

# Porovnání pilového kotouče s SK a PKD břitovými destičkami

Tomáš Beňáčka

---

Bakalářská práce  
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš Beňačka**  
Osobní číslo: **T21336**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Porovnání pilového kotouče s SK a PKD břitovými destičkami**

## Zásady pro vypracování

- Teoretická studie na dané téma
- Volba pilových kotoučů ve dvou provedení: SK a PKD břitové destičky
- Testování na abrazivním materiálu WPC (wood-plastic composite)
- Analýza kvality řezu a životnosti pilových kotoučů
- Porovnání dat a formulace doporučení

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. JURKO, Jozef a Imrich LUKOVICS. Obrábateľnosť materiálov. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne, Fakulta technologická, 2008, 142 s. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. Monografia. ISBN 9788073187361.
2. HOA, S. V. Principles of the manufacturing of composite materials. Lancaster, PA: DEStech Publications, 2009, 1 online zdroj, IX, 343 pages. ISBN 9781615830985.
3. HUTYROVÁ, Z., et al. Evaluation of texture surface of composite material based on WPC after using machining technology. *Advanced Science Letters*, 2016, 22.3: 678-680.
4. GUO, Xiao Lei, et al. Effects of spindle speed on surface qualities in WPC sawing. *Applied Mechanics and Materials*, 2010, 33: 487-491.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2024**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 4. března 2024

## PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: Tomáš Beňachka

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je srovnání vlastností pilových kotoučů s napájenými SK a PKD břitovými destičkami. Teoretická část se zabývá obecně obráběním materiálů, přiblížením obrábění kotoučovým řezáním, rozdělením pilových kotoučů, jejich použitím a výrobou. Byly popsány základní vlastnosti, parametry a výroba WPC materiálu. V praktické části je proveden test kotoučů, který zjišťoval vlastnosti a praktičnost použití SK a PKD břitových destiček. Závěr práce obsahuje vyhodnocení získaných dat.

Klíčová slova: pilový kotouč, řezání, polykrystalický diamant, slinitý karbid, obrábění, kompozitní materiál

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to compare the properties of saw blades with TCT and PCD teeth tips. Theoretical part focuses on general material machining, approaching circular sawing, classification of saw blades, their application and production. The basic properties, parameters and production of WPC material are described. In the practical part, a blade test was conducted to determine the properties and practicality of using TCT and PCD teeth tips. The conclusion of the work was devoted to the evaluation of the testing from the obtained data.

Keywords: saw blade, cutting, polycrystalline diamond, tungsten carbide, machining, composite material

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph. D., za odborné vedení a rady během vypracovávání práce. Velké poděkování také patří mé partnerce Lucii, za podporu během celého studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>11</b>
1.1 ZPŮSOBY OBRÁBĚNÍ.....	11
1.1.1 Konvenční způsoby.....	11
1.1.2 Nekonvenční způsoby.....	12
1.2 OBRÁBĚNÍ KOTOUČOVÝM ŘEZÁNÍM.....	12
1.2.1 Geometrie zubů pilových kotoučů.....	13
<b>2 PILOVÉ KOTOUČE</b> .....	<b>14</b>
2.1 PILOVÉ KOTOUČE S BŘITOVÝMI DESTIČKAMI ZE SLINUTÝCH KARBIDŮ.....	15
2.1.1 Charakteristika břitových destiček ze slinutých karbidů.....	16
2.1.2 Výroba slinutých karbidů.....	17
2.1.3 Typy břitových destiček ze slinutých karbidů.....	20
2.2 PILOVÉ KOTOUČE S BŘITOVÝMI DESTIČKAMI Z POLYKRystalického KUBICKÉHO DIAMANTU.....	21
2.2.1 Charakteristika břitových destiček z polykrystalického kubického diamantu.....	22
2.2.2 Výroba polykrystalického kubického diamantu.....	23
<b>3 WOOD-PLASTIC COMPOSITE MATERIÁL</b> .....	<b>25</b>
3.1 CHARAKTERISTIKA WPC MATERIÁLU.....	25
3.2 VÝROBA WPC MATERIÁLU.....	26
<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI</b> .....	<b>29</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>30</b>
<b>4 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>31</b>
<b>5 TESTOVÁNÍ SK A PKD PILOVÝCH KOTOUČŮ</b> .....	<b>32</b>
5.1 POPIS ŘEZANÉHO WPC MATERIÁLU.....	32
5.2 POPIS POUŽITÉHO STROJE NA ŘEZÁNÍ.....	32
5.3 POPIS TESTU SK A PKD KOTOUČE.....	33
<b>6 VYHODNOCENÍ TESTU ŘEZÁNÍ</b> .....	<b>35</b>
6.1 POPIS VYHODNOCOVÁNÍ.....	35
6.2 VYHODNOCENÍ SK KOTOUČE.....	36
6.3 VYHODNOCENÍ PKD KOTOUČE.....	39
6.4 SROVNÁNÍ SK A PKD KOTOUČE.....	42
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>44</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>47</b>

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>48</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>49</b>



## ÚVOD

Dělení materiálů řezáním za pomoci pilových kotoučů je jedním z nejstarších a nejpoužívanějších způsobů obrábění. I přes veškeré informace, znalosti a zkušenosti, které o tomto typu obrábění jsou k dispozici, se díky vývoji nových a vylepšených materiálů pro výroby nástrojů, ale i materiálů, které je potřeba obrábět, strojírenství v této oblasti neustále vyvíjí.

Ve světě se stále častěji využívají recyklované a kompozitní materiály jako je například Wood-Plastic-Composite (WPC). S tímto materiálem se můžeme setkat ve spoustě průmyslových odvětvích jako je nábytkářství, stavebnictví a podobně. Tento materiál je prezentován jako ekologická náhrada přírodního dřeva, který některými svými vlastnostmi dokáže přírodní dřevo i překonat. Díky tomu je k WPC materiálu často přistupováno jako ke dřevu i z hlediska obrábění a je obráběn stejnými nástroji, technologiemi a postupy jako dřevo. Vzhledem k různým variantám složení WPC materiálu se mění i jeho vlastnosti, a to má často vliv na životnost nástrojů, kterými je obráběn.

Pro podélné a příčné řezání masivního dřeva se v praxi používají převážně pilové kotouče SK.

Tato bakalářská práce je zaměřena na srovnání SK a PKD pilových kotoučů při řezání WPC materiálu, kde je jako plnivo použit bambus. U tohoto materiálu je rozdíl v životnosti nástrojů na obrábění oproti přírodnímu masivnímu dřevu značný, a proto cílem této práce je zjistit, který z nástrojů je vzhledem k jejich podstatně rozdílné ceně vhodnější a jeho použití efektivnější.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, během kterého chceme dosáhnout požadovaného tvaru obráběné součásti jejím tvarováním nebo odstraňováním materiálu pomocí mechanických, elektrických a chemických účinků nebo jejich kombinací. Obrábění je klíčový prvek výrobního procesu, který umožňuje vytvářet složité komponenty s vysokou přesností a kvalitou. [1]

## 1.1 Způsoby obrábění

Způsob obrábění závisí vždy na několika faktorech, které jsou specifické pro daný projekt. Rozhodující parametry, které ovlivňují volbu způsobu obrábění zahrnují hlavně typ obráběného materiálu neboli jeho obrobiteľnost. Zkoumání obrobiteľnosti se proto věnuje velká pozornost. Znalost přesných a spolehlivých informací o obrobiteľnosti materiálu před jeho vstupem do výroby je v dnešní době nutnost. Na základě těchto informací jsme schopni nastavit vhodné podmínky procesu obrábění a vyvarovat se chybám ještě před výrobou.

Důležité jsou i požadované vlastnosti výrobku, jako jsou například tvarová přesnost, drsnost, složitost výrobku apod. Neméně důležitým parametrem pro výběr způsobu obrábění je i technická vybavenost výrobního prostředí, jeho automatizace, dostupnost nástrojů, velikost výrobní série, časové omezení, ale i zkušenosti a dovednosti personálu. Nedostatečná dovednost personálu může mít zásadní negativní vliv na kvalitu výrobku, což je potřeba brát v potaz.

Způsoby obrábění dělíme do dvou základních kategorií, což je konvenční a nekonvenční obrábění. [2]

### 1.1.1 Konvenční způsoby

Konvenční způsoby obrábění, často označované jako „klasické způsoby třískového obrábění“ patří obrábění, kde proces fyzikálně mechanického oddělování materiálu obrobku (řezání) probíhá břitím nástroje. Podle způsobu tohoto oddělování materiálu rozlišujeme řezný proces kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání, kotoučové řezání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). [3]

Při tomto způsobu obrábění pevným nástrojem je velmi důležitý tvar břitu nástroje a tím pádem i tvorba třísky, odolnost tohoto nástroje proti opotřebení. Během tohoto obrábění

musíme brát v potaz síly a teploty, které na břit nástroje působí a tomu přizpůsobit i samotné obrábění a výběr jeho způsobu. [4]

### 1.1.2 Nekonvenční způsoby

Někdy nelze klasické konvenční obrábění použít z důvodu požadované kvality obrábění, špatné obrobitelnosti materiálu, tvarové složitosti, produktivity práce a podobně. Některé materiály nejdou dokonce obrábět konvenčními způsoby vůbec.

V těchto případech je potřeba obrábění provádět tzv. nekonvenční metodou. Při tomto obrábění se většinou pro úběr materiálu na obrobku nepoužívá mechanická práce, ale využívá se tepelných, elektrických, chemických, ultrazvukových, abrazivních nebo jiných fyzikálních jevů, případně jejich kombinací.

Jedná se například o elektroerozivní obrábění nebo elektrochemické obrábění, které se používá například pro tvarování dutin, drátové řezání plochých nástrojů a dílů apod. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena stroje, energetická náročnost a nízká produktivita práce z důvodu malých objemových úběrů materiálu. Výhodou je ale velmi vysoká přesnost obrábění i velmi tvrdých materiálů.

Velmi často používanou nekonvenční metodou obrábění je použití laseru pro dělení materiálu. Jedná se o velmi efektivní způsob dělení, který je velmi variabilní a přesný. Laser se dá použít i pro obrábění, značení nebo nanášení povlaků.

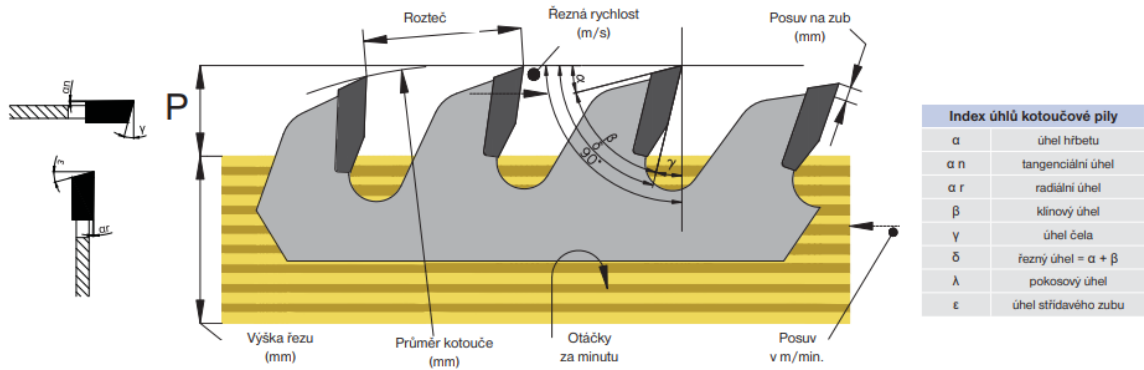
Velmi abrazivní nebo tvrdé materiály se dají velmi dobře obrábět pomocí kapalinového (vodního) paprsku. Je možné řezat i kamenné materiály, sklo, kompozitní materiály apod.

