11,15
54	2650	8,12	11,33
55	2700	8,64	11,75
56	2750	8,92	12,11
57	2800	10,08	12,56
58	2850	10,42	13,86
59	2900	11,97	14,59
60	2950	13,05	15,90

Tabulka 5 Výsledky odštipnutí PK Kanefusa – DTD laminovaná

PK Kanefusa - DTD laminovaná			
Vzorek č.	Řez [m]	Levá strana [mm ²]	Pravá strana [mm ²]
1	0	0,32	0,34
2	50	0,66	0,91
3	100	1,19	1,72
4	150	1,65	2,21
5	200	1,91	2,55
6	250	2,42	3,14
7	300	2,74	3,66
8	350	2,92	3,91
9	400	3,23	4,46
10	450	3,64	4,97
11	500	3,88	5,06
12	550	4,13	5,20
13	600	4,35	5,55
14	650	4,61	5,81
15	700	5,10	6,12
16	750	5,63	6,67
17	800	6,11	7,55
18	850	7,56	9,41
19	900	9,35	11,13
20	950	10,92	15,25

Dle tabulek 4 a 5 výsledky hodnocených vzorků, zhotovených pilovými kotouči Kanefusa ukazují podobný poměr délek řezání jako předchozí nástroje, pro surové DTD 2950 m, pro laminované 950 m.



Graf 3 Srovnání výsledků odštipnutí DTDS vs. DTDL pro PK Kanefusa

Z grafu 3 je patrný srovnatelný průběh opotřebování, jako u předchozích nástrojů. Rozdíl je zřejmý ve skokovém zhoršení v poslední fázi i v případě řezání surových desek.

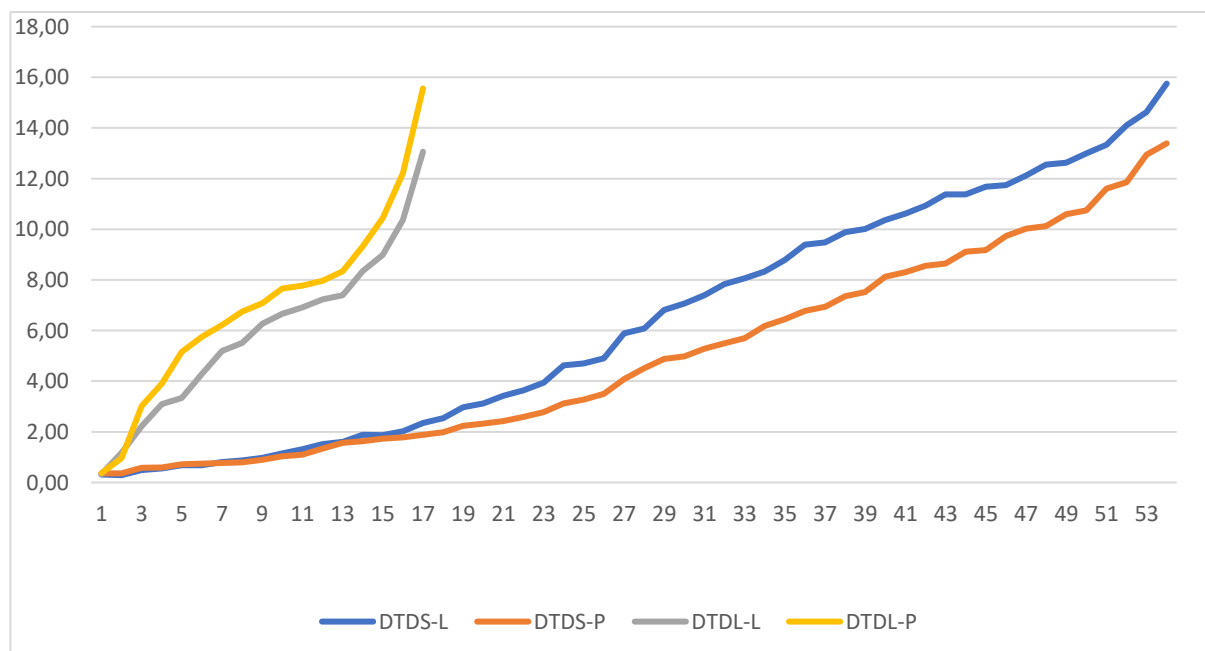
Tabulka 6 Výsledky odštipnutí PK Pilana – DTD surová

