



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## ANALÝZA A VÝZNAM POUŽITÍ PROCESNÍCH KAPALIN PŘI TECHNOLOGII TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

ANALYSIS AND IMPORTANCE OF THE USE OF PROCESS FLUIDS IN MACHINING TECHNOLOGY

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Stodola

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Drbal

BRNO 2025

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Vojtěch Stodola**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Martin Drbal**  
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## **Analýza a význam použití procesních kapalin při technologii třískového obrábění**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Bakalářská práce se bude zabývat analýzou a významem použití procesních kapalin při technologii třískového obrábění s důrazem na jejich hospodárné využití. V teoretické části práce budou charakterizovány procesní kapaliny při procesu třískového obrábění, jejich rozdělení a typy, včetně současných trendů v oblasti ekologického hospodářství. Experimentální část práce bude zahrnovat zhodnocení a aplikaci procesních kapalin z ekonomického hlediska s rozбором nákladů na jejich pořízení, údržbu a eliminace. Součástí práce bude analýza ekologické stopy spojená s použitím procesních kapalin, včetně jejich dopadu na životní prostředí nebo možnosti jejich recyklace. V práci bude charakterizována také možnost obrábění za sucha v různých obráběcích procesech z hlediska efektivity výroby, ale i z pohledu udržitelného rozvoje. Výsledkem práce bude komplexní pohled na řízené hospodaření s procesními kapalinami ve výrobním procesu a výsledným doporučením pro snížení jejich ekonomických i ekologických dopadů.

### **Cíle bakalářské práce:**

Literární rešerše do oblasti použití procesních kapalin.

Charakteristika a použití procesních kapalin při technologii třískového obrábění (obrábění za sucha a za mokra).

Experimentální část – zhodnocení a aplikace (pořízení, údržba, eliminace) procesních kapalin, provedení vlastních experimentů.

Technicko–ekonomické a ekologické zhodnocení dosažených výsledků.

### **Seznam doporučené literatury:**

DORMER PRAMET. Frézování: katalog 2021-2022. DORMER PRAMET, s. r. o., 2021., 790 s.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

ERDEL, B. P. High-speed machining. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers, 2003, 247 s. ISBN 0-87263-649-6.

Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Praha: Scientia, 1997, 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

JERSÁK, J., POPOV, A. a kol. Ekologické obráběcí kapaliny nové generace. Technická univerzita v Liberci, 2014, 88 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá analýzou a významem procesních kapalin při třískovém obrábění. V teoretické části jsou popsány druhy rezných kapalin a také obrábění za sucha. Uvedeny jsou zde i požadavky kladené na kapaliny a způsoby přívodu do místa řezu. Na to navazuje hospodaření s procesními kapalinami. V praktické části jsou porovnány dvě odlišné kapaliny používané ve výrobě ve firmě Dormer Pramet s.r.o. a jejich vliv na s nimi spojené náklady. V experimentu je cílem porovnat obrábění s procesní kapalinou a obrábění za sucha. Jsou testovány dva druhy vyměnitelných břitových destiček, na kterých je sledována trvanlivost a opotřebení.

### **Klíčová slova**

procesní kapalina, rezná kapalina, vyměnitelná břitová destička, opotřebení

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the analysis and importance of the use of process fluids in machining technology. The theoretical part describes the types of cutting fluids and also dry machining. The requirements for the fluids and the methods of supply to the cutting zone are also presented. This is followed by the management of process fluids. The practical part compares two different fluids used in production at Dormer Pramet s.r.o. and their effect on the associated costs. The aim in the experiment is to compare machining with process fluid and dry machining. Two types of replaceable cutting inserts are tested on which durability and wear are monitored.

### **Keywords**

process fluid, cutting fluid, replaceable cutting insert, wear

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

STODOLA, Vojtěch. *Analýza a význam použití procesních kapalin při technologii třískového obrábění*. Online, bakalářská práce. Martin DRBAL (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165672>.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Analýza a význam použití procesních kapalin při technologii třískového obrábění vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 20.5.2025

místo, datum

Vojtěch Stodola

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto svému vedoucímu, Ing. Martinu Drbalovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Dormer Pramet s.r.o. za poskytnutí informací a uskutečnění experimentu.

---

## OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
2 PROCESNÍ KAPALINY A PROSTŘEDÍ.....	11
2.1 Plynné prostředí.....	11
2.2 Kapalné prostředí .....	12
2.2.1 Emulze .....	14
2.2.2 Syntetické a polosyntetické kapaliny .....	15
2.2.3 Řezné oleje .....	15
2.3 Tuhá maziva .....	17
2.4 Požadavky na procesní kapaliny .....	17
2.5 Přívod procesních kapalin do místa řezu.....	20
2.5.1 Vnější přívod .....	21
2.5.2 MQL - mlha .....	22
2.5.3 Vnitřní přívod .....	22
2.6 Hospodaření s kapalinami .....	23
2.6.1 Příprava procesních kapalin.....	23
2.6.2 Čištění a výměna procesních kapalin .....	24
2.6.3 Likvidace procesních kapalin .....	25
3 POROVNÁNÍ PROCESNÍCH KAPALIN VE VÝROBĚ .....	27
3.1 Metalina B 800 .....	28
3.2 Blaser Synergy 735 .....	28
3.3 Poznatky z používání kapalin ve firmě Dormer Pramet s.r.o.....	29
4 TESTOVÁNÍ TRVANLIVOSTI A OPOTŘEBENÍ VBD .....	31
4.1 Informace o experimentu.....	32
4.2 Vyhodnocení výsledků .....	34
4.2.1 Výsledky destiček typu A s kapalinou .....	35
4.2.2 Výsledky destiček typu B s kapalinou.....	37
4.2.3 Výsledky destiček typu A za sucha .....	38
4.2.4 Výsledky destiček typu B za sucha .....	40
4.3 Porovnání výsledků .....	42
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	43
ZÁVĚR.....	44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

## ÚVOD

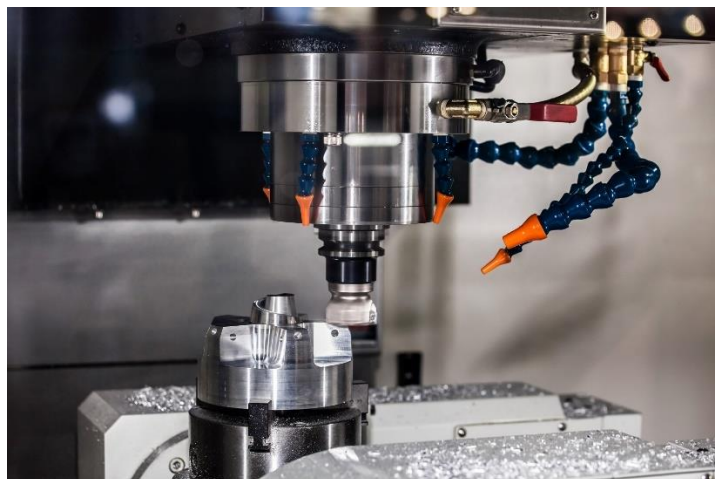
Třískové obrábění je technologický proces, pomocí kterého jsou vytvářeny povrchy obrobku určitého tvaru, jakosti a rozměrů. K tomu dochází odebráním malých částí materiálu ve formě třísky břitem řezného nástroje. Velká část vnesené práce se v průběhu procesu obrábění mění na teplo. To vzniká hlavně jako důsledek plastické deformace v místě oddělování třísky nebo při tření třísky po čele nástroje a mezi třískou a obrobkem v oblasti tření hřbetu. Vznik nárůstka na břitu řezného nástroje je primárně způsoben dvěma faktory, a to zvýšenou teplotou a kontaktním tlakem, což vede k jeho postupnému otupení. Pro zvýšení odvodu tepla a snížení opotřebení nástroje se tak používají procesní kapaliny (obr. 1). [1; 2]

Procesní kapaliny mohou mít výrazný vliv na proces obrábění působením svými chemickými, fyzikálními i mechanickými vlastnostmi. Účinky jsou obvykle příznivé, ale vyskytují se i dopady negativní, které je nutné potlačovat. Základním předpokladem je, aby efektivně vylepšovaly trvanlivost nástrojů a jakost obrobeného povrchu. Je tak možné docílit lepších výsledků v porovnání s tzv. suchým obráběním, kdy se kapaliny nepoužívají. [1]

Dnešní trendy ať už v každodenním životě nebo ve strojírenství jsou zaměřeny na ekologii a dopady na životní prostředí. Z těchto důvodů jsou vyvíjeny nové ekologické procesní kapaliny, které neškodí životnímu prostředí a neohrožují zdraví pracovníků [3]. Jejich nevýhodou je však nákladná výroba a často také zhoršené vlastnosti. Jedná se především o mazání. Proto je v současnosti výzkum zaměřen na výrobu bez použití procesních kapalin (obr. 2) a získání stejných výrobních podmínek jako při „mokřém“ obrábění.