Nekonvenční metody se ve světě používají stále více. S jejich rozmachem se stávají i cenově dostupnější a pro svou jednoduchou aplikovatelnost v automatizované výrobě se dá očekávat stále častější používání. [5]

## 1.2 Obrábění kotoučovým řezáním

Řezání je stále jeden z nejpoužívanějších způsobů dělení tyčových a deskových materiálů. Je to operace, během které se vnikáním břitu nástroje do obrobku odebírá materiál ve tvaru třísek. Tato definice řezání platí obecně pro všechny typy obrábění za pomoci řezných nástrojů. Konkrétně při obrábění kotoučovým řezáním koná pilový kotouč otáčivý pohyb a obrobek koná přímočarý posuvný pohyb neboli přísuv. U některých konstrukcí strojů může

být obrobek upnutý pevně a pilový kotouč konat otáčivý pohyb i posuv. [6]



Obrázek 1 úhly pilového kotouče [7]

### 1.2.1 Geometrie zubů pilových kotoučů

Pilové kotouče se vyrábí s různou geometrií zubů, případně jejich kombinace. Geometrie zubu se volí na základě řezaného materiálu a požadavku na kvalitu řezu nebo životnost kotouče. Nejčastěji používané geometrie jsou FZ a WZ pro řezání materiálů na bázi dřeva, TFZ pro řezání plastů a neželezných kovů. Pro řezání specifických materiálů nebo za specifických podmínek navrhuje geometrii zubů výrobce pilových kotoučů na základě zkušeností a testů, případně na základě cenových požadavků zákazníka. Složitější geometrie zubů jsou náročnější na výrobu a tím pádem i dražší. [7]

	FZ	rovný zub		TFZ	trapezový zub střídavě s rovným zubem		WZ/SSW	
	FZ N	rovný zub s negativním úhlem čela		TFZ N	trapezový zub střídavě s rovným zubem s negativním úhlem čela			
	LFZ	rovný zub s omezovačem úběru třísky						
	WZ	střídavý zub		DHZ	rovný dutý zub střídavě se střechovitým dutým zubem		WZ/FA	
	WZ N	střídavý zub s negativním úhlem čela		DHZ N	rovný dutý zub střídavě se střechovitým dutým zubem s negativním úhlem čela			
	LWZ	střídavý zub s omezovačem úběru třísky						
	TZ	trapezový zub		KON FZ	kónický zub		WZ/W	
	TZ/TZ			KON WZ				
	KZ FZ	soudečkový zub		WZ/FA/K	plexi		WZ/FA/N	

Obrázek 2 Geometrie pilových kotoučů [7]

## 2 PILOVÉ KOTOUČE

Pro uspokojení rostoucích požadavků na efektivitu výroby je vyvíjen tlak na zvyšování otáček pilových kotoučů, rychlostí posuvů, zmenšování tloušťky pilových kotoučů z důvodu větší výtěžnosti a životnost kotoučů samotných. Těmito změnami je vyvíjen větší tlak na výrobce, kteří musí pro zvyšování výkonu pilových kotoučů používat odolnější materiály pro výrobu kotoučů a dosahovat vyšších výrobních přesností, než tomu bylo dříve.

Pilový kotouč má malou tloušťku ve srovnání s jeho velkým průměrem, a proto vykazuje špatnou dynamickou stabilitu. I frekvence blízká nule nebo malá boční síla mohou způsobit prudké vibrace v kotouči pily a to může vést ke špatné kvalitě řezu, zkrácení životnosti pilového kotouče případně i jeho destrukce. [8]



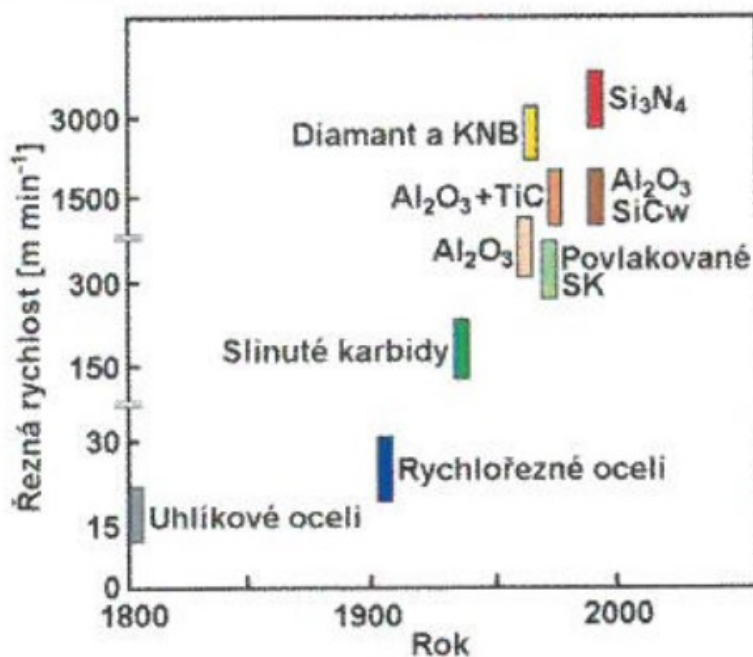
Obrázek 3 *Pilové kotouče*

Minimální vibrace a co nejlepší vyvážení kotouče jsou tedy při používání pilových kotoučů nezbytné. Na kotoučích se proto často používají pasivní tlumící prvky, dilatační drážky a chladicí otvory, které dokážou vibrace a vlnění kotoučů částečně omezit.

Pilové kotouče mohou vydávat hluk, který může být při běhu naprázdno i vyšší, než při samotném řezání. Tento hluk je též znám jako „pískání kotouče“, a vzniká pohybem zubů a zubových mezer při vysoké rezné rychlosti ve vzduchu a vytvářením turbulentní proudění.

Tuto turbulenci lze výrazně snížit, když je dobře zvolen tvar mezizubových mezer, tvar zubů, případně se může tělo kotouče opatřit protihlukovými drážkami, které mohou být navíc ještě vyplněny elastickým materiálem pro zmírnění rezonance kotouče. [9]

Na výkonnost pilových kotoučů zásadní vliv i materiál břitu kotouče, který se vlivem dlouhodobého výzkumu a vývoje neustále zlepšuje. V dnešní době se břity řezných nástrojů vyrábějí nejčastěji z rychlořezných nástrojových ocelí, nepovlakovaných i povlakovaných slinutých karbidů, keramiky nebo i ze supertvrdých materiálů jako je syntetický diamant (PKD) nebo kubický nitrid boru. [1]



Obrázek 4 Historický vývoj řezných rychlostí [1]

## 2.1 Pilové kotouče s břitovými destičkami ze slinutých karbidů

Pro řezání materiálů, kde z hlediska řezných parametrů nejsou dostačující pilové kotouče z kalené nástrojové oceli se používají pilové kotouče s břitovými destičkami ze slinutých karbidů (dále jen SK). Tyto destičky poskytují břitu nástroje řezné lepší parametry, což nástroji poskytuje vyšší životnost ostří a zároveň i možnost řezání tvrdých nebo abrazivnějších materiálů. [1]

Tyto SK břitové destičky se na tělo pilového kotouče pájí ve formě polotovaru, který ještě nemá finální tvarové rozměry. Následně po napájení teprve dochází k broušení destičky

do požadovaného tvaru a na správnou geometrii zubu podle toho, pro jaké použití bude kotouč určen.



Obrázek 5 SK pilové kotouče

### 2.1.1 Charakteristika břitových destiček ze slinutých karbidů

SK břitové destičky jsou charakteristické tím, že mají větší tvrdost, ale zároveň i větší houževnatost než kalená nástrojová ocel. Mají vysokou teplotní odolnost a jsou chemicky stálé. Pomocí směsí, které jsou použity při výrobě SK destičky se mění jejich vlastnosti a tím pádem můžeme vybrat destičku, který má vhodné parametry pro požadované použití. Tyto břitové destičky lze tvarově a rozměrově upravovat pouze broušením, elektroerozivní metodou nebo lapováním. Z tohoto důvodu je vhodné vybírat tvar polotovaru destičky, který je nejpodobnější výslednému tvaru břitové destičky po naostření.

SK nejsou slitinou, ale směsí dvou a více fází, proto není možné provést jakékoliv další tepelné zpracování. Vlastnosti SK destičky jsou tedy po jejím vyrobení konečné.

[10]



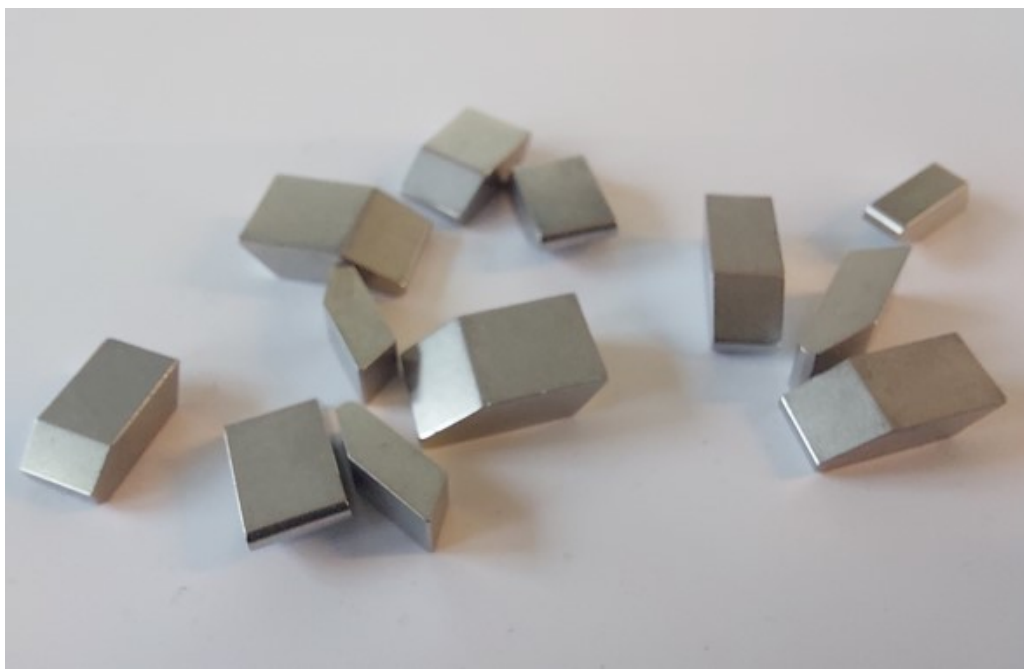
### 2.1.2 Výroba slinutých karbidů

Slinuté se vyrábí práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů, jako je karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a nízkotavitelné slinovadlo kobaltu (STT 2/1, ST).

WC – zaručuje tvrdost za vysoké teploty, zvyšuje odolnost proti opotřebení a chemickou stálos. TiC – zvyšuje tvrdost a chemická stálost, ale naopak snižuje pevnost v ohybu a destička je poté křehčí. TaC – má podobné vlastnosti jako TiC, ale dokáže navíc zjemnit strukturu SK destičky. Kobalt, který vytváří síťové pojivo mezi je houževnatý a zajišťuje pevnost

SK v ohybu. S jeho rostoucím množstvím ve směsi ale klesá tvrdost SK.