PK Pilana - DTD surová			
Vzorek č.	Řez [m]	Levá strana [mm ²]	Pravá strana [mm ²]
1	0	0,31	0,36
2	50	0,29	0,36
3	100	0,49	0,58
4	150	0,55	0,59
5	200	0,69	0,72
6	250	0,68	0,75
7	300	0,81	0,77
8	350	0,88	0,79
9	400	0,98	0,90
10	450	1,16	1,04
11	500	1,32	1,10
12	550	1,52	1,34
13	600	1,61	1,57
14	650	1,88	1,64
15	700	1,87	1,74
16	750	2,03	1,79
17	800	2,36	1,89
18	850	2,54	1,99
19	900	2,97	2,24
20	950	3,12	2,33
21	1000	3,43	2,43
22	1050	3,65	2,59
23	1100	3,94	2,78
24	1150	4,62	3,12
25	1200	4,70	3,28
26	1250	4,90	3,50
27	1300	5,89	4,08
28	1350	6,08	4,52
29	1400	6,82	4,88
30	1450	7,07	4,98
31	1500	7,39	5,29
32	1550	7,84	5,50
33	1600	8,06	5,70
34	1650	8,33	6,19
35	1700	8,78	6,45
36	1750	9,39	6,78
37	1800	9,48	6,94
38	1850	9,88	7,35
39	1900	10,02	7,52
40	1950	10,36	8,13
41	2000	10,62	8,31
42	2050	10,93	8,56
43	2100	11,37	8,65
44	2150	11,38	9,11
45	2200	11,68	9,18
46	2250	11,75	9,73
47	2300	12,13	10,02
48	2350	12,55	10,12
49	2400	12,63	10,60
50	2450	12,99	10,74
51	2500	13,34	11,60
52	2550	14,10	11,86
53	2600	14,63	12,95
54	2650	15,75	13,39

Tabulka 7 Výsledky odštipnutí PK pilana – DTD laminovaná

PK Pilana - DTD laminovaná			
Vzorek č.	Řez [m]	Levá strana [mm ²]	Pravá strana [mm ²]
1	0	0,33	0,37
2	50	1,17	0,96
3	100	2,23	3,03
4	150	3,10	3,91
5	200	3,33	5,16
6	250	4,29	5,76
7	300	5,20	6,22
8	350	5,51	6,75
9	400	6,28	7,08
10	450	6,66	7,66
11	500	6,92	7,78
12	550	7,23	7,96
13	600	7,40	8,34
14	650	8,34	9,31
15	700	8,99	10,45
16	750	10,36	12,22
17	800	13,06	15,56

Výsledky naměřených hodnot z tabulek 6 a 7 potvrzují dříve zjištěné poznatky, poměr délek řezání surových 2650 m, laminovaných desek 800 m. Jak je vidět v grafu 4, křivka hodnot odštipnutí na vzorcích zhotovených kotoučem pro surové desky se vyznačuje, na rozdíl od předchozích, téměř lineárním průběhem.



Graf 4 Srovnání výsledků odštipnutí DTDS vs. DTDL pro PK Pilana

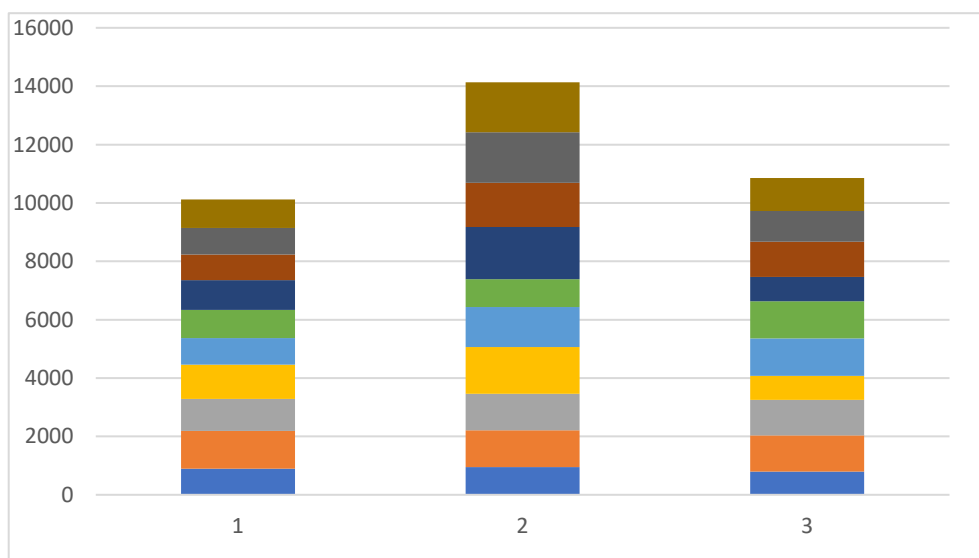
Z naměřených hodnot vyplývá, že povrchová úprava laminací výrazně ovlivňuje opotřebování nástrojů. Ve sledovaném období zvládly kotouče v surové DTD 2650 až 2950 metrů řezu, v laminovaných deskách pouze 800 až 950 metrů. Trvanlivost PK (doba do dalšího