Obr. 1 Použití procesních kapalin [4].



Obr. 2 Obrábění za sucha [5].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

V bakalářské práci bude řešena problematika a význam použití procesních kapalin při technologii třískového obrábění. V teoretické části budou rozebrány používané druhy procesních kapalin. S tím jsou spojené jejich výhody a nevýhody a také vhodnost jejich použití při určité technologii obrábění. Dále budou popsány požadavky kladené na procesní kapaliny, které při výrobě hrají důležitou roli a mají zásadní vliv na výslednou kvalitu obrobku. Také budou uvedeny způsoby, pomocí kterých lze řezné kapaliny přivést do místa řezu tak, aby jejich účinek byl efektivní. Kromě kapalin bude v práci charakterizováno i obrábění za sucha, protože v současnosti je kladen důraz na ekologii a snižování nákladů a díky tomu se tato metoda dostává do popředí.

Čím dál tím více je řešena problematika znečišťování životního prostředí a ohrožování živých organismů, a tudíž bude v práci popsáno hospodaření s procesními kapalinami. To začíná jejich důkladnou přípravu a následuje čištění a výměna v průběhu používání. Také budou uvedeny možnosti likvidace použitých kapalin.

Praktická část bude řešena ve spolupráci s firmou Dormer Pramet s.r.o. v Šumperku, která je zaměřena na výrobu vyměnitelných břitových destiček, těles a nástrojů na obrábění. Nejdříve bude rozebráno použití dvou různých kapalin a rozdíly zjištěné po několika letech jejich používání. Na tomto příkladu bude ukázána důležitost správné volby kapaliny s ohledem na náklady a ekologii. V další části bude proveden experiment, u kterého bude cílem dokázat, že při určitých podmínkách je výhodnější obrábět za sucha a tím snížit spotřebu řezných kapalin.

## 2 PROCESNÍ KAPALINY A PROSTŘEDÍ

Prostor okolo řezu je obemknut jistým prostředím, přičemž je nazýváno řezné neboli procesní. Jeho fyzikální a chemické vlastnosti ovlivňují obrábění především chladicím a mazacím účinkem. Odvádí teplo z místa jeho vzniku, minimalizuje tření v oblasti dotyku nástroje s třískou a obráběným materiálem, zpomaluje proces otupování nástroje, přispívá ke zlepšení jakosti obrobené plochy a odstraňuje třísky z místa řezu. Také může mít výrazný dopad na primární a sekundární plastickou deformaci třísky a působí na množství, jakostní a ekonomické ukazatele procesu řezání. Správnou volbou řezného prostředí lze většinou navýšit úběr o 50 až 200 % v porovnání s obráběním za sucha. V závislosti na použité technologii a obráběném materiálu je vyžadována jistá převaha, některé z těchto funkcí. Existuje pestrý výběr různých typů médií s doporučením ohledně jejich aplikace. Většinou je cíleno na co největší univerzálnost, čili pokrytí více specifických požadavků současně. Přestože je prováděn intenzivní výzkum v této oblasti, jsou technologické procesy, které se nemohou obejít bez specializovaných typů. [1; 6; 7]

Obyčejný atmosférický vzduch přítomný v místě řezu lze považovat za základní procesní prostředí, avšak nedosahuje takových chladicích i mazacích účinků, jako ta synteticky vytvořená. Těmi jsou kapaliny nebo páry. Jejich základní rozdělení je uvedeno v tab. 1. [1; 6]

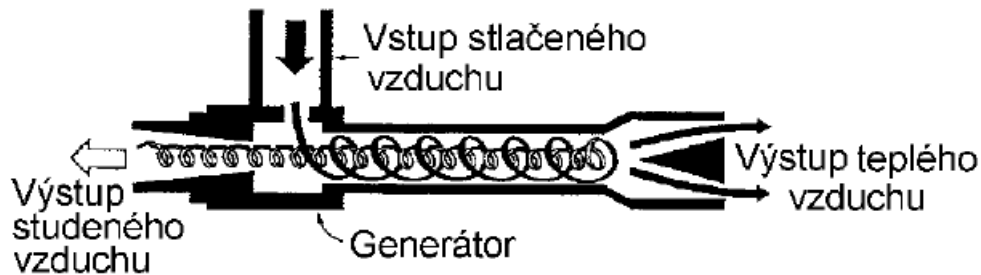
Tab. 1 Rozdělení procesních prostředí [1].

	Podskupina 1	Podskupina 2
Plynné	Vzduch	
	Inertní plyn	
Kapalné	Mlha	
	Vodou mísitelné	Vodní roztoky
		Emulze
		Syntetické
		Polysyntetické
	Vodou nemísitelné (oleje)	S přísadami
		Syntetické
		Minerální
Koncentráty vysokotlakých přísad		
Tuhá maziva		

### 2.1 Plynné prostředí

Látky v plynném skupenství nejsou obvykle voleny jako řezná média, protože jejich schopnost chlazení je značně omezená, špatně odvádí nečistoty a navíc postrádají mazací účinek. Základním druhem používaného plynného řezného prostředí je tzv. obrábění na sucho, kdy řezným prostředím je atmosférický vzduch. Tato metoda obrábění je používána čím dál tím častěji. To je spojeno s výzkumem v oblasti řezných materiálů, které umožňují obrábět bez chlazení a i tak jsou schopny účinně a produktivně obrábět. Mezi ně se řadí povlakované slinuté karbidy nebo řezná keramika. Také při obrábění litiny není potřebné mazat, jelikož je v materiálu obsažen grafit, který slouží jako tuhé mazivo. [1; 2; 6; 7]

Bezesporu největší výhodou vzduchu je jeho dostupnost, takže nevznikají náklady na pořízení nebo přívod do místa řezu. Náklady se pak zvyšují pouze tehdy, pokud je vzduch stlačován a používán na ofukování nástroje a obrobku s cílem chlazení místa řezu a zbavení se hromadících se třísek. Aby se dosáhlo lepšího chladicího účinku, existuje možnost vzduch také podchládit, k tomu je potřeba využít přídatného zařízení např. Rangue - Hilschovy vírové trubice, viz obr. 3. [1; 2; 6; 7]



Obr. 3 Rangue - Hilschova vírová trubice [1].

Stlačený vzduch je vháněn do tangenciálně vrtaného stacionárního generátoru, kde zvyšuje svoji rychlost až na rychlost zvuku. Vzduch je nucen kroužit trubicí podél vnitřní stěny. Část tohoto vzduchu vystupuje jako horký výfuk o teplotě až  $+100\text{ °C}$  a zbytek je tlačěn zpátky prostředkem víru. Probíhá tepelná výměna mezi dvěma sloupci vzduchu s odlišnými rychlostmi pohybu. Vnitřní sloupec, který se pohybuje pomaleji, odevzdává teplo vnějšímu. V důsledku tohoto procesu teplota vnitřního klesá až na hodnotu  $-46\text{ °C}$ . [6]

Další možností je použití inertního plynu. V reálné výrobě je aplikován pouze ojedinele. Dříve byly vykonávány různé pokusy, při kterých byl přiváděn stlačený plyn, často  $\text{CO}_2$ , z tlakové láhve do oblastí řezání, aby došlo ke snížení teploty a zabránilo se škodlivým chemickým reakcím jako je například oxidace. Tato metoda se bohužel projevila jako relativně nákladná a náročná z důvodu nezbytné úpravy strojů, vysokých nákladů na  $\text{CO}_2$  a nutnost dobrého odsávání a větrání na pracovišti. [1; 2]

## 2.2 Kapalně prostředí

Řezné kapaliny je možné dělit na dvě hlavní kategorie. První z nich zajišťuje převážně chlazení a druhá pak především mazání. Toto obvyklé rozdělení však už správně neodpovídá současné nabídce kapalin, které jsou na trhu. Čím dál tím více se totiž prosazuje snaha zlepšovat mazací účinky i u procesních kapalin, které byly původně určeny pouze k chlazení. Většina moderních druhů rezných kapalin odpovídá tomuto kritériu, díky čemuž je v podstatě rozdíl mezi oběma skupinami smazán. I přes to však stále platí doporučení pro použití určité kapaliny při dané technologii obrábění, viz tab. 2. [2]

Tab. 2 Doporučení pro volbu procesní kapaliny pro různé operace obrábění [7].