Změnou poměru jednotlivých složek při výrobě SK destičky lze měnit jejich vlastnosti jako jsou tvrdost, houževnatost nebo odolnost proti otěru. [10]



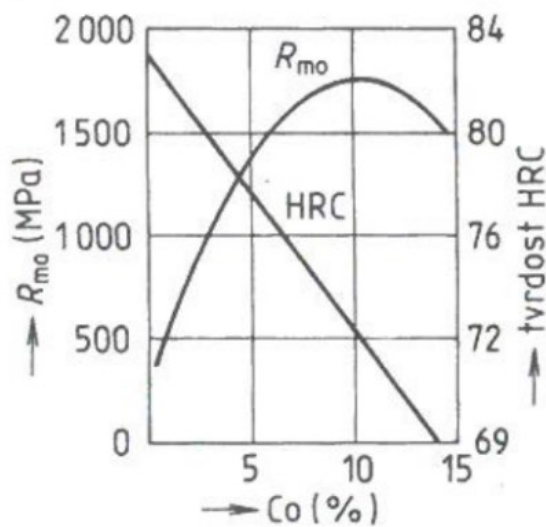
Obrázek 6 SK destičky

Samotná výroba slinutých karbidů metodou práškové metalurgie začíná přípravou prášků nebo granulátu karbidu a pojiva, nejčastěji kobaltu v patřičném poměru podle daného SK, který chceme vyrábět. Následně probíhá míchání a mletí, aby došlo k vytvoření, jemnozrnné, homogenní práškové směsi, kde jsou rovnoměrně rozptýlená karbidická zrna

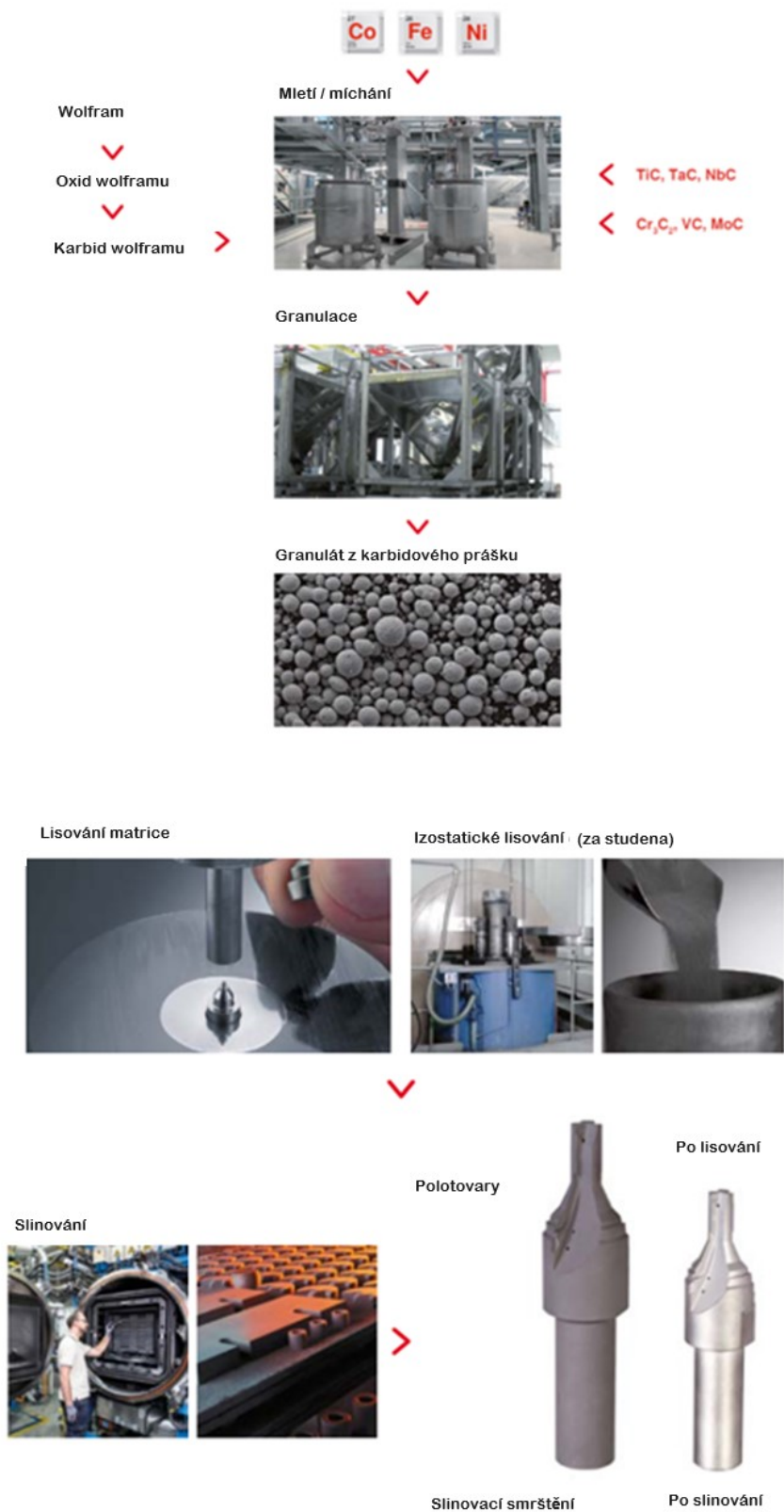
dokonale obalena ještě jemnějším práškem pojícího kovu. Práškový kobalt tedy musí mít nejjemnější možnou strukturu.

Takto vytvořená směs se poté formuje, nejčastěji ve formovacích lisech, kde se tlaky lisování pohybují v rozmezí 50 – 150 MPa. Pro snížení tření v lisovací formě, zachování tvaru po lisování a pro zvýšení stupně zhutnění se do lisované směsi přidává ještě plastifikátor v množství 0,5 – 2 hm. %.

Vylisované tělesa se poté umístí do slinovací pece, kde ohříváním a ochlazováním za řízených podmínek v ochranné atmosféře. Tento slinovací proces je rozdělen do dvou fází. První nastává proces předslinování za teploty 700 – 850 °C, čímž se z tělesa odstraní plastifikátor bez změny tvaru nebo chemického složení. Druhou částí slinovacího procesu je samotné slinování při teplotě 1350 – 1650 °C. Po skončení slinování je výrobek zcela zhutněn a má požadované mechanické vlastnosti. [1]



Obrázek 7 Závislost tvrdosti podle Rockwella (HRC) a pevnosti v ohybu ( $R_{mo}$ ) slinutých karbidů (SK) na obsahu kobaltu. [10]



Obrázek 8 Proces výroby SK destičky [11]

### 2.1.3 Typy břitových destiček ze slinutých karbidů

SK břitové destičky a nepovlakované slinuté karbid obecně se dělí podle normy ČSN ISO 513 na tři nejpoužívanější kategorie (P, M a K). Kategorie jsou rozděleny podle použití, na které je SK určený a ne podle vlastností nebo složení. Proto se může složení nebo vlastnosti SK destičky u jednotlivých výrobců lišit, i když bude destička ve stejné kategorii.

Destičky typu P (označováno modrou barvou) jsou určené pro obrábění železných kovů s dlouhou třískou. Destičky typu M (označováno žlutou barvou) jsou určeny pro obrábění železných kovů s krátkou i dlouhou třískou a k obrábění neželezných kovů. Destičky typu K jsou určené k obrábění železných kovů s krátkou třískou a k obrábění neželezných kovů, plastů, dřevo a dalších nekovových materiálů.

Vzhledem ke svému složení se SK často nazývají jako jednodokarbidové (K) dvojdokarbidové (P) a vícedokarbidové (M).

Z tohoto hlediska lze ke skupinám přiřadit následující složení:

- Skupina K: WC (87÷92) % + Co (4÷12) % + TaC
- Skupina P: WC (30÷82) % + TiC (8÷64) % + Co (5÷17) % + TaC
- Skupina M: WC (79÷84) % + TiC (5÷10) % + Co (6÷15) % + TaC (4÷7) %

Ve skupinách K a P je karbid tantalu TaC ve většině případů pro zabránění růstu zrna během hlavních karbidických fází a nevytváří samostatnou strukturní složku.

Kromě názvu skupiny bývají SK ještě označovány číslem podskupiny (např. K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K40), kde se s rostoucím číslem zvyšuje obsah pojícího kovu, což znamená, že roste houževnatost a pevnost v ohybu, ale naopak klesá tvrdost a otěruvzdornost. Z hlediska doporučených řezných podmínek to znamená, že s rostoucím číslem podskupiny roste rychlost posuvu a průřez odebírané třísky, ale klesá řezná rychlost.

[1]

Označení	Složení [%] 1) ve většině případů obsahuje NbC (5+40 %)			Měrná hmotnost [g cm <sup>-3</sup> ]	Tvrdost [HV]	Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Měrná tepelná vodivost [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	Součinitel délkové roztažnosti [10 <sup>-6</sup> .K <sup>-1</sup> ]
	WC	TiC+TaC <sup>1)</sup>	Co							
P01.2	30	64	6	7,2	1 800	750	3 500	-	-	-
P01.3	51	43	6	8,5	1 750	900	4 200	460	17	7,5
P01.4	62	33	5	10,1	1 750	1 000	4 100	480	17	7,5
P02	33	59	6	-	1 650	800	5 100	440	-	7,5
P03	32	56	12	-	1 500	1 000	5 250	430	-	8,0
P04	62	33	5	-	1 700	1 000	5 250	500	-	7,0
P05	77	18	5	12,2	1 700	1 100	4 300	-	-	6,0
P10	63	28	-	10,7	-	-	4 600	-	29	-
	55	36	9	-	1 600	1 300	5 200	530	-	6,5
P15	71	20	9	-	1 500	1 400	5 100	530	-	6,5
P20	76	14	10	11,9	1 550	1 500	4 800	540	34	6,0
P25	71	20	9	12,4	1 450	1 750	4 800	550	42	6,0
P30	82	8	10	13,1	1 500	1 700	5 000	560	59	5,5
P40	75	12	13	12,7	1 400	1 900	4 900	550	59	5,5
P50	68	15	17	12,5	1 300	2 100	4 000	520	54	-
M10	84	10	6	13,1	1 750	1 350	5 000	580	50	5,5
M15	81	12	7	-	1 550	1 550	5 500	570	-	5,5
M20	82	10	8	13,4	1 550	1 600	5 000	570	63	5,5
M30	81	10	9	14,4	1 450	1 800	4 800	550	63	5,5
M40	79	6	15	13,6	1 300	2 100	4 400	540	67	6,0
K01	92	4	4	15,0	1 800	1 200	5 900	670	84	4,5
K03	92	4	4	-	1 800	1 200	6 200	630	-	5,0
K05	91	3	6	14,5	-	1 400	5 900	650	80	-
	92	2	6	-	1 750	1 350	6 000	630	-	5,0
K10	92	2	6	14,8	1 600	1 500	5 700	630	80	5,0
K20	93	1	6	14,8	-	1 550	1 700	5 200	620	-
	92	2	6	-	-	-	5 500	600	-	5,0
K30	90	1	9	14,4	1 450	1 900	4 700	580	71	5,3
	93	---	7	-	1 400	2 000	4 600	600	-	5,0
K40	87	1	12	14,2	-	2 100	4 500	570	67	-
	88	---	12	-	1 300	2 200	-	580	-	5,5

Obrázek 9 Složení a vlastnosti slinutých karbidů podle rozdělení ISO [1]

## 2.2 Pilové kotouče s břitovými destičkami z polykrystalického kubického diamantu

Pilové kotouče s břitovými destičkami vyrobenými z polykrystalického kubického diamantu (dále jen PKD) se používají pro řezání materiálu, kde pilové kotouče s SK destičkami nebo keramickými destičkami mají nedostatečnou životnost ostří a rychle se zatupí. K tomuto zatupení dochází z důvodu velké tvrdosti nebo abrazivnosti materiálu. Kotouče se používají převážně na řezání cementovláknitých materiálů, dřevěných nebo plastových kompozitů, lamino desek, neželezných kovů, litiny a materiálů s vysokým obsahem křemíku.

Dalším důvodem použití může být složitost stroje, ve kterém je kotouč používán a s tím spojený delší potřebný čas pro jeho výměnu. Delší životnost kotouče tím pádem prodlužuje možný čas používání stroje bez jeho odstavení.

Nevýhodou těchto kotoučů je násobně vyšší cena oproti SK kotoučům a složitější ostření kotouče, pro které nestačí standardní ostříčka s brusným kotoučem, ale speciální ostříčka na PKD kotouče, kterou standardní brusírný nástrojů často nedisponují.