ostření) při řezání surových DTD je tedy přibližně 3 až 3,3krát delší než při řezání desek laminovaných za jinak stejných podmínek.

V další části práce se pokračovalo v zaznamenávání délky řezání kotouči, kterými se řezaly laminované DTD. Sledování opotřebování nástrojů zahrnuje celkem 10 cyklů, od prvního použití po 10. ostření. Délky řezání mezi jednotlivými ostřeními jsou zaznamenány v tabulce 8. Srovnání kotoučů jednotlivých výrobců je zaneseno v grafu 5.

Tabulka 8 Výsledky trvanlivosti PK

Cyklus	Délka řezání (m)		
	DIMAR	KANEFUSA	PILANA
1.	900	950	800
2.	1290	1260	1230
3.	1100	1250	1220
4.	1170	1600	820
5.	910	1370	1290
6.	970	960	1270
7.	1010	1790	830
8.	880	1510	1210
9.	910	1730	1050
10.	980	1710	1130
Celkem	10120	14130	10850
Průměr	1012	1413	1085



Graf 5 Srovnání trvanlivosti pilových kotoučů

Z naměřených hodnot je patrný rozdíl ve výkonu sledovaných nástrojů. Zatímco PK Dimar a Pilana vykazují podobnou průměrnou hodnotu (s rozdílem 7 % ve prospěch druhého), Kanefusa nařezala přibližně o 30 až 40 % více materiálu.

Stav SK plátků po 10. ostření je rovněž velmi odlišný. Zatímco PK Dimar je evidentně před koncem životnosti, PK Kanefusa má před sebou ještě mnoho metrů řezu, odhadem 6 až 8 cyklů. Stav PK Pilana je blíže ke druhému jmenovanému. Dosažení konce životnosti těchto nástrojů, za daných podmínek vyžaduje odhadem další 2 až 3 měsíce práce.

Na základě naměřených hodnot a zjištění stavu SK plátků nelze vyloučit pravdivost tvrzení japonského výrobce, že pilový kotouč Board Pro NEO může dosáhnout dvojnásobné životnosti oproti některým konkurenčním kotoučům ve stejné cenové kategorii. Tato zjištění nejsou pro některé odborné kruhy překvapením. Karbidy wolframu, použité pro výrobu těchto SK plátků byly i konkurenční firmou podrobeny průzkumu s potvrzujícími výsledky. Výzkum a vývoj nových materiálů pro výrobu SK plátků tedy je opodstatněný a může přinést zajímavé výsledky v procesu obrábění laminovaných dřevotřískových desek.

Z hodnocení zkušených pracovníků vyplývá, že navzdory propracovanému systému dilatačních otvorů s protihlukovou úpravou PK Dimar je jeho hlučnost znatelně vyšší než hlučnost ostatních. Dá se předpokládat, že vyplňování dilatačních otvorů s protihlukovou úpravou je správnou cestou ke zlepšení této vlastnosti kotoučů.

V prvním cyklu je výkon všech kotoučů zjevně nižší než v několika, či mnoha následujících. S velkou pravděpodobností je to dáno horší kvalitou ostření od výrobců, než je obvyklé od firmy, která prováděla údržbu ve sledovaném období. Je to zřejmě způsobeno snahou výrobců o kvantitu dodávaných nástrojů, při čemž kvalita ostření zaostává. Nedá se předpokládat, že by byla ochota ze strany výrobců tento problém řešit, takže zpracovatelům nezbyvá než to mít na zřeteli.