Technologie	Materiál obrobku			
	Nízkouhlíkové oceli	Uhlíkové oceli	Legované oceli	Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli
Soustružení	emulze, syntetické kapaliny		emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny	
Frézování	emulze, tuky, polosyntetické nebo syntetické kapaliny	emulze s EP přísadami, polosyntetické nebo syntetické kapaliny	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny (řezné oleje)	emulze s EP přísadami
Vrtání	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny		emulze s EP přísadami, řezné oleje	
Obrázení ozubených kol	emulze pro vysoké tlaky, syntetické kapaliny		řezné oleje	
Výroba ozubení odvalováním, frézováním	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny nebo řezné oleje			řezné oleje
Protahování	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny nebo řezné oleje			
Řezání závitů	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny nebo řezné oleje		řezné oleje	
Broušení	syntetické nebo chemické kapaliny, emulze, řezné oleje			

*Pozn. EP přísady – tzv. extreme pressures additives – přísady, vytvářející velmi odolný mazací film i při vysokých hodnotách kontaktních napětí*

Vodní roztoky jsou nejzákladnější a cenově nejdostupnější řezné kapaliny. Vynikají svým chladicím a čisticím účinkem, ale bohužel neposkytují téměř žádné mazání. Voda, která je jejich základem, musí být chemicky upravena jinak je nevhodná pro bezprostřední použití. Vyskytují se v ní prachové částice, mikroorganismy a má velkou tvrdost. Tvrdá voda, znamená vysoký podíl různých solí zapříčiňujících na kovovém povrchu nesnadno odstranitelné usazeniny, které zalepují pracovní plochy strojů. Také vznikají mýdla, která způsobují pění procesní kapaliny, což vede ke zmenšování chladicího účinku. [1; 2; 6]

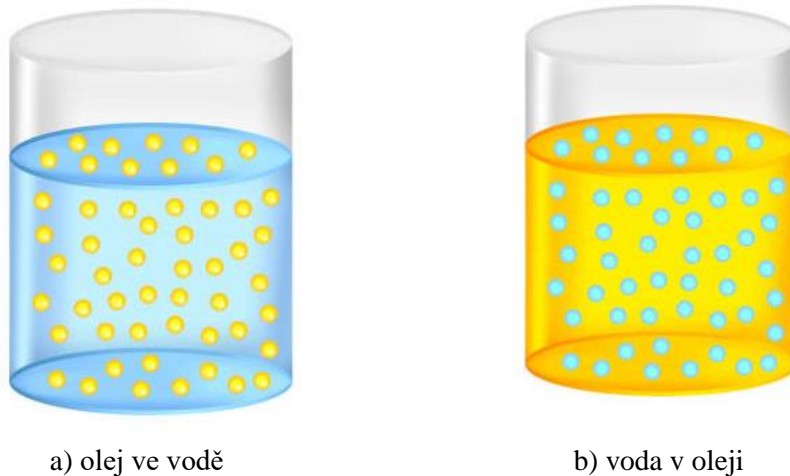
Z těchto důvodů je nezbytné ji před použitím dostatečně změkčit a chemicky zpracovat. Změkčování vody je založeno na přeměně rozpustných vápenatých a hořečnatých solí na nerozpustné, přičemž se odstraňují filtrací. Jsou přidávány přísady pro zlepšení smáčivosti a proti pěnívosti nebo také inhibitory koroze. Pro optimální funkci a účinnost je nezbytné, aby vodní roztok používaný jako řezná kapalina vykazoval alkalický charakter. U takových kapalin hrozí možnost rozmnožování anaerobních bakterií, které jsou příčinou tvorby kalů a nepříjemného zápachu. [2; 6]

Zdroj vody dokáže výrazně ovlivnit fyzikální a chemické vlastnosti procesní kapaliny i její stabilitu. Je možné použít vodu dešťovou, pramenitou, říční, studniční, ve kterých je obsažen rozdílný poměr prachu, kyslíku, chloridů, dusíku, vápenné soli a fosfátů. V menším množství se v ní vyskytuje například i železo, fluor, dusitany, zinek, draslík. Může obsahovat i živé organismy jako anaerobní bakterie, houby, kvasinky a viry v závislosti na ročním období. [7]

### 2.2.1 Emulze

Pro většinu těchto procesních kapalin je hlavní složkou voda, přičemž typicky jde o emulze, kde je olej rozptýlen ve vodě. Běžně se podíl vody v těchto kapalinách pohybuje mezi 90 ÷ 99 %. Naproti tomu emulze, kde je voda rozptýlena v oleji, se v praxi využívají jen zřídka. Díky tomu, že je voda snadno dostupná a není drahá, tak je ideální volbou pro aplikace, kde je potřeba zachování nízkých nákladů. Vyniká také svou schopností účinně odvádět teplo, což je důsledkem vysoké tepelné kapacity. Chladicí účinek emulzní kapaliny se odvíjí od koncentrace, s rostoucí hodnotou klesá. Oleje pak zajišťují mazací účinek. [1; 2]

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé, viz obr. 4. Pro vytvoření stabilní emulze, je nezbytné přidat ještě třetí klíčovou složku, tzv. emulgátor. Ten zmenšuje mezi povrchové napětí kapalin, stabilizuje emulzi a zabraňuje srážení drobně rozptýlených kapiček oleje ve vodě. Díky působení elektrostatických sil dochází k vzájemnému odpuzování částic oleje v emulzi, což udržuje olejové částice v rozptýleném stavu. Emulze představují převážnou většinu používaných rezných kapalin, přičemž jejich podíl dosahuje přibližně 80 % z celkového objemu. [2]



Obr. 4 Emulze [8].

Řezné emulze dnes obsahují převážně tyto druhy přísad [7]:

- Řezné oleje – zajišťují mazací schopnosti.
- Emulgátory – Stabilita emulze se zvyšuje s klesající velikostí olejových kapiček. Nicméně pokud se do směsi přidá příliš mnoho emulgátorů, nebo pokud se použije měkká voda, může to vést k nežádoucímu efektu, jako je zvýšená tvorba pěny.
- Vysokotlaké EP přísady – slouží pro zvýšení nosnosti olejového filmu.
- Biocidy – eliminují mikroorganismy a napomáhají vysoké biostabilitě.
- Antikorozní přísady – slouží k prevenci nebo zpomalení korozních procesů, například boráty, sloučeniny karbonových kyselin nebo aminy a amidy.
- Antipěnicí přísady – například silikonové oleje.

Největší komplikace emulzí tkví v jejich postupné degradaci a zhoršování jejich fyzikálně-chemických charakteristik v průběhu času. Důvodem tohoto jevu je okysličující účinek vzduchu, působení tepla, katalytický účinek kovových materiálů a kontaminace nečistotami, např. otěry z nástrojů, drobné třísky, okuje a cizí oleje. [7]

Tyto procesy pak způsobují [7]:

- spojování kapiček olejů ve větší části,
- zvýšený výnos oleje třískou,
- tvorbu lepivých usazenin na kluzných plochách strojů,
- zvýšení pěnivosti,
- zápach,
- mikrobiologický rozklad emulze,
- podráždění kůže,
- zmenšení hodnoty pH a s tím spojená ztráta prevence proti korozi,
- vznik kalů,
- zvyšování nákladů na výměnu kapaliny.