Obrázek 10 PKD pilové kotouče

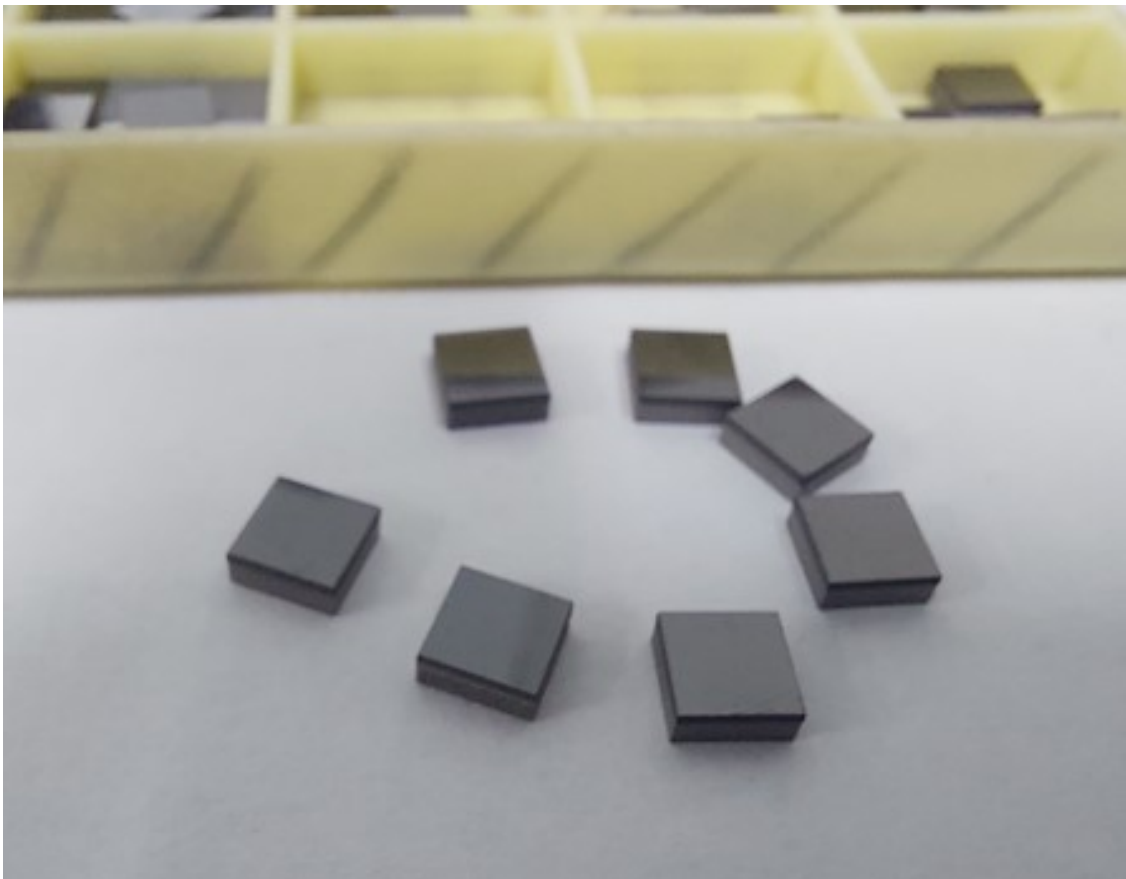
### 2.2.1 Charakteristika břitových destiček z polykrystalického kubického diamantu

Přírodní diamant je nejtvrdší prvek, je nevodivý, chemicky inertní a jedná se v podstatě o čistý uhlík se stopami příměsí, podle kterých se mění jejich zbarvení případně fyzikální vlastnosti. Ve strojírenství se přírodní diamanty používají pouze v případě, že se nehodí ke šperkařství a i tak je to velmi zřídka. [10]

V přírodním diamantu se navíc někdy vyskytuje vnitřní napětí nepříjemných hodnot. Všechny syntetické diamanty jsou naopak jsou prakticky bez jakéhokoliv vnitřního pnutí, takže jeho celý objem je v podstatě homogenní a ve všech osách mají stejnou pevnost, což je pro životnost nástroje ideální. Jeho cena oproti přírodnímu diamantu je navíc nepoměrně nižší. [12]

Vzhledem k tomu, že PKD má relativně nízkou tepelnou stálost, nehodí se na obrábění materiálů na bázi železa. Při teplotách nad 650 °C se diamant přeměňuje na grafit a při obrábění těchto materiálů docházelo k nadměrnému ohřevu, silné difuzi mezi nástrojem a obrobkem a tím i k rychlému opotřebení čela nástroje v důsledku probíhajících chemických reakcí. [1]

Nevýhodou syntetického diamantu je to, že se skládá z relativně malých krystalů, které jsou nevhodné k mechanickému upínání. Tento problém se odstranil vyvinutím tzv. kompakťů, což je vrstva PKD o tloušťce až 1 mm nanesená práškovou metalurgií na podložce z houževnatého slinutého karbidu. Takto vytvořená břitová destička je odolnější a je možné ji pájet na tělo nástroje. [10]



Obrázek 11 *PKD destičky*

### 2.2.2 Výroba polykrystalického kubického diamantu

Nejpoužívanějším způsobem výroby syntetického diamantu je metoda HPHT, což je metoda výroby za pomoci vysokého tlaku a vysoké teploty. Čistý grafitový prášek se zahřívá na teplotu 1 500 – 2 000 °C pod tlakem 5 - 6 GPa v přítomnosti katalyzátorů, jako jsou železo, nikl nebo kobalt. V tomto extrémním, avšak rovnovážném stavu tlaku a teploty se grafit přeměňuje na diamant.

Vytvořený diamant se spolu s pojivem spojí pomocí slinování s podložkou ze slinutého karbidu. Takto vytvořené těleso, nejčastěji kruhového tvaru se následně rozřezává elektroerozivní metodou nebo laserem na požadované segmenty a tvary. [1]



Obrázek 12 *Polotovary řezných nástrojů PCD ve tvarech kotoučů a řezných segmentů pro průmysl přesných nástrojů [13]*



### 3 WOOD-PLASTIC COMPOSITE MATERIÁL

Kompozity obecně jsou materiály, které jsou vyrobené ze dvou a více hlavních složkových materiálů. Zpravidla se jedná o ingredience zahrnující matici a vláknité materiály. V důsledku dobré vazby mezi maticí a vlákny, správného objemového podílu vláken, jejich správné orientaci apod. vznikají materiály, který často svými vlastnostmi nebo parametry převyšují materiály přírodní nebo běžně dostupné. Materiály mohou být pevnější, lehčí, polotovary tvarově bližší finálnímu výrobku, lépe dostupné, ekologičtější apod. Z toho důvodu se kompozitní materiály stále častěji používají ve strojírenství, stavebnictví, automobilovém průmyslu a ve spoustě dalších oborech. Z důvodu náhrady čistě přírodního materiálu dřeva vznikl Wood-plastic composite (dále jen WPC). [14]



Obrázek 13 Výroba WPC [15]

#### 3.1 Charakteristika WPC materiálu

Dřevoplastové kompozity (WPC) jsou průmyslové produkty, které jsou vyrobené z přírodního dřevěného odpadu jako jsou piliny, dřevěná vlákna, rýžové nebo kukuřičné slupky apod., které jsou použité jako vlákna a spojená pomocí odpadního plastu. Hmotností poměr mezi vlákny a plastem bývá různý, ale často bývá ve směsi 40 – 60 % plastu. [16]

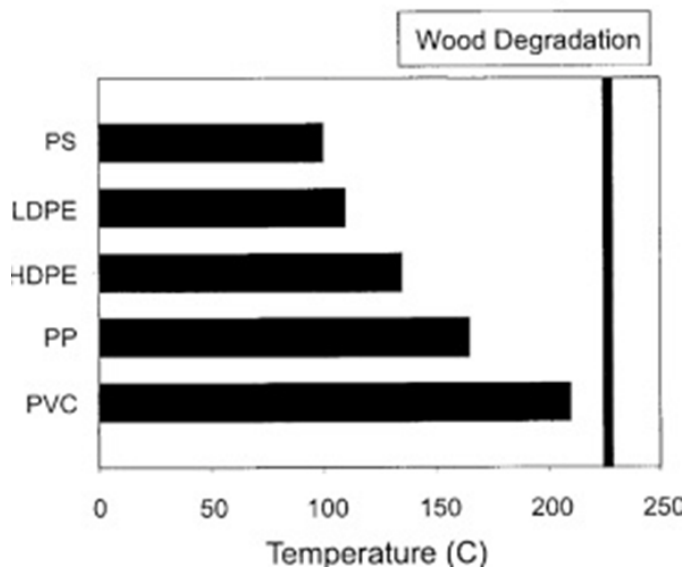
Aplikace WPC zaznamenala v poslední době významný růst, který zahrnuje rozmanitou škálu produktů jako je nábytek, podlahy, dveře, okna, dekorace interiérů apod. Jako výhoda tohoto materiálu je považována barevná stálost a odolnost proti povětrnostním podmínkám, kdy materiál není třeba pravidelně natírat nebo ošetřovat, což znamená i nižší náklady

na údržbu. Materiál je díky použití plastu jako pojiva odolný proti škůdcům a plísním. Vzhledem k tomu, že WPC materiál se vyrábí z recyklovaných materiálů, dá se považovat i za ekologickou alternativu vůči jiným materiálům. Mechanické vlastnosti WPC materiálů bývají často lepší, než vlastnosti původních materiálů, které byly pro výrobu recyklovány.

Na spojování WPC se běžně používají mechanické spojovací prvky, které byly vyvinuty pro dřevo, kov a polymerní materiály. Na druhou stranu lepené spoje ve WPC mohou vykazovat špatné adhezní vlastnosti, stejně jako nativní neplněné polyolefiny (přírodní materiály, které se používají jako plnivo pro WPC). To je způsobeno omezenou smáčivostí a nízkou povrchovou energií polymerů polyolefinové matrice a to může být problematické při navrhování produktů, jako je nábytek z materiálů WPC. Pro zlepšení adhezní schopnosti polyolefinů jsou nezbytné povrchové aktivační úpravy, jako jsou oxidační předúpravy. Nejběžnější předúpravy, které se již používají v průmyslu polymerů, jsou chemické, plamenové, korónové, plazmové a UV ozařování. [17]

### 3.2 Výroba WPC materiálu

WPC se vyrábí smícháním termoplastických polymerů a přírodních vláken jako jsou dřevěné piliny, kukuřičné nebo rýžové slupky. Nejčastěji používanými polymery pro výrobu WPC jsou nízkohustotní polyethylen (LDPE), polypropylen (PP), polyvinylchlorid (PVC) a polystyren (PS), které jsou pro výrobu vhodné kvůli nízké teplotě zpracování. Vysoké teploty nad 200 °C nejsou pro výrobu vhodné, protože při těchto teplotách může docházet k rozpadu přírodní výstuže. Tyto plasty se nejčastěji získávají v podobě recyklátů z odpadů z měst, obalových materiálů apod.



Obrázek 14 Teplota zpracování pro běžně používané termoplasty [18]

Profily vyráběné z WPC materiálu se vyrábí vytlačováním. Směs přírodního materiálu a plastu se nejdříve smíchá a poté vnikají na vytlačovacích linkách materiál různých profilů. Je důležité, aby byl přírodní materiál co nejlépe obalený plastem. Neobalený materiál má tendenci nasáknout vodou a tím přispívat k jeho degradaci, vzniku vzduchových bublin apod. Do směsi se přidávají ještě cca 2 % objemu spojovacího činidla, které přispívá k dokonalému propojení směsi po zahřátí, 1,5 % UV stabilizátoru pro použití materiálu v exteriérech a barevný pigment pro zbarvení. [17]

Nevýhodou při výrobě WPC materiálů může být sezónnost plodin, které se při výrobě používají jako plnivo. Sezónnost těchto plodin zvyšuje náklady na přípravu jejich vláken v důsledku zvláštního zřetele, který by měl být aplikován během procesu sklizně, sušení, separace, přepravy a skladování. Další důležitou otázkou při výrobě kompozitů vlákno-polymer je místní dostupnost organických vláken. Jutová vlákna mohou být optimální volbou pro vlákno-polymerové kompozity v Bangladéši, zatímco vlákna rýžové slámy jsou optimální v Egyptě. [19]



Obrázek 15 Vytlačovací linka na WPC desky a profily od společnosti Qingdao Sunshine Machinery Co., Ltd. [20]

## SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části bakalářské je zahrnuto představení základních typů obrábění a dále blíže specifikováno kotoučové řezání, které je použito při testech v praktické části bakalářské práce. Detailně jsou vysvětleny základní parametry SK a PKD břitových destiček, které se na pilových kotoučích používají. Dále je popsána jejich výroba, typy a použití. Teoretická část této práce slouží k přiblížení nástrojů, aby byl vytvořen ucelený obrázek před jejich použitím v praktické části.