Další větší výkyvy jsou pravděpodobně způsobeny nehomogeností řezaného materiálu, případně poškozením zubů při řezání. Stinnou stránkou rostoucího využívání odpadu k výrobě DTD je obsah některých nežádoucích prvků ve skladbě těchto desek. Občasný kontakt nástrojů, například s tvrdými kovy, obsaženými v materiálu značně ovlivňuje jejich trvanlivost i životnost. Je zřejmé, že v oblasti detekování kovů při výrobě aglomerovaných materiálů ještě jsou jisté rezervy.

Schlosser (2019) se ve své práci věnoval vlivu materiálu a tvaru zubů na kvalitu řezu při řezání materiálů na bázi dřeva. Z výsledků práce vyplývá, že pro laminované DTD je nejlepší kvality dosaženo použitím pilových kotoučů s trapézovými zuby (TFZ), které jsou předmětem i této práce.

Ryndová (2019) se ve své bakalářské práci zabývá vlivem různých metod řezání na kvalitu řezu při řezání laminovaných DTD, s použitím předřezového agregátu a specializovaného kotouče (bez předřezového agregátu). Výsledky práce jednoznačně neprokazují významný vliv použitých technologií. V porovnání s nimi výsledky této práce můžeme považovat za průkazné. Úplné srovnání prací není možné z důvodu různých použitých nástrojů.

8 Závěr

Bakalářská práce pojednávala o vlivu povrchové úpravy laminováním dřevotřískových desek na opotřebenání pilového kotouče a o jejich trvanlivosti ve výrobě nábytkových dílců.

V rešeršní části byla popsána související tematika zaměřená na kotoučové pily a jejich příslušenství, pilové kotouče a materiály pro jejich výrobu, proces řezání, opotřebenání a údržby nástrojů. Současně byla zmíněna problematika materiálů na bázi dřeva, s důrazem na surové a laminované dřevotřískové desky.

V praktické části byly zhotovovány zkušební vzorky při řezání surových a laminovaných dřevotřískových desek pilovými kotouči od 3 výrobců. Vzorky byly měřeny a vyhodnoceny pomocí digitálního měřicího systému a použity pro zjišťování postupného opotřebenání pilových kotoučů v závislosti na změně kvality řezu.

Ze zjištěných hodnot vyplynulo, že povrchová úprava laminováním výrazně ovlivňuje opotřebenání pilových kotoučů při řezání. Dá se předpokládat snížení doby trvanlivosti při řezání dřevotřískových desek s tímto povrchem přibližně na třetinovou hodnotu oproti deskám surovým.

Na základě naměřených hodnot a posouzení stavu SK plátků po sledovaném období byly zjištěny značné rozdíly v trvanlivosti sledovaných nástrojů. Podle výsledků práce se nedá vyloučit tvrzení výrobce nejlépe hodnoceného kotouče o dvojnásobné životnosti svého nástroje proti konkurenci, v tomto případě proti nejhůře hodnocenému nástroji v této práci. Dle očekávání odborníků dobře obstál i srovnatelný kotouč tuzemského výrobce.

Větší objektivnosti by mohlo být dosaženo použitím více nástrojů od každého výrobce pro jejich srovnání, tím by se mohl eliminovat například vliv nežádoucích prvků, obsažených ve zpracovaných materiálech. Zde může docházet ke zkreslení získaných výsledků. Vliv rozdílné připravenosti nástrojů, ostřených výrobcem by se mohl rovněž eliminovat jejich přeastřením již před prvním použitím.

V současné době zdokonalování kvality povrchů laminovaných dřevotřískových desek je výzkum a vývoj parametrů řezání a materiálů pro výrobu nástrojů nezbytností. Z výsledků této práce vyplývá, že tyto snahy mohou výrazně přispět ke zvýšení životnosti nástrojů a zároveň ke snižování provozních nákladů na jejich údržbu.