### 2.2.2 Syntetické a polosyntetické kapaliny

Patří mezi relativně nové druhy kapalin ředitelných vodou. V minulosti bylo jejich použití omezené kvůli značným finančním nákladům. Projevují se u nich vlastnosti podobné jako emulzí, ale vyznačují se vysokou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, ochranné a mazací účinky. Zabraňují korozi materiálů a dosahují tohoto účinku navzdory tomu, že obsahují jen minimální množství oleje nebo dokonce žádný. Z hlediska vlivu na životní prostředí jsou šetrnější, jelikož ve srovnání se suchým obráběním se snižuje množství uvolněných částic obráběného materiálu do okolí až o polovinu. S výhodou se používají pro operace s velkou řeznou rychlostí jako je broušení, protože zde výborně odvádí vzniklé teplo a zabraňují zanášení brusného kotouče. [1; 2; 7]

Voda se v syntetických kapalinách snadno rozptýluje i odpařuje a tím dochází ke zvyšování koncentrace procesní kapaliny při procesu obrábění. Z důvodu, že se vyznačují silnými čisticími účinky, tak je lze považovat v podstatě za rozpouštědla. Kvůli tomu je potřeba jejich koncentraci pravidelně kontrolovat. Pokud se hodnota pH zvýší nad obvyklou úroveň, může to mít negativní dopady na zdraví pracovníků obsluhujících stroj. [7]

Syntetické řezné kapaliny se vyznačují absencí minerálních olejů. Místo toho jsou založeny na bázi speciálních rozpouštědel, především glykolů, které při smíchání s vodou buď vytvoří emulzi, nebo se v ní zcela rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže poskytují možnost lepší vizuální kontroly během obrábění. Je v nich také možné emulgovat oleje, což vede k vytvoření polosyntetických řezných kapalin, které zajišťují lepší mazání. To je způsobeno mnohem menšími olejovými částicemi než v emulzích. [1; 2; 6]

### 2.2.3 Řezné oleje

Jsou určeny pro dokončovací operace jako je honování a lapování, kde se používají celkem nízké řezné rychlosti a je vyžadována výborná jakost povrchu [1]. Na rozdíl od vodou mísitelných kapalin mají několik výhod, mezi které patří [1]:

- Neobsahují vodu, což znemožňuje korozi a také výrazně snižuje riziko vzniku a rozmnožení bakterií.
- Skvělá mazací schopnost a relativně dobrý chladicí účinek, i když je nižší než u vodou mísitelných procesních kapalin.

- Nezpůsobují narušování strojních dílců, které se s nimi dostávají do kontaktu.
- Kompatibilita s ostatními, nejčastěji mazacími oleji, které jinak mohou procesní kapalinu kontaminovat od okolních strojních součástí.

Pro zlepšení vlastností se do nich přidávají různé látky, které lze rozdělit do tří základních skupin:

- **Mastné látky** – jedná se o zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přídatné látky zvyšují schopnost oleje přilnout ke kovovým povrchům a zlepšují jeho mazací schopnosti, ovšem při extrémně vysokých tlacích už neplní svou funkci. Z tohoto důvodu se zpravidla používají v kombinaci s dalšími přísadami. Běžně se složky přísad do procesní kapaliny zavádějí oxidací, chlorací nebo sířením. Tímto způsobem se dosáhne účinnějšího přenosu vysokých tlaků, vznikajících během procesu obrábění. Zmíněná úprava má však svá omezení, jelikož vzniklé mýdlové sloučeniny se vyznačují relativně nízkým bodem vzplanutí. V důsledku toho je lze efektivně využívat pouze při nižších řezných rychlostech do cca  $v_c = 30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . [1; 2]
- **Organické sloučeniny** – jsou tvořeny na bázi chloru, síry nebo fosforu. Prokázaly svou účinnost jako přísady pro vysokotlaké aplikace. Na povrchu obrobků se vytváří tenká vrstva kovových mýdel, která účinně brání svaření vlivem velkých tlaků a teplot. Také výrazně usnadňuje vzájemný pohyb dotýkajících se ploch. Sloučeniny s obsahem chlóru zmenšují tření ve větší míře než síra. Ovšem předností síry je fakt, že její efektivita začíná klesat až při teplotách okolo  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ , kdežto chlór ji ztrácí už při teplotě cca  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při použití fosforových sloučenin je možné dosáhnout ještě větší účinnosti. V průběhu výzkumu se projevilo, že nejlepší variantou je kombinace všech těchto tří prvků. Přísady musí splňovat kritéria, mezi která patří dobrá rozpustnost v minerálním oleji, nevýznamné snižování jeho životnosti, za normálních okolností nesmí způsobovat korozi a je nepřipustné, aby představovaly zdravotní riziko. [1; 2]
- **Pevná maziva** – při obrábění poskytují navíc mechanický účinek. Díky své přitažlivosti ke kovovým povrchům formují tenkou ochrannou vrstvu na rozhraní, která je schopna odolávat vysokému tlaku, čímž se významně zvyšují mazací vlastnosti oleje. Jako pevná maziva se používá grafit a sírník molybdenu. Jejich hlavní slabinou je nerozpustnost v kapalinách. Aby efektivně plnily svou funkci, musí být rovnoměrně rozptýleny. [1; 2]

Mezi další druhy se řadí minerální oleje. Základem je ropný olej a nejsou mísitelné s vodou. Získávají se frakční destilací ropy. Nemají barvu, jsou průhledné a složené hlavně z alkanů a cyklických parafinů. Díky snadné dostupnosti surovin a ekonomické výhodnosti jsou produkovány ve velkých objemech. Uplatňují se především při zpracování nízkouhlíkových ocelí, měkkých neželezných kovů a jejich slitin při nízkých řezných rychlostech. [1; 6] Vyznačují se těmito vlastnostmi [1; 6]:

- dobré mazání,
- snížený chladicí účinek,
- skvělá odolnost proti stárnutí,
- účinně chrání materiál,
- neprobíhá u nich bakteriální rozklad.

Syntetické oleje, jejichž základem je polyglykol, se vyznačují několika významnými přednostmi. Mají mimořádnou trvanlivost, jelikož nepodléhají bakteriálnímu rozkladu. V současné době se klade stále větší důraz na bezpečnost pro lidské zdraví a ekologickou nezávadnost. Syntetické oleje tyto požadavky splňují. Dále se vyznačují vysokými body vzplanutí i tuhnutí, což může být přínosné pro proces obrábění. [1]

Koncentráty vysokotlakých přísad nejsou přímo oleje, ale mísí se obvykle s ropnými oleji v různých koncentracích, které se odvíjí od daných řezných podmínek. Účinné složky se vážou na kovové povrchy nástrojů a obrobků, čímž vytvářejí ochrannou vrstvu. Ta zabraňuje přímému kontaktu kov na kov, čímž omezuje tvorbu nežádoucího nárůstku. Na druhou stranu podporují korozi, tudíž je důležité po dokončení obrábění očistit stroj a nakonzervovat obrobek. Nejčastější uplatnění je při výrobě závitů a ozubení, zejména při nižších řezných rychlostech v rozmezí přibližně  $2 \div 20 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . [1]

### 2.3 Tuhá maziva

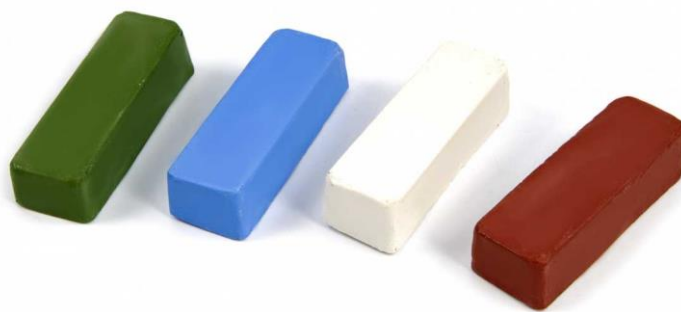
Představují makroskopicky vláknité, houbovité nebo zrnité látky. Obvykle se vyrábí z ropných olejů. Díky zpevňování pomocí kovových mýdel je získávána daná konzistence. Tuhá maziva jsou pevné poměrně měkké látky a vykazují výbornou schopnost přilnout k povrchům součástí, které jsou vystaveny tření. Díky své vrstvené struktuře mají nízkou odolnost vůči smykovému namáhání. Představují významnou složku v plastických mazivech anebo mazacích olejích. [9] Rozdělují se na dvě skupiny [9]:

- organická tuhá maziva – granit, molybden sulfid,
- anorganická tuhá maziva – mýdla, mastné kyseliny, tuky a vosky.

V oblasti průmyslové produkce je jejich uplatnění relativně nízké, ale používají se například při nízko rychlostním obrábění na řezání vnitřních závitů, kde jsou vysoké požadavky na mazání a chlazení není tak podstatné. Nevýhodou těchto maziv je složitá automatizace přívodu do místa řezu. [1; 9]

Dále se používají při dokončovacích operacích jako je leštění (obr. 5), kde tuhé mazivo [9]:

- slouží jako nosič volného brusiva,
- vykonává funkci řezného prostředí,
- zajišťuje mazací účinek.



Obr. 5 Leštící pasty [10].