Jsou představeny základní informace o vlastnostech, výrobě a použití moderního materiálu WPC, se kterým se ve světě kolem nás můžeme setkat stále častěji.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍL PRÁCE

Cílem praktické části bakalářské práce je provést důkladné a komplexní srovnání pilových kotoučů s SK a PKD břitovými destičkami, které budou mít mimo materiál břitových destiček stejné řezné parametry. Vzhledem k násobně vyšší ceně PKD kotouče oproti SK kotouči je hlavním záměrem porovnání vlastností kotoučů, výkonu kotoučů a i praktického použití s cílem definovat případné výhody, nedostatky nebo rozdíly mezi těmito kotouči.

Vzhledem k testování obou typů kotoučů za stejných řezných podmínek, mezi které spadá stejná řezná rychlost, stejný průměr kotouče, počet zubů i jejich geometrie lze případné rozdíly mezi kotouči přisuzovat pouze materiálu, ze kterého je vyroben břit nástroje.

Tento výzkum bude zaměřen na klíčové parametry kotoučů při běžném používání ve výrobním provozu. Tyto parametry jsou především životnost kotouče, odolnost vůči opotřebení, kvalita řezu a praktičnost práce s kotoučem pro obsluhu stroje.

Měření nástroje během testování bude probíhat pomocí profesionálních měřících přístrojů po stejném počtu řezů s každým kotoučem, aby bylo dosaženo objektivních výsledků.

Testovací řezy budou probíhat na moderním materiálu WPC, kde je jako plnivo použito bambusové vlákno. Tento materiál se běžně používá a pro běžné řezání je díky svým vlastnostem velmi problematický. Jeho velmi vysoká abrazivost způsobuje podstatně vysoké zatupování nástroje, což znamená vyšší spotřebu řezných materiálů a časové prostoje stroje při jejich výměně.

Data, která na základě testů a pomocí měření získáme budou analyzována a zpracována tak, aby poskytla co nejucelenější pohled na jednotlivé rozdíly mezi kotouči, praktičnost jejich použití a případnou výhodnost nebo nevýhodnost investice do násobně dražšího PKD kotouče.

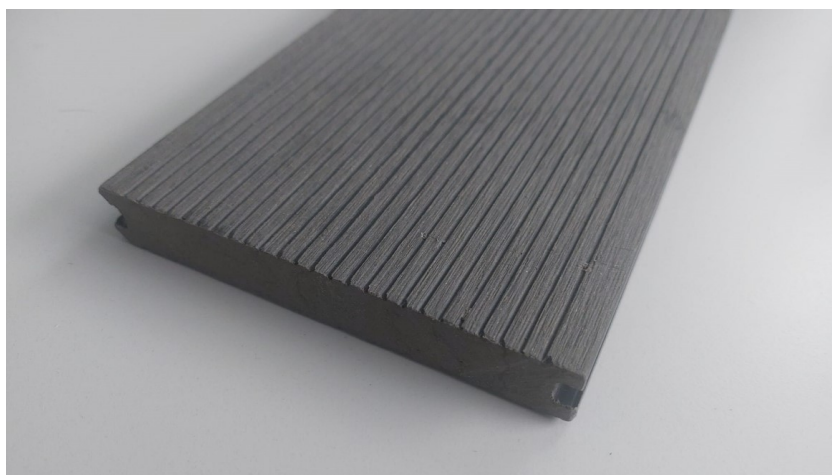
Výsledky této bakalářské práce mohou poskytnout doporučení a informace pro firmy, pracovníky a řemeslníky, kteří tento materiál zpracovávají a můžou na základě těchto výsledků lépe vybrat pilový kotouč, který bude pro jejich práci efektivnější.

## 5 TESTOVÁNÍ SK A PKD PILOVÝCH KOTOUČŮ

Testování řezu bude probíhat při řezání WPC materiálu Lambodeck na pokosové pile Scheppach. Stroj bude osazen pilovým kotoučem, který bude mít ve variantě SK i PKD stejné parametry včetně geometrie břitů. Tím, že budou parametry kotoučů stejné, se budou během testování porovnávat pouze vlastnosti napájených destiček, protože ve všem ostatním jsou kotouče identické.

### 5.1 Popis řezaného WPC materiálu

Řezaný WPC materiál Lambodeck je vyroben čínskou společností Zhejiang Keije New Material Co., LTD. Materiál je vyroben z 50 % z recyklovaného vysokohustotního polyethylenu (HDPE) a z 50 % přírodní dřevo-bambusová vlákna. Jedná se o plný profil bez dutin, který je vyroben extruzí, neboli vytlačováním. Vyrábí se v rozměrech 140 mm x 20 mm a délce 2 900 mm. Povrch WPC profilu je z jedné strany drážkovaný a z druhé strany je na něm vytlačena imitace dřevěné struktury. [21]



Obrázek 16 – WPC Lambodeck

### 5.2 Popis použitého stroje na řezání

Testování probíhalo na stroji značky Scheppach, model HM216. Jedná se o pokosovou pilu, kde je možné použít pilový kotouč do průměru 216 mm. Pila je vybavena tzv. potahem, díky čemuž je na stroji možné řezat materiály až do rozměru 340 mm x 65 mm pro 90 ° řezu. Stroj je poháněn motorem o příkonu 2 000 W a 4 700 ot/min. Vzhledem k absenci redukční převodovky a napojení hnací hřídele přímo na elektromotor, jsou i otáčky pilového kotouče 4 700 ot/min. Pro přesnější vedení řezu je na stroji z výroby instalován laserový ukazatel řezu. [22]



Parametry:

- Příkon: 2 000 W
- Typ motoru: 230 V, 50 Hz
- Průměr kotouče: 216 mm
- Vnitřní průměr kotouče: 30 mm
- Otáčky: 4 700 ot/min
- Rozsah natočení stolu: - 45 / 45 °
- Prořez 45 ° / 45 °: 240 x 38 mm
- Prořez 45 ° / 90 °: 340 x 38 mm
- Prořez 90 ° / 45 °: 240 x 65 mm
- Prořez 90 ° / 90 °: 340 x 65 mm



Obrázek 17 *Scheppach HM216*.

### 5.3 Popis testu SK a PKD kotouče

Testování proběhne přerezáváním desek z WPC materiálu na pokosové pile Scheppach HM216. Pila bude osazena stejnými nepoužitými kotouči v provedení SK a PKD. Konkrétně

se jedná o pilové kotouče 216 x 2,8 / 18 x 30 10 FZ. Toto označení znamená, že se jedná o pilový kotouče o průměru 216 mm s prořezem (šířkou zubu) 2,8 mm, tloušťkou těla 1,8 mm, upínacím otvorem o průměru 30 mm a 10-ti zuby s geometrií FZ – rovný zub. SK kotouč je osazen destičkou K01 s tvrdostí 1800 HV, pevností v ohybu 1200 MPa a pevností v tlaku 5,9 GPa. PKD destičky na kotouči mají tvrdost 7000 HV, pevnost v ohybu 1400 MPa a pevnost v tlaku 6,1 GPa. Těla pilových kotoučů jsou vyrobena v obou případech za materiálu 75Cr1. Testování bude probíhat při řezné rychlosti 53,16 m/s.

Materiál bude během testování přeřezávám na pokosové pile příčně a to tak, že s každým kotoučem bude nařezáno 300 řezů. Poté proběhne změření zatupení břitů a zkontrolováno případné poškození kotoučů. Následně bude nařezáno dalších 300 řezů, po kterých proběhne kontrola a změření. Pokud bude stav kotoučů po těchto 600 řezech umožňovat ještě jejich další testování, provede se dalších 300 řezů. Během řezání se bude kontrolovat kvalita řezu a případně další projevy. Veškeré řezy budou probíhat na stejném materiálu, včetně jeho profilu. Jediný rozdíl může být v barvě materiálu, která nemá vliv na jeho mechanické vlastnosti.

## 6 VYHODNOCENÍ TESTU ŘEZÁNÍ

Během vyhodnocování praktického testování se budeme zaměřovat na životnost nástroje, řezné vlastnosti i pohodlnost práce obsluhy s nástroji.

### 6.1 Popis vyhodnocování

Vyhodnocování zatupení kotoučů bude probíhat na měřícím přístroji od výrobce Loroch, model TC 700. Jedná se o měřicí a dokumentační přístroj, který je konstruován pro měření geometrie břitu zubu pilových kotoučů o průměru 40 – 700 mm.

Zařízení se skládá z mechanického nastavovacího zařízení, držáku pilového kotouče a videojednotky, která dokáže v různých osách pomocí odrazu světla měřit a následně zaznamenat průměr zatupení, neboli šířku řezné hrany s přesností na 0,001 mm. Na pořízených záznamech je možné zároveň detekovat vzniklé trhliny a jiné poškození břitu pilového kotouče. Měření se provádí se zvětšení 20x, 30x nebo 60x, a to buď v režimu procházejícího světla, kdy se zobrazí profil zubu (pouze jeho stín), nebo v režimu odraženého světla. Pro naše použití je potřebné měření v režimu odraženého světla, abychom dokázali změřit zatupení z čelní strany břitu nástroje.

Zařízení je připojeno ke stolnímu počítači, na kterém je instalován speciální software od výrobce stroje, díky kterému je možné pořízené záznamy sledovat online a dále s nimi nakládat. [23]



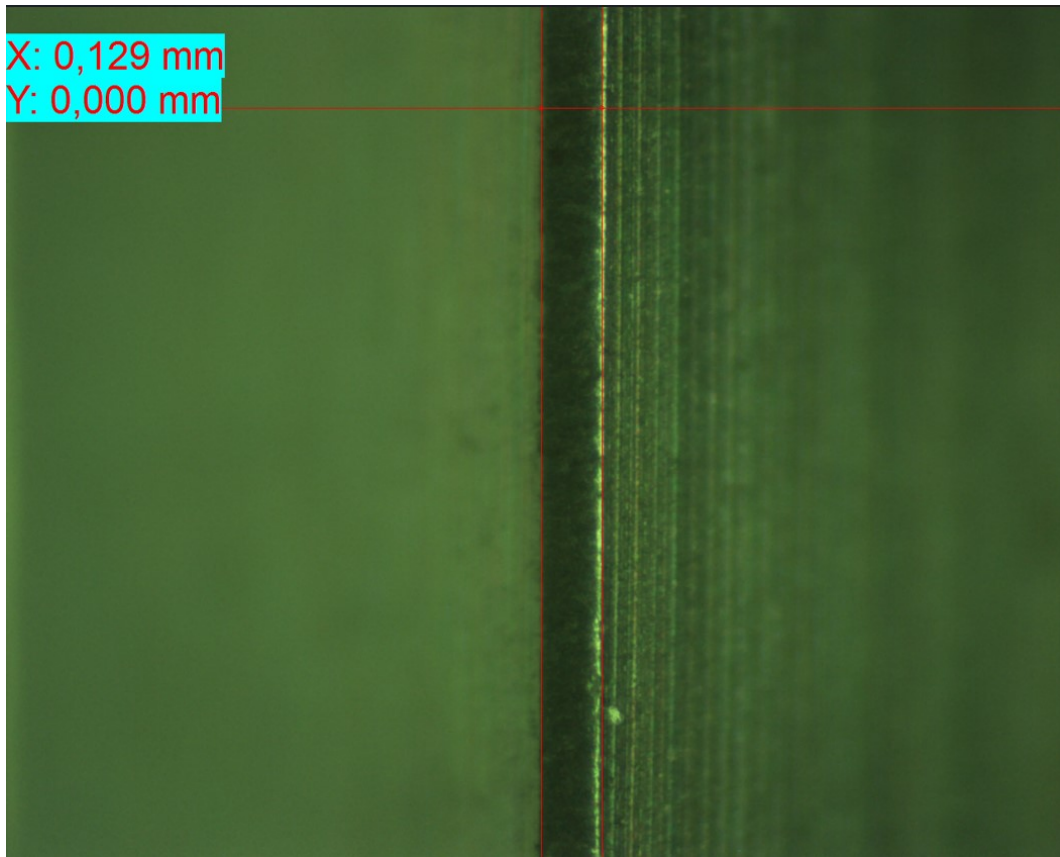
Obrázek 18 *Loroch TC 700*

## 6.2 Vyhodnocení SK kotouče

Pokosová pila byla před testem osazena zcela novým kotoučem, kde je zaoblení ostří 4 - 5 $\mu$ m. Během prvních řezů novým pilovým SK kotoučem byl řez naprosto čistý bez jakýchkoliv otřepů na řezaném materiálu nebo zvýšené hlučnosti. Pro posuv stroje bylo potřeba vyvíjet pouze minimální tlak bez většího odporu.