9 Zdroje

1. Banski, A. Údržba pílového kotůča so spekanými karbidmi. Zborník referátov odborného seminára – Drevorezné nástroje, Starostlivosť a bezpečnosť pri práci, Zvolen: Technická univerzita, 2000. s. 76-85
2. Barcík, Š. Technika pre výrobu nábytku, Zvolen: Technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-228-2055-4.
3. Barcík, Š., Kvietková, M., Bomba, J., Siklienka, M. Dřevoobráběcí nástroje – údržba a provozování, Praha: Česká zemědělská univerzita, 2013. ISBN 978-80-87415-80-1.
4. Böhm, M., Reisner, J., Bomba, J. Materiály na bázi dřeva, Praha: Česká zemědělská univerzita, 2012. ISBN 978-80-213-2251-6.
5. Gaff, M., Trgala, K., Adamová, T., Svoboda, T. Environmentální přínos využívání recyklovaného dřeva při výrobě aglomerovaných materiálů, Praha: Česká zemědělská univerzita, 2018. ISBN 978-80-213-2852-5
6. Hrázský, J., Král, P. Kompozitní materiály na bázi dřeva – aglomerované materiály, Brno: Mendelova univerzita, 2007. ISBN 978-80-7375-034-3
7. Josten, E., Reiche, T., Wittchen, B. Dřevo a jeho obrábění, Praha: Grada Publishing, a.s., 2010. ISBN 978-80-247-2961-9.
8. Kvietková, M. Obrábění dřeva, Praha: Česká zemědělská univerzita, 2015. ISBN 978-80-213-2604-0.
9. Lisičan, J. Obrábanie a delenie drevných materiálov, Zvolen: Vysoká škola lesnícká a drevárska, 1988, 85–1644–88.
10. Lugosi, A. Faipari szerszámok és gépek kézikönyve, Budapest: Műszaki könyvkiadó, 1987
11. Matovič, A. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1993. ISBN 80-7157-068-9.
12. Overby, A. CNC Machining Handbook, Building, Programming, and Implementation. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 0071623019.
13. Prokeš, S. Údržba a ostření dřevoobráběcích nástrojů, SNTL, Praha, 1980, Dřevo, 45/1990
14. Ryndová, Š. Vliv předřezu stolní kotoučové pily na konečnou kvalitu řezu. Praha, 2019. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská. Vedoucí práce: Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.
15. Štefka, V. Kompozitné drevné materiály, Časť II., Technologia aglomerovaných materiálov, Zvolen: Technická univerzita, 2001. ISBN 80-228-1136-X.
16. [Online 2020-02-27] https://www.naradibosch.com/bosch-pcm-8-s?gclid=CjwKCAjw7e_0BRB7EiwAIH-goEN7zANi5R1-C-Sbdg6UbBE6ieUSHS3PZJwbV_z4GGLJE5Ip2GU-MBoCzDQQA vD_BwE
17. [Online 2020-02-27] <https://www.reparo.cz/technologie-a-produkty/pilarska-technika/kotoucove-a-profilovaci-pily/vnk-dwk-nku-fr12>
18. [Online 2020-02-27] <https://www.woodmizer.cz/Výrobky/Průmyslová-zařízení/Omítací-pily/EG250>

19. [Online 2020-02-27] <https://www.makita-eshop.cz/pokosove-pily-makita/stolni-pila-makita-mlt100-260mm>
20. [Online 2020-02-27] <http://www.pilart.cz/produkt/HOLZ-HER-Sector-1260-Vertikalni-pila-1055/>
21. [Online 2020-02-27] <https://www.panas.cz/katalog/CNC%20velkoplo%C5%A1n%C3%A9%20pily/produkt/sigma-prima-5067>
22. [Online 2020-02-27] <https://cz.kronospan-express.com/cs/decors/view/kronodesign/color/8100>
23. [Online 2020-02-27] <https://www.vollmer-group.com/de/produkte/loesungen-fuer-kreissaegen/bearbeitung-von-span-und-freiflaechen/chc-840-chc-1300>
24. [Online 2020-02-27] <https://www.felder-group.com/cs-cz/produkty/formatovaci-pily-c1947/formatovaci-pila-kappa-550-p143841>
25. [Online 2020-02-27] <http://www.pilana.cz/cz/sk-pilove-kotouce-formatovaci>
26. [Online 2020-02-27] https://www.vollmer-group.com/fileadmin/user_upload/Storage_PL/Used_machines/VOLLMER/CX_100/CX100_e_04_05.pdf
27. [Online 2020-02-27] https://www.dimartooling.com/SawBlade_DT0P_DT0P_D300_Z96
28. [Online 2020-02-27] <http://www.kanefusa.net/en/products/000282.html>
29. [Online 2020-02-27] <http://www.pilana.cz/cz/soucasnost>
30. [Online 2020-02-27] <https://faipar.hu/hirek/gep-es-szerszam/8653/koerfureszlapok-a-butoriparban>