### 2.4 Požadavky na procesní kapaliny

Prostředí, ve kterém probíhá obráběcí proces, má zásadní vliv na jeho průběh, a to kvůli různým faktorům, které mohou mít odlišné účinky. Můžou mít za následek vyšší efektivitu a zkvalitnění a zlevnění výroby, protože správnou volbou je možné zvětšit řeznou rychlost, posuv i hloubku řezu. Procesní kapaliny hrají důležitou roli v optimalizaci obráběcího procesu. To zahrnuje

prodloužení trvanlivosti řezných nástrojů a zlepšení kvality obráběného povrchu s cílem co nejmenší spotřeby energie. Efektivita procesních médií je úzce spjata s jejich molekulární příbuzností s kovy. [1; 6; 7]

Z technologického a provozního hlediska je možné mezi nejdůležitější požadavky zařadit:

- Mazací účinek – podmínkou efektivního mazání je vytvoření vrstvy procesní kapaliny na povrchu obrobku a nástroje, která zabraňuje bezprostřednímu kontaktu mezi kovovými částmi nástroje a obráběného materiálu. Vlivem vysokých tlaků, ke kterým dochází při řezání, tak není možné aby vzniklo kapalně tření. Avšak za určitých podmínek může dojít k meznímu tření. To nastává, když kapalina vykazuje silnou přilnavost ke kovu nebo vytváří chemickou vazbu s materiálem obrobku a její mikroskopická mezní vrstva neboli film má malý součinitel tření. Mazací filmy na kontaktních površích se nevytvářejí v silných vrstvách. Místo toho se tvoří extrémně tenké vrstvy o tloušťce jednotlivých molekul a mají silnou přilnavost. Je tak vysoká, že odolává i značnému tlakovému zatížení a omezuje tak difúzní a adhezni otěr břitu i při velkých rychlostech řezání. Mazací účinek vede k několika pozitivním důsledkům, jako je snížení sil působících při řezání, zmenšení energetické náročnosti procesu a zvýšení kvality výsledného povrchu. Uplatňuje se zejména u dokončovacích a technologicky náročných operací, při kterých vznikají velké tlaky a teploty. Toto je možné nalézt hlavně u protahování, výroby ozubení a výroby závitů. [1; 2; 6; 7]

Viskozita procesního média určuje jeho mazací schopnosti. S vyšší viskozitou vzrůstá i pevnost vytvořené mezní vrstvy. Naopak nežádoucím účinkem je ztížení průniku mezi povrchy, které se o sebe třou, obtížnější proudění a neefektivní odvod tepla. Viskóznější kapalina má větší tendenci přilnout ke třískám a to vede ke zdatelným ztrátám. Tento problém se obvykle řeší tak, že se médium nechá odkapat nebo se použije odstředování viz obr. 6. Pro zlepšení mazání se používají povrchově aktivní látky, které usnadňují průnik do trhlin deformovaného kovu a podporují tím proces řezání. [1; 2; 6]



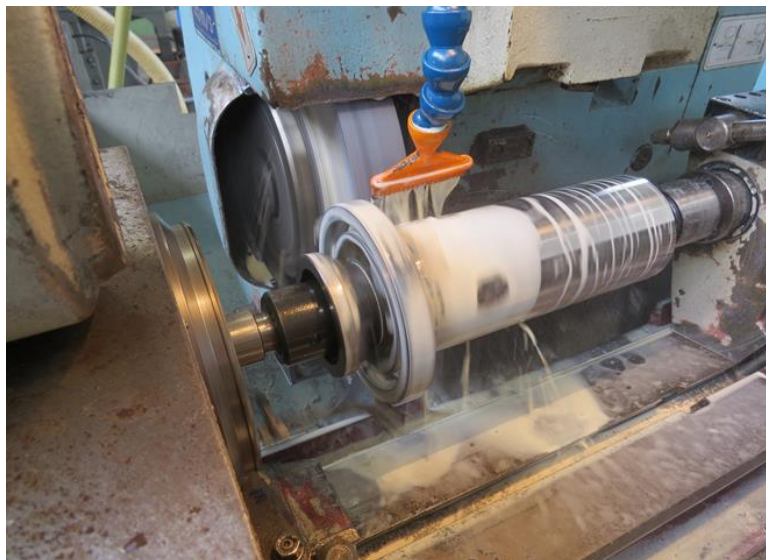
Obr. 6 Odstředivka [11].

- Chladicí účinek – představuje účinnost kapaliny, se kterou dokáže odstraňovat teplo z místa řezu vzniklé obráběním. Jakékoliv médium schopné smáčet kov může odvádět teplo, pokud je chladnější než povrch obrobku, se kterým přichází do kontaktu. Výsledkem tohoto procesu je pokles teploty při řezání, což přináší několik pozitivních efektů. Zpomaluje se opotřebení nástroje a zároveň se zlepšuje kvalita povrchu.

V případě, že by se teplo neodvádělo z místa řezu, docházelo by ke vzniku odchylek u rozměrů dílců a ke změně mechanických vlastností. U nástrojů z rychlořezné oceli pak může dojít až ke zničení vlivem popouštění vysokými teplotami. [1; 2; 6]

Efektivita chlazení je ovlivněna několika faktory. Mezi ně patří schopnost kapaliny pokrýt povrch, množství tepla potřebného k jejímu odpaření, rychlost, jakou se vypařuje při různých teplotách, jak dobře vede teplo, její měrná tepelná kapacita a v jakém množství je přiváděna do místa řezu. S růstem těchto veličin se bude chlazení zvyšovat. Naopak ke snížení dochází, jestliže se tvoří pěna. [1; 2; 6]

- Čisticí účinek – hlavní funkcí je odklízení třísek z místa řezu, které vznikají při procesu obrábění. Správnou volbou procesní kapaliny a jejím vhodným použitím lze zabránit slučování a shromažďování třísky v odvodové části nástroje. Je velmi důležitý u technologie broušení, kde je nezbytné rychle odvádět třísky a brusná zrna z místa řezu (obr. 7), aby se omezilo množství tepla vznikajícího v důsledku značných řezných rychlostí a nedokonalého tvaru nástroje. To vede k lepší drsnosti povrchu. Také u vrtání hlubokých děr je čištění důležité, jelikož by bez něj nebylo možné odstraňovat třísky. [1; 6]



Obr. 7 Čištění při broušení [12].

- Provozní stálost – měřítkem této vlastnosti u řezného média je časový interval mezi jeho výměnou. Podmínkou pro dlouhé doby mezi jednotlivými výměnami je neměnnost vlastností po celý čas provozu. Degradace olejových řezných kapalin se vyznačuje vznikem lepkavých pryskyřičnatých nánosů, které mohou vést až k poškození stroje. Látky vznikající během procesu stárnutí negativně ovlivňují výkonnost řezného média. Způsobují jeho rozpad, snižují jeho mazací schopnosti, ochranné vlastnosti, podporují korozi a vedou ke hnilobnému zápachu. Provozní stálost závisí fyzikálních a chemických vlastnostech procesní kapaliny a na teplotě při provozu. [2]
- Ochranný účinek – během procesu obrábění přicházejí řezné kapaliny do přímého styku s obrobky a různými komponenty výrobního zařízení. Je podstatné, aby nepoškozovaly kovy, což eliminuje potřebu průběžné konzervace obrobků a zároveň chrání samotný stroj před korozi. K posílení ochrany proti korozi se do řezné kapaliny přimíchávají pasivační látky. Další zásadní podmínkou je, aby řezná kapalina nenarušovala ochranné nátěry a gumová těsnění. [1; 2]
- Zdravotní nezávadnost – je řešena hlavně kvůli tomu, že během provozu obráběcích strojů se pracovník dostává do přímého styku s kapalinami. Ty proto musí být zdravotně nezávadné, nesmí vyvolávat podráždění pokožky a sliznic, musí být netoxické a bez

obtěžujícího zápachu, aby byla zajištěna bezpečnost a komfort pracovníků. Jejich zdravotní nezávadnost závisí na tom, jak dobře si zachovávají své vlastnosti v průběhu provozu a jestli jsou udržovány v čistém stavu. V rámci výrobního procesu je nezbytné dodržovat základní hygienické zásady. To zahrnuje zajištění dostatečného větrání, důkladného mytí a preventivní opatření na ochranu kůže. Při nedostatečném větrání je nutné využít odsávání vzniklých par. [2; 6]

Nedodržení hygienických opatření může vést ke zdravotním komplikacím. Například drobná řezná poranění a tím způsobený průnik kapaliny do těla. Dále iritační dermatitida, což je podráždění, pálení lokálního charakteru v místech přímého kontaktu. Obdobou je alergická dermatitida, která však může způsobit dlouhodobé následky. Při podráždění dýchacích cest dochází ke kašli, krvácení z nosu nebo ztíženému dýchání. Také toto vede ke snižování množství procesních kapalin při obrábění. [13]

- Provozní náklady – jsou spojeny hlavně se spotřebou procesních kapalin. Při analýze výdajů je nejprve třeba zhodnotit, jak ovlivňují samotný obráběcí proces. [2]

Mezi tyto vlivy patří [2]:

- průběh plastických deformací v zóně řezání,
- opotřebení,
- trvanlivost,
- ostření nebo výměna nástroje,
- změny struktury povrchu obrobené plochy,
- spotřeba energie.