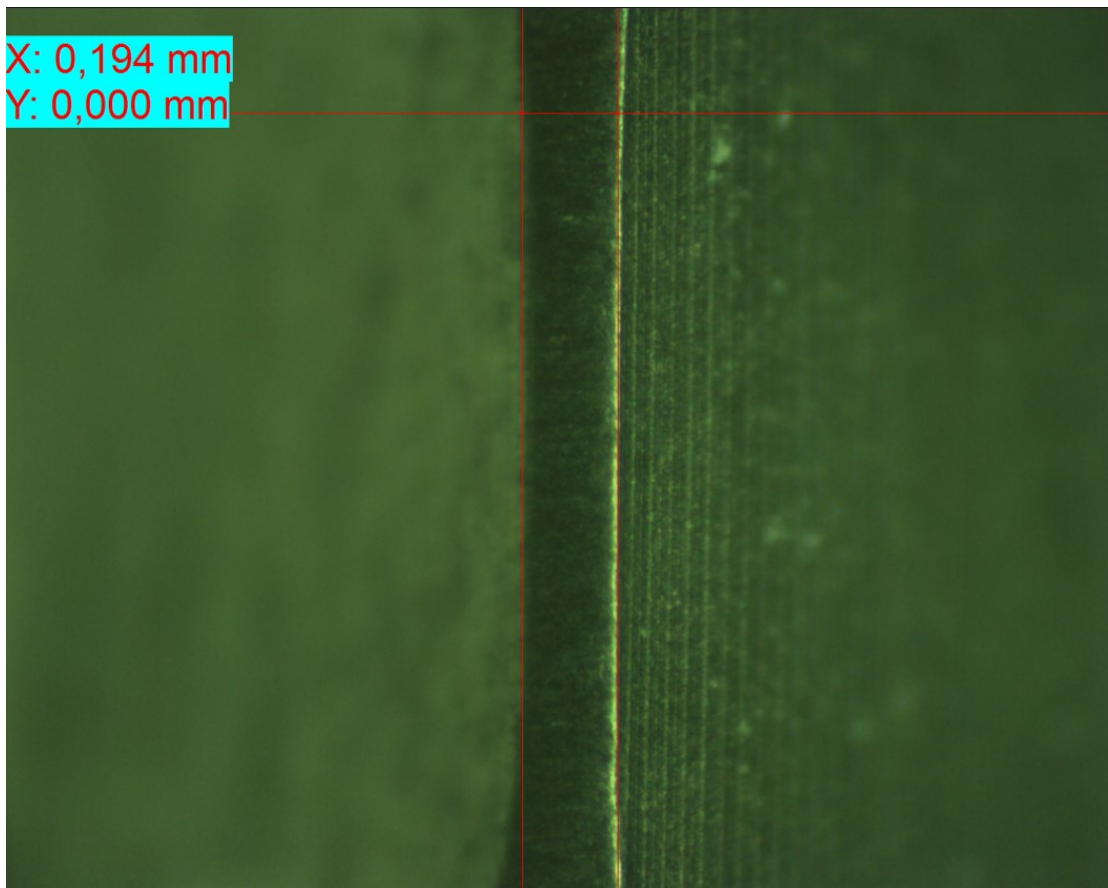
Tento stav probíhal beze změny prvních cca 100 řezů, po kterých začal klást pilový kotouč menší odpor proti posuvu a bylo potřeba pro posuv pilového kotouče vyvíjet zvýšený tlak. Takle změna nicméně neměla žádný vliv na kvalitu řezu. Při 300 řezech už byl rozdíl znatelnější a kotouč se projevoval mírně zvýšenou hlučností. Kvalita řezu byla nicméně stále dobrá, bez viditelných otřepů na hranách řezaného materiálu.

Během měření zatupení po 300 řezech bylo naměřeno zaoblení ostří na hřbetní části zubu 81  $\mu$ m. Na rozích ostří bylo zatupení mírně větší. Opotřebení ostří bylo čistě abrazivní, bez jakýchkoliv lomů nebo trhlin. Do 600 řezů se stav kotouč stále zhoršoval a spolu, se zvyšujícím se potřebným tlakem pro posuv, který už byl značný se začal projevovat mírný zápach pálícího se plastu v řezaném materiálu a na hranách materiálu začaly po řezu zůstat otřepy. Během zjišťování stavu kotouče po 600 řezech bylo zjištěno zaoblení hřbetní části 129  $\mu$ m. Zatupení bylo stále čistě abrazivní způsobené třením mezi SK destičkou a materiálem při řezu.

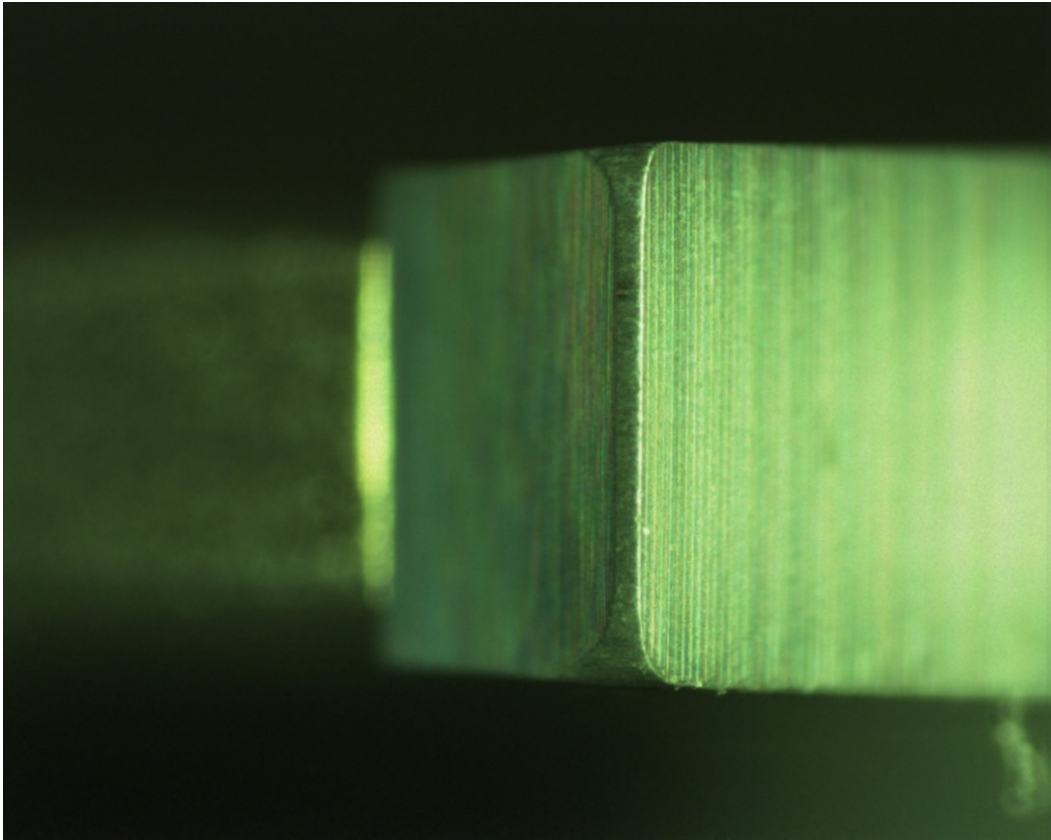


Obrázek 19 Zatupení řezné hrany SK pilového kotouče po 600 řezech – 60x zvětšení

Při následném testování se otřepy na řezaném materiálu zvětšovaly a po cca 800 řezech už bylo nutné řezaný materiál mechanicky zbavovat otřepů. Tlak pro posuv stroje už musel být značný. Dle obsluhy by v tento moment došlo za standartních podmínek k výměně pilového kotouče. Proto bylo testování ukončeno. Pilový kotouč tedy dokázal nařezat 800 řezů. Po těchto 800 řezech bylo naměřeno zaoblení ostří 194  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 20 Zatupení řezné hrany SK pilového kotouče po 800 řezech – 60x zvětšení



Obrázek 21 *Zatupení řezné hrany SK pilového kotouče po 800 řezech – 20x zvětšení*

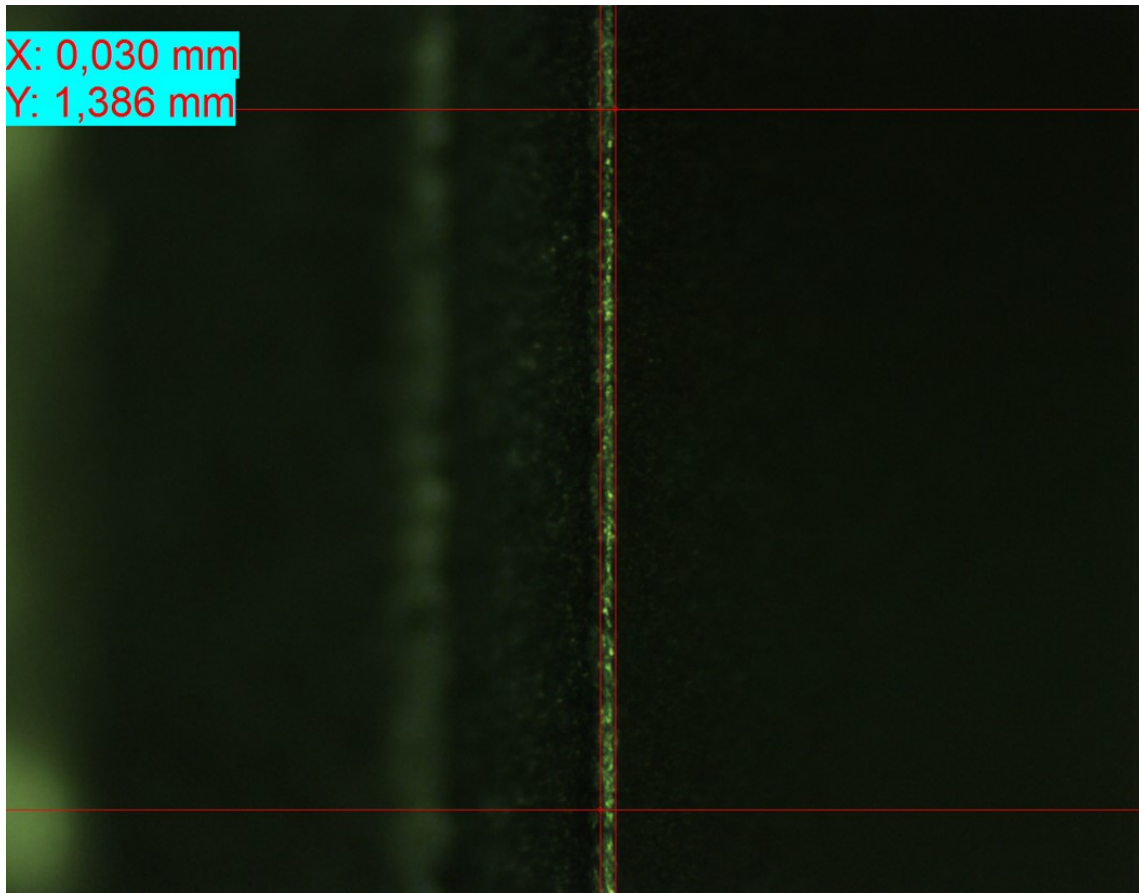
### 6.3 Vyhodnocení PKD kotouče

Testování PKD kotouče probíhalo za identických podmínek jako testování SK kotouče. Na začátku testování byla pokosová pila osazena novým, nepoužitým PKD kotoučem, se zaoblením ostří 4-5  $\mu\text{m}$ .

Na začátku testování byly řezy naprosto čisté, bez jakýchkoliv otřepů na řezaném materiálu. Pro posuv stroje nebylo potřeba vyvíjet zvýšený tlak a řez nebyl doprovázen zvýšeným zvukovým projevem, ani zápachem páleného materiálu. Tento stav byl stejný po celou dobu provádění prvních 300 řezů.

Po 300 řezech bylo na optickém měřicím přístroji Loroch naměřeno zaoblení ostří 24  $\mu\text{m}$ . Na ostří nebylo znatelné žádné poškození, mimo lehké abrazivní opotřebení.

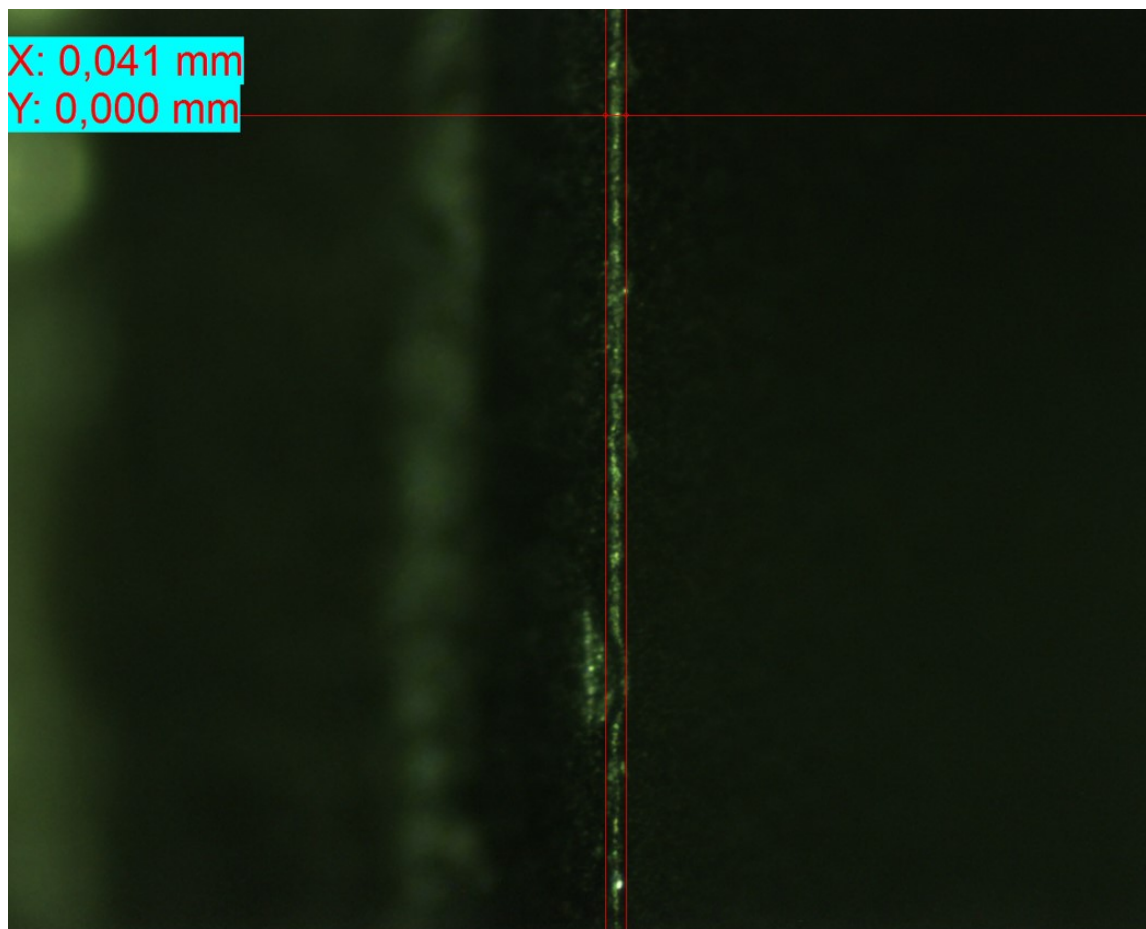
Následujících 300 řezů se neprojevily žádné negativní vlastnosti nebo zhoršení řezných podmínek pilového kotouče. Řezaný materiál měl stále stejnou kvalitu ploch řezu a obsluha po praktické stránce nezpozorovala žádné rozdíly oproti prvním 300 řezům. Po 600 řezech bylo na břitech pilového kotouče naměřeno zaoblení ostří 30  $\mu\text{m}$ . Na ostří je patrné stále pouze lehké abrazivní opotřebení. Na rozích břitů bylo abrazivní opotřebení mírně silnější.



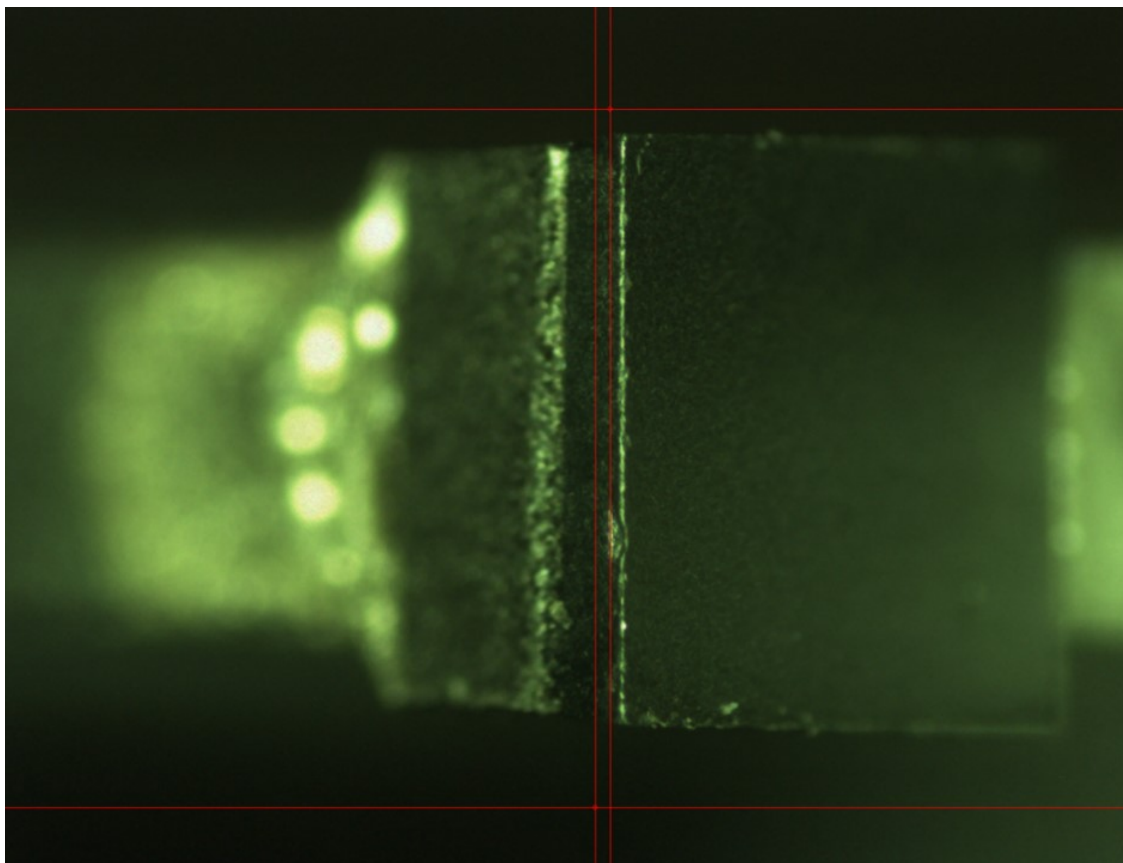
Obrázek 22 Zatupení řezné hrany PKD pilového kotouče po 600 řezech – 60x zvětšení

Během následujících 300 řezů se dle obsluhy stroje mírně zvýšil tlak potřebný pro posuv stroje. Rozdíl byl ale pouze zanedbatelný. Kvalita řezu, hlučnost kotouče, případně zápach zůstal beze změny, tj. jakýchkoliv negativních vlastností. Na optickém měřicím přístroji bylo po 900 řezech naměřeno zaoblení ostří 41  $\mu\text{m}$ . Opotřebení řezné hrany bylo stále pouze abrazivní, nicméně na 2 zubech se objevilo odštípnutí řezné hrany o šířce 60  $\mu\text{m}$  a délce 80  $\mu\text{m}$  viz. obrázek níže. Toto odštípnutí mohlo být způsobeno nečistotou nebo příměsí v řezaném materiálu, která se do něj dostala během výroby. Vzhledem k vyšší tvrdosti PKD destičky oproti SK je PKD na tyto lomy a poškození náchylnější. Toto poškození nicméně nemělo žádný negativní efekt během praktického testu.





Obrázek 23 Zatupení řezné hrany PKD pilového kotouče po 900 řezech – 60x zvětšení



Obrázek 24 Zatupení řezné hrany PKD pilového kotouče po 900 řezech – 20x zvětšení

#### 6.4 Srovnání SK a PKD kotouče

Na začátku testování měl SK i PKD pilový kotouč stejné řezné vlastnosti. Kvalita řezu i práce s nástrojem nevykazovala mezi kotouči žádné rozdíly.

Nicméně u SK pilového kotouče se opotřebení a snížená výkonost kotouče začala projevovat již po 100 řezech a během dalšího testování bylo zhoršování řezných vlastností stále znatelnější. Prvních 600 řezů mělo zhoršování řezných vlastností vliv pouze na pohodlnost práce s nástrojem, nicméně poté se zhoršování začalo projevovat i na kvalitě řezu. Po 800 řezech už měl kotouč tak špatné vlastnosti, že kotouč obsluha stroje vyřadila.

U PKD kotouče se zhoršování řezných podmínek během první 900 řezů v podstatě neprojevovalo. Obsluha stroje zaznamenala během celých 900 řezů pouze zanedbatelné zvýšení tlaku potřebného pro posuv stroje na kvalita řezu se nezhoršila vůbec.

Opotřebení obou kotoučů v závislosti na počtu řezů je téměř lineární. Pokud SK kotouč byl použitelný do zaoblení ostří o průměru 194  $\mu\text{m}$  po 800 řezech, předpokládaná životnost u PKD kotouče, kdy by dosáhl taktéž zaoblení 194  $\mu\text{m}$  by tím pádem byla cca 4 700 řezů.

Životnost PKD kotouče, při řezání testovaného WPC materiálu je tedy cca 5-6ti násobná, oproti SK kotouče.

Požizovací cena použitého SK kotouče se pohybuje mezi 800 – 1 000 Kč vč. DPH podle zvoleného výrobce. Cena testovaného PKD kotouče je 3 000 – 3 500 Kč vč. DPH.