Dalším krokem je zhodnocení procesní kapaliny a její stability v provozu, míry spotřeby, náklady na ekologickou likvidaci a výměnu. Náklady jsou také snižovány pomocí filtrace, jelikož se pomocí ní výrazně prodlužuje životnost. Někdy se znečištění udrží na tak nízké úrovni, že se jen doplňují průběžné ztráty. [2; 14]

## 2.5 Přívod procesních kapalin do místa řezu

Řezný proces je ovlivněn několika faktory souvisejícími s přívodem procesního média jako je poloha, směr, množství a jeho typ. Volba těchto parametrů závisí na tom, zda je podstatnější chlazení nebo mazání. Pro dosažení chladicího efektu by měl být proud nasměrován především na místo, kde se tříska odděluje od materiálu, jelikož zde vzniká nejvíce tepla. Naopak, pro zvýšení mazacího účinku by mělo médium směřovat hlavně pod hřbetní plochu nástroje. Je důležité zajistit nepřetržitý přívod procesní kapaliny, zejména aby se zabránilo teplotním výkyvům na nástroji. [6]

Před přivedením do místa řezu lze zvýšit chladicí účinnost procesních kapalin jejich ochlazením pod teplotu okolí. Standardně používaná média mají teplotu okolo 40 °C. Podchlazením lze dosáhnout teploty u emulzí 5 až 10 °C a u olejů 15 až 20 °C. U olejů však tento proces vede k nežádoucímu zvýšení hustoty a viskozity. Při záporných teplotách sice dochází ke zvýšení řezného výkonu, ale je nutné přidat speciální přísady, aby se zabránilo zamrznutí vodní složky. Touto metodou je možné snížit teplotu v místě řezu o 75 až 100 °C. Podchlazené kapaliny jsou nejúčinnější během hrubovacích operací, kdy se generuje nejvíce tepla. Využívají se i na obrábění dílců, u kterých je podstatná rozměrová přesnost a nízká teplota zabrání tepelnému ovlivnění. [6]

### 2.5.1 Vnější přívod

Je to nejčastěji používaný druh přivádění procesní kapaliny (obr. 8). Není nutné provádět žádné zvláštní úpravy na potrubí, které dopravuje médium do oblasti řezu. Dostačuje pouze základní zařízení, kterým je vybaven obráběcí stroj. Toto zařízení je složeno z nádrže na řeznou kapalinu, čerpadla a rozvodového potrubí. Objem dodané kapaliny, který se pohybuje okolo  $0,5 \div 2,0$  litrů za minutu, závisí na výkonu čerpadla a na regulaci průtoku pomocí výstupního kohoutu. [2; 6]



Obr. 8 Vnější přívod procesní kapaliny [15].

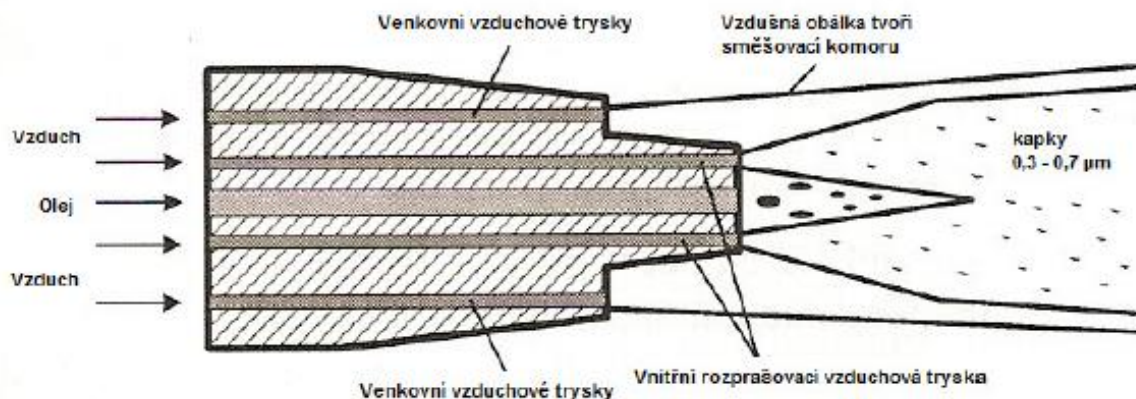
Další možností přívodu je použití vysokého tlaku. Díky tomu je zajištěn intenzivnější a důraznější přísun média přímo do oblasti, kde probíhá řezání, což má za následek výrazné zlepšení odstraňování vznikajících třísek. Průměr výstupní trysky se obvykle pohybuje v rozsahu  $0,3 \div 1,0$  mm a tlak  $3 \div 20$  MPa. Pokud má vznikající teplo výrazně negativní dopad na trvanlivost nástroje, tak je kapalina přiváděna k břitu zespoda. To umožňuje její přímý kontakt s místem řezu. Hlavní nevýhodou vysokého tlaku je, že se procesní kapalina rozprašuje a následně dochází k tvorbě jemné mlhy v okolí, viz obr. 9. Pro zajištění ochrany pracovníků a okolního prostředí je nezbytné izolovat pracovní prostor stroje. [2; 6]



Obr. 9 Rozstřík kapaliny [16].

## 2.5.2 MQL - mlha

Technologie MQL (Minimum Quantity Lubrication) nachází stále častější využití v různých odvětvích obráběcích procesů, jako je frézování, vrtání nebo soustružení. Je zaměřena na dosažení co nejlepších výsledků s co nejmenším množstvím oleje. Ten je vhodně volen podle používané technologie a je rozprášen ve formě kapek pomocí stlačeného vzduchu vypouštěného z trysky o výstupní rychlosti až  $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , viz obr. 10. Ideální velikost olejových kapek je cca  $0,5 \mu\text{m}$ . Směs, která vzniká kombinací vzduchu a drobných kapiček oleje, je označována jako aerosol. Je dopravován do prostoru mezi řezným nástrojem a obráběným dílem, kde formuje nepřerušovaný film. Jeho koncentrace se liší podle konkrétní technologie obrábění a lze ji upravovat škrťicím ventilem. [2; 6]

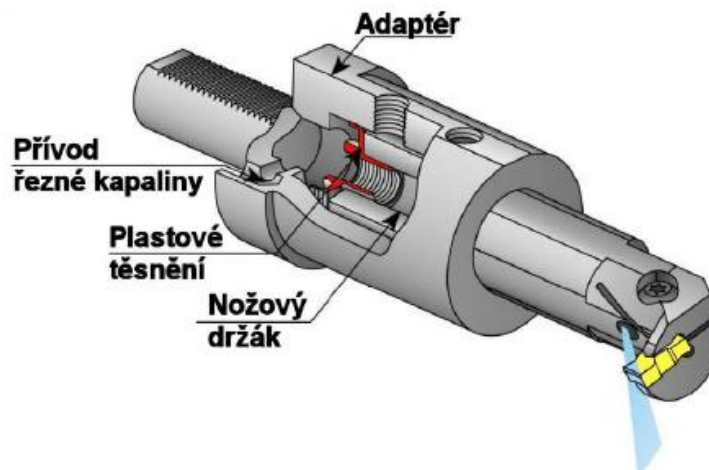


Obr. 10 Tryska [6].

Díky technologii MQL se značně omezují komplikace spojené s recyklací a sbíráním nevyužitých kapalin. Je to způsobeno tím, že se 70 – 80 % využije v místě řezu a zbývající část ulpívá na obrobku a plní funkci ochrany proti korozi. Nevýhoda se projevuje pouze v menších prostorech s použitou vysokou koncentrací, kde je nezbytné zajistit odsávání. MQL je obzvláště uplatňováno na zařízeních, u kterých není možné využít standardních kapalin a také při procesech kdy vzniká výrazné tření. [1; 6]

## 2.5.3 Vnitřní přívod

Pomocí vnitřního chlazení lze dosáhnout mnohem lepší účinnosti při obrábění, a díky tomu je možné zvýšit řeznou rychlost o 5 až 15 %. U technologie soustružení se pro vnitřní přívod používají nástroje s VBD (vyměnitelné břitové destičky). Držáky nástrojů, někdy i samotné nástroje, musí být specificky přizpůsobeny pro přívod procesní kapaliny, viz obr. 11. [2; 6]



Obr. 11 Soustružnický nůž s vnitřním chlazením [2].

U vrtáků je vnitřní chlazení realizováno tak, že procesní kapalina je vedena centrálními otvory v těle nástroje přímo k místu řezu, jak je znázorněno na obr. 12. Vnitřní chlazení se kromě vrtáků s VBD využívá také u obyčejných šroubovitých vrtáků vyrobených z monolitních slinitých karbidů nebo rychlořezné oceli. Tento způsob přívodu se také aplikuje při vrtání těžkoobrobitelných materiálů a hlubokých děr, kde to zajišťuje vyplavování vznikající třísky. [2;17]



Obr. 12 Vrták s VBD s vnitřním chlazením [2].

## 2.6 Hospodaření s kapalinami

Během provozu dochází k relativně velkému úbytku rezné kapaliny, což je způsobeno odpařováním, rozprašováním a ztrátami na třískách. Za jednu pracovní směnu činí 8 až 9 % u vodních roztoků, 5 až 7 % u emulzí a 0,5 až 0,7 % u olejů. U soustruhů, vrtaček, frézek bývá výměna nezbytná po 6 až 8 týdnech, u brusek pak po 2 až 4 týdnech z důvodu uvolňování brusiva. Doba mezi výměnami také záleží na tom, zda je provoz jedno či vícesměnný. Při použití centrálního rozvodu, kdy dochází k účinnějšímu čištění, je doba výměny i dvojnásobná. U obrábění litiny a mosazi se čas výměny snižuje. [18]

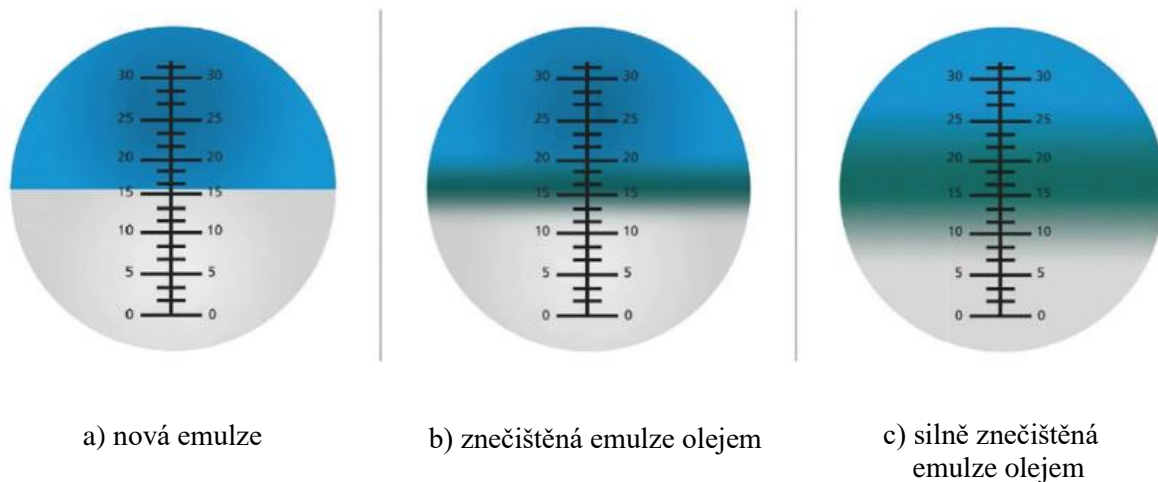
Požadovaného účinku procesní kapaliny lze dosáhnout pouze, pokud si zachová své mechanické a chemické vlastnosti potřebné pro konkrétní technologii obrábění. Působením vnějších podmínek a také těch vznikajících v průběhu obrábění dochází ke ztrátě původních vlastností, což může vést k různým problémům. Nečistoty pronikající do rezné kapaliny mají nepříznivý dopad na konečnou kvalitu povrchu obrobku a zároveň ovlivňují trvanlivost nástroje. To se projevuje především při dokončovacích operacích jako je broušení. Lze se jich zbavit pouze precizní filtrací a čištěním procesní kapaliny. Jestliže se změnila jejich vlastnosti více než je stanovená mez, tak je nutné je vyměnit. To však zvětšuje náklady spojené s pořízením, ale také likvidací a ztrátami způsobenými prostoji stroje. Proto je rozvíjena snaha o zvýšení doby pro výměnu nebo úplné odstranění procesní kapaliny z výroby. [1; 18]

### 2.6.1 Příprava procesních kapalin

Při výrobě emulze je nutné se držet několika základních pravidel. K nejpodstatnějším faktorům se řadí volba vody, konkrétně její kvalita. Měla by být zhruba neutrální, tedy pH cca 7, také je potřebná správná tvrdost 10-20 °N, protože příliš tvrdá způsobuje srážení mýdel a naopak měkká pění. Je účelné, aby kvalita použité vody byla předem známa, aby se předešlo problémům, jako jsou bakterie a mikroorganismy, které zhoršují kvalitu a zkracují životnost procesních kapalin. Zvýšený výskyt bakterií v emulzi obvykle vede k tvorbě zápachu

a možnému zhoršení kvality. V případě potřeby je nutné vodu pro míchání upravit, např. změkčení, demineralizace, filtrace, tvrzení, bakteriologické čištění. [1; 19]

Při míchání emulze je správný postup vždy přidávat koncentrát do vody, ne naopak, protože se mohou tvořit hrudky a gel. V nejhorším případě bude nutné směs zlikvidovat a namíchat čerstvou emulzi. Proces míchání by měl být prováděn důkladně, což zajistí, že se koncentrát rovnoměrně rozptýlí v celém objemu vody. K tomuto účelu jsou využívány specializované zařízení jako směšovací stroje, dávkovací čerpadla a případně injektory. Pro zajištění správného míšicího poměru je během procesu přípravy nezbytné průběžně kontrolovat koncentraci pomocí manuálního refraktometru. Na obr. 13 je znázorněno jak vypadá emulze v různých stádiích použití. Při míchání nové náplně je potřeba, aby se na refraktometru projevila ostrá linie [20]. Závěrečným kritériem při vytváření nové emulze je její plnění do důkladně vyčištěného oběhového systému. [1; 19]



Obr. 13 Měření koncentrace emulze [20].

### 2.6.2 Čištění a výměna procesních kapalin

V průběhu obráběcího procesu se procesní kapalina kontaminuje třískami, které se tvoří samotným procesem, nebo nečistotami přenášenými ze vzduchu v okolí. To způsobuje několik problémů. Nástroje se větší míře opotřebují a současně se snižuje jejich efektivita při řezání. Také může dojít k poruše obráběcích strojů, konkrétně jejich funkčních ploch. Médium se většinou čistí skrze několik filtrů nebo přímo prochází filtračním zařízením, přičemž se následně vrací zpět do nádrže. Rozměrnější nečistoty jsou zadrženy v labyrintu, zatímco ty menší filtračním systémem. Procesní kapalina by neměla být lepkavá jelikož to podporuje hromadění nečistot. [1; 6]

Čištění je prováděno dlouhodobým usazováním nebo filtrací. Usazování procesní kapaliny v zásobníku po jejím odvodu z místa řezu je nejzákladnějším způsobem čištění, avšak děje se pomalu a nerovnoměrně. Pro dostatečné usazení nečistot je nutný celý den, což není možné v některých provozech dodržet. Vyšší efektivitu je možné docílit využitím odstředivek. Pomocí toho lze odstranit nečistoty až do 0,5 %. [18]

Magnetické filtry, ať už průtokové nebo rotační, zajišťují zachycení veškerých kovových částic. Bohužel nezaručují zbavení procesní kapaliny uvolněného brusného materiálu, a proto jsou mnohdy slučovány s filtry mechanickými, viz obr. 14. V případě mechanických filtrů s povrchovou filtrací se částice zachycují na vnější straně filtračního materiálu, který může být tvořen papírem, tkaninou nebo jemnou sítovinou. Filtrační papír sbírá nečistoty až do velikosti 1  $\mu\text{m}$ , ovšem ještě efektivnější jsou plátna vyráběná z umělých látek. [18]



Obr. 14 Magnetický separátor s papírovou filtrací [21].

Jestliže procesní kapalina vykazuje některou z následujících charakteristik, její recyklace není možná a je nezbytné provést její kompletní výměnu [18]:

- pH je menší jak 8 – rozsah normálního je 8,5 až 9,5,
- koncentrace kapaliny je menší než 2 % – obvykle má mít 3 až 12 %,
- barva je tmavě šeda až černá – původně je mléčně bílá,
- vylučuje zápach.

V reálném provozu je značně výhodné provést výměnu procesní kapaliny současně s celkovou údržbou stroje. Tím se minimalizují náklady spojené s odstávkou, která by jinak musela být provedena navíc. V porovnání s řeznými oleji dochází u emulzí k výměně kapaliny ve stroji častěji. Před nalitím čisté náplně je zásadní odstranit zbytky předchozí náplně jako jsou nečistoty a mikroorganismy, jinak by výměna byla zbytečná. Pro tento účel se využívají speciální systémové čisticí přípravky, jejichž funkcí je odstranění zmíněných nežádoucích nečistot. [1]

### 2.6.3 Likvidace procesních kapalin

Emulze nelze vypouštět do kanalizace ani do povrchových vod bez předchozího zpracování, přestože někteří dodavatelé uvádějí, že jejich výrobky jsou biologicky rozložitelné [18]. K nejrozšířenějším druhům likvidace vodou mísitelných kapalin patří [18]:

- Štěpení – je to chemický proces, který narušuje funkci emulgátoru. Ten původně umožnil spojení dvou neslučitelných složek, oleje a vody do podoby emulze. Tím emulgátor ztrácí svou účinnost, což vede k rozpadu emulze na olejovou a vodní část. Čím více minerálního oleje koncentrát obsahuje, tím je dosahováno lepších výsledků. V závislosti na množství zbývajících oleje a přítomnosti jiných látek se vodní část dále zpracovává. To zahrnuje ultrafiltraci nebo chemickou úpravu a následně je voda vypouštěna do čistíčky odpadních vod.
- Ultrafiltrace – jedná se o relativně pokročilý způsob zpracování procesních kapalin. Je využíváno soustavy membrán, které propouštějí pouze čisté rozpouštědlo, tedy vodu a molekuly velmi malých rozměrů. To vede ke zkoncentrování oleje. Kvalita vody po ultrafiltraci bývá natolik vysoká, že její vypouštění do kanalizačního systému nebo přímo do povrchových vod nepředstavuje žádná rizika.

- Destilace – představuje metodu pro odstraňování emulzí a roztoků, která vyžaduje značné množství energie. Z důvodu snížení množství energie se pro tento účel téměř výhradně používají vakuové filmové odparky. Proces funguje na principu odpařování vody z tenké vrstvy za sníženého tlaku. Používá se na likvidaci vodou mísitelných procesních kapalin.

### 3 POROVNÁNÍ PROCESNÍCH KAPALIN VE VÝROBĚ

Firma Dormer Pramet s.r.o. používá pro frézování lůžek u nástrojových držáků (obr. 15) 6 CNC strojů značky Hermle které pracují bez přestávky, jako je například vertikální obráběcí centrum Hermle C 42 U. Standartní výroba tvoří 75 % z celkového objemu a zbylých 25 % jsou speciální zakázky a požadavky. Typickým materiálem držáku nástroje je legovaná nástrojová ocel 19 652 tvrdosti  $42 \div 50$  HRC. Po obrobení lůžek se provádí povrchová úprava, která zahrnuje niklování a černění. Objem výroby je zhruba 150 000 lůžek za rok. [22]



Obr. 15 Polotovary a výrobek [22].

Výroba je z 95 % uskutečňována za mokra, což znamená, že ekologické obrábění za sucha je prováděno pouze v 5 % případů. V dřívějších letech byla používána kapalina Metalina B800, u které byla nutná výměna každý rok a její následné doplnění. Pro zlepšení ekonomiky hospodaření s procesními kapalinami a s tím spojeného dopadu na životní prostředí byla zavedena nová kapalina Blaser Synergy 735. Před vysypáním a likvidací třísek se kapalina, která na nich ulpívá během obráběcího procesu, nechá samovolně vytéct a zachytává se pro opětovné použití, viz obr. 16. [22]



Obr. 16 Zachytávání procesní kapaliny z třísek [22].

### 3.1 Metalina B 800

Metalina B 800 je s vodou mísitelná, průhledná procesní kapalina určená pro obrábění kovů. Jde o zcela syntetickou kombinaci polymerových maziv a látek zabraňujících korozi. Dodává se bez obsahu minerálního oleje, zajišťuje dlouhou životnost a efektivně brání nežádoucímu přenosu oleje. Je navržena pro použití při středně obtížném až náročném obrábění kovových materiálů, zahrnujících i litinu a legované oceli. Díky vysoké mazací schopnosti nezanechává stopy na hliníku. Kapalina vykazuje minimální sklony k pění, umožňuje vysoce účinnou filtraci a rychlé odprašování. Obvyklé fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3. [23]

Tab. 3 Fyzikální vlastnosti Metalina B800 [23].

Vzhled koncentráту	Vzhled emulze	Hustota při 15,5 °C	pH při použití
Průhledný, žlutý	Průhledná, bezbarvá	1,06 g·cm <sup>-3</sup>	8,6 ÷ 9,0

Mezi největší výhody této kapaliny patří [23]:

- Úplné vylučování nechtěného oleje – zaručuje skvělou viditelnost obrobků a nedochází k rychlému znehodnocení procesní kapaliny.
- Velmi nízká pěnovost – nejsou nutné další přísady.
- Vysoce účinné mazání založené na polymerech – je tak zaručena vyšší trvanlivost nástroje a lepší jakost povrchu.
- Jednoduché oddělování drobných částic – vynikající filtrovatelnost zvyšuje životnost filtru.

Během používání je potřeba dbát zvýšené opatrnosti, jelikož kapalina způsobuje poleptání kůže a poškození očí. Dochází tedy ke zrudnutí, bolesti až popálenině. Při požití může poleptat ústa, jícn a žaludek. Kromě toho je také škodlivá pro vodní organismy s dlouhodobými účinky. Tím pádem je klasifikována jako nebezpečná. Je nutné pracovat jen při dostatečném větrání. Jestliže je při zacházení s kapalinou uvolňován kouř, plyn, páry nebo aerosol, je nutné dodržovat bezpečnostní opatření. Ta zahrnují její používání v uzavřených prostorách nebo odsávání na pracovišti. [22]

### 3.2 Blaser Synergy 735

Blaser Synergy 735 je plně syntetická vodou mísitelná procesní kapalina neobsahující olej určená pro obrábění kovových materiálů. Obrobené povrchové plochy jsou při použití kapaliny beze skvrn, což je způsobené neutrálním pH a toho je dosahováno i u citlivých slitin hliníku. Má extrémně nízkou pěnovost, takže je vhodná pro systémy s vysokým tlakem. Díky své skvělé oplachovací schopnosti a jednoduchému čištění umožňuje důkladné odstranění třísek a zároveň je zajištěna dobrá údržba. Jelikož je průzračná, tak poskytuje dostatečnou viditelnost rezného procesu. Kapalina nezapáchá a při styku s kůží obvykle nevyvolává zdravotní potíže, ovšem stejně jako Metalina B 800 je nebezpečná pro vodní organismy s dlouhodobými účinky. Je možné snadno odloučit odpadní olej a filtrovat jemné částice, které se dostanou do oběhu při obrábění. Fyzikální vlastnosti je možné nalézt v tab. 4. [24]

Tab. 4 Fyzikální vlastnosti kapaliny Blaser Synergy 735 [25].

Vzhled koncentráту	Vzhled emulze	Hustota při 20 °C	Bod vzplanutí	pH při používání
Průzračný	Průhledná	1,059 g·cm <sup>-3</sup>	>266 °C	7,5 ÷ 8,2

### 3.3 Poznatky z používání kapalin ve firmě Dormer Pramet s.r.o.

Metalina B800 je míchána s vodou v koncentraci 8 ÷ 10 % přičemž cena za 1 litr je 180 Kč. Každý rok jsou na výměnu potřeba 3 sudy o celkovém objemu 624 l. V letech 2020 ÷ 2021 byla používána ve strojích pouze řezná kapalina Metalina B800 a její obsah musel být vždy jedenkrát ročně kompletně vyměněn. Proto byla produkce