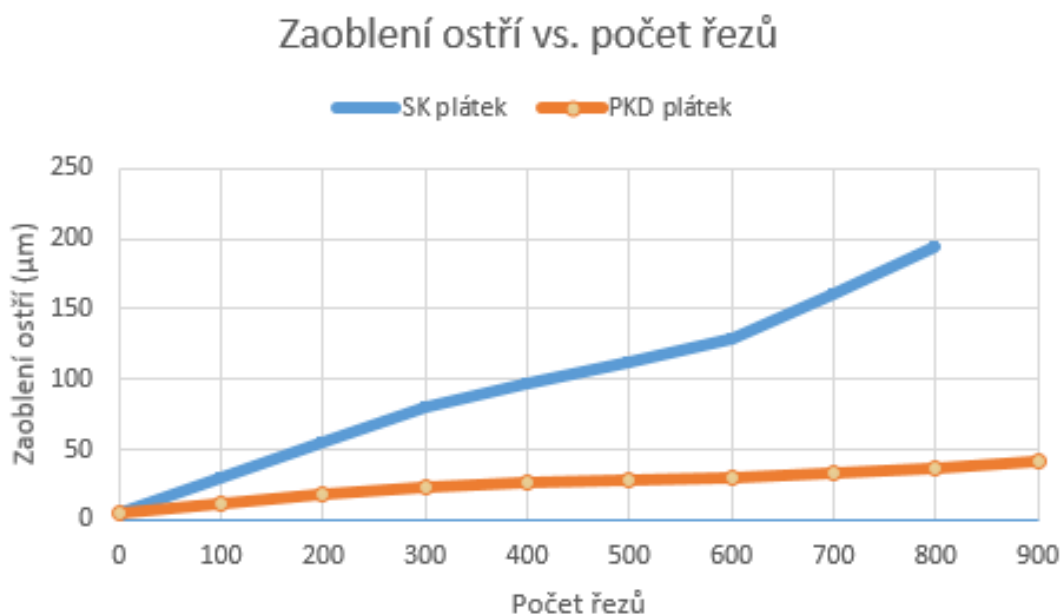
Výhody PKD kotouče oproti SK jsou tedy podstatně vyšší odolnost oproti abrazivnímu opotřebení, způsobené třením mezi řeznou hranou nástroje a řezaným materiálem, pohodlnější práce s nástrojem díky nízké potřebné síle pro posuv nástroje, dlouhodobě rychlejší řez, nižší hluchnost kotouče a časová úspora na výměnu a údržbu kotouče.

Nicméně oproti SK kotouči má PKD kotouč nevýhodu ve větší náchylnosti na poškození prasknutím nebo odštípnutím části břitu nástroje, které může vzniknout například kontaktem s tvrdým materiálem nebo špatnou manipulací obsluhy.

Tabulka 1 Zaoblení ostří / počet řezů

	Počet řezů	0	300	600	800	900
Zatupení [μm]	SK	5	81	129	194	x
	PKD	5	24	30	x	41

Graf 1 Srovnání zaoblení ostří



## ZÁVĚR

V rámci této bakalářské práce byly během praktického použití srovnány rezné vlastnosti a životnost pilového kotouče s destičkami ze slinutých karbidů a kotouče s destičkami z polykrystalického diamantu při příčném řezání desek z WPC materiálu, kde je jako plnivo použit bambus, který je abrazivní.

V praktické části bylo ověřeno, že při řezání dochází k rychlému zatupení a zhoršení rezných vlastností kotouče s SK destičkami, který se standardně k řezání dřevěných a WPC desek používá. Během testu bylo zjištěno, že životnost identického kotouče, který je ale osazen PKD destičkami je životnost kotouče cca 6x vyšší.

Pro aplikace, kde je vyžadována vysoká rychlost řezání, požadavek na vysokou životnost z důvodu vysokého množství prováděných řezů a stabilní kvalitu řezu je PKD kotouč i přes 3-4x vyšší cenu vhodnější. Vzhledem k vyšší křehkosti PKD destiček je třeba dbát zvýšené opatrnosti při manipulaci s kotoučem, nicméně při správném používání si kotouč zachovává stabilně výbornou kvalitu řezu. PKD kotouč by tedy měl být jasnou volbou pro průmyslové uživatele, kteří se pravidelně zabývají řezáním kompozitových materiálů, jako je WPC.

SK pilový kotouč je vhodnější spíše pro jednorázové použití, kdy materiál se nebude řezat pravidelně nebo v podmínkách, kde je zvýšené riziko poškození kotouče a poškození PKD kotouče by znamenalo vyšší majetkovou škodu.

Celkově lze konstatovat, že naše praktické testování přineslo cenné informace a poznatky důležité pro správný výběr pilového kotouče pro řezání WPC materiálu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] JURKO, Jozef a LUKOVICS, Imrich. *Obrábatelnost' materiálův*. První. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2008. ISBN 978-80-7318-736-1.
- [3] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. První. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [4] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. První vydání. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [5] MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1999. ISBN 80-708-2518-9.
- [6] ŘASA, Jaroslav a GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3*. První. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-718-3207-3.
- [7] *SK pilové kotouče, PKD pilové kotouče, Pilové pásy*. 2022.
- [8] LI, Suyang; WANG, Chengyong; ZHENG, Lijuan; WANG, Yujia; XU, Xinpei et al. Dynamic stability of cemented carbide circular saw blades for woodcutting. online. *Journal of Materials Processing Technology*. 2016, roč. 238, s. 108-123. ISSN 09240136. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.07.018>. [cit. 2024-03-04].
- [9] SVOREŇ, Ján; NAŠČÁK, Ľubomír; KOLEDA, Peter; BARCÍK, Štefan a NĚMEC, Miroslav. The circular saw blade body modification by elastic material layer effecting circular saws sound pressure level when idling and cutting. online. *Applied Acoustics*. 2021, roč. 179. ISSN 0003682X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108028>. [cit. 2024-03-04].
- [10] HLUCHÝ, Miroslav a HANĚK, Václav. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3245-6.
- [11] CERATIZIT GROUP. *Carbide is a matter of confidence*. online. In: CERATIZIT GROUP. Ceratizit.com. 2022. Dostupné z: <https://cdn.plansee-group.com/is/content/planseemedia/ceratizit/downloads/pdf/carbide-is-a-matter-of-confidence/03-2022/EN.pdf>. [cit. 2024-03-05].
- [12] GELETA, Vojtech. *Progresívne technológie obrábania*. První vydání. Bratislava: Nakladatelství STU, Bratislava, 2013. ISBN 978-80-227-3997-9.
- [13] VIEWLINK DIAMOND CO., LTD. *Viewlink*. online. In: VIEWLINK DIAMOND CO., LTD. Automotive Industry PCD. 2023. Dostupné z: <https://www.vlink-pcdcutters.com/pcd-blanks/automotive-industry-pcd.html>. [cit. 2024-03-04].
- [14] HOA, Suong V. *Principles of the manufacturing of composite materials*. První vydání. Lancaster: DEStech, 2009. ISBN 978-1-932078-26-8.
- [15] FRIEDRICH, Daniel. Success factors of Wood-Plastic Composites (WPC) as sustainable packaging material: A cross-sector expert study. online. *Sustainable Production and Consumption*. 2022, roč. 30, s. 506-517. ISSN 23525509. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.030>. [cit. 2024-03-04].
- [16] GUO, Xiao; LIU, Hui; GAO, Wei; CAO, Ping a GUO, Yong. Effects of Spindle Speed on Surface Qualities in WPC Sawing. online. *Applied Mechanics and*

- Materials*. 2010, roč. 33, s. 487-491. ISSN 1662-7482. Dostupné z: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.33.487>. [cit. 2024-03-04].
- [17] DIMITRIOU, A.; HALE, M.D. a SPEAR, M.J. The effect of four methods of surface activation for improved adhesion of wood polymer composites (WPCs). online. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2016, roč. 68, s. 188-194. ISSN 01437496. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.03.003>. [cit. 2024-03-04].
- [18] OLAKANMI, Eyitayo a STRYDOM, Moses. Critical materials and processing challenges affecting the interface and functional performance of wood polymer composites (WPCs). online. *Materials Chemistry and Physics*. 2016, roč. 171, s. 290-302. ISSN 02540584. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.01.020>. [cit. 2024-03-05].
- [19] ELSHEIKH, Ammar; PANCHAL, Hitesh; SHANMUGAN, S.; MUTHURAMALINGAM, T.; EL-KASSAS, Ahmed.M. et al. Recent progresses in wood-plastic composites: Pre-processing treatments, manufacturing techniques, recyclability and eco-friendly assessment. online. *Cleaner Engineering and Technology*. 2022, roč. 8. ISSN 26667908. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100450>. [cit. 2024-03-04].
- [20] QINGDAO SUNSHINE MACHINERY CO., LTD. WPC decking manufacturing machine. online. In: QINGDAO SUNSHINE MACHINERY CO., LTD. *Wpcdeckingmachine*. 2023. Dostupné z: <https://wpcdeckingmachine.com/>. [cit. 2024-03-04].
- [21] *WPC Centrum*. online. In: *Wpccentrum.cz*. 2022. Dostupné z: <https://3a76a2a4ae.clvaw-cdnwnd.com/df9423756d43f2b8c09f3f3286b73ed2/200004326-0f9950f999/Technick%C3%BD%20list%20WPC%20podlahy%20Lambodeck.pdf?ph=3a76a2a4ae>. [cit. 2024-04-04].
- [22] *Návod k obsluze Scheppach HM 216*. 1. Scheppach, 2020.
- [23] Loroach TC700 - product list. online. In: *Loroach.de*. 2016. Dostupné z: <https://loroach.de/wp-content/uploads/TC-700-es.pdf>. [cit. 2024-04-22].

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

FZ Rovný zub

HDPE Vysokohustotní polyetylen

PCD Polycrystalic diamant

PKD Polykrystalický diamant

SK Slinutý karbid

STT Nízkotavitelné slinovadlo kobaltu

TaC Karbid tantalu

TiC Karbid titanu

TFZ Trapézový zub

WC Karbid Wolframu

WPC Wood-Plastic-Composite

WZ Střídavě šikmý zub

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 <i>úhly pilového kotouče</i> [7] .....	13
Obrázek 2 <i>Geometrie pilových kotoučů</i> [7] .....	13
Obrázek 3 <i>Pilové kotouče</i> .....	14
Obrázek 4 <i>Historický vývoj řezných rychlostí</i> [1].....	15
Obrázek 5 <i>SK pilové kotouče</i> .....	16
Obrázek 6 <i>SK destičky</i> .....	17
Obrázek 7 <i>Závislost tvrdosti podle Rockwella (HRC) a pevnosti v ohybu (<math>R_{m0}</math>) slinutých karbidů (SK) na obsahu kobaltu.</i> [10] .....	18
Obrázek 8 <i>Proces výroby SK destičky</i> [11].....	19
Obrázek 9 <i>Složení a vlastnosti slinutých karbidů podle rozdělení ISO</i> [1] .....	21
Obrázek 10 <i>PKD pilové kotouče</i> .....	22
Obrázek 11 <i>PKD destičky</i> .....	23
Obrázek 12 <i>Polotovary řezných nástrojů PCD ve tvarech kotoučů a řezných segmentů pro průmysl přesných nástrojů</i> [13] .....	24
Obrázek 13 <i>Výroba WPC</i> [15].....	25
Obrázek 14 <i>Teplota zpracování pro běžně používané termoplasty</i> [18] .....	27
Obrázek 15 <i>Vytlačovací linka na WPC desky a profily od společnosti Qingdao Sunshine Machinery Co., Ltd.</i> [20] .....	28
Obrázek 16 – <i>WPC Lambodeck</i> .....	32
Obrázek 17 <i>Scheppach HM216.</i> .....	33
Obrázek 18 <i>Loroch TC 700</i> .....	35
Obrázek 19 <i>Zatupení řezné hrany SK pilového kotouče po 600 řezech – 60x zvětšení</i> .....	37
Obrázek 20 <i>Zatupení řezné hrany SK pilového kotouče po 800 řezech – 60x zvětšení</i> .....	38
Obrázek 21 <i>Zatupení řezné hrany SK pilového kotouče po 800 řezech – 20x zvětšení</i> .....	39
Obrázek 22 <i>Zatupení řezné hrany PKD pilového kotouče po 600 řezech – 60x zvětšení</i> ....	40
Obrázek 23 <i>Zatupení řezné hrany PKD pilového kotouče po 900 řezech – 60x zvětšení</i> ....	41
Obrázek 24 <i>Zatupení řezné hrany PKD pilového kotouče po 900 řezech – 20x zvětšení</i> ....	42



## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Zaoblení ostří / počet řezů .....	43
---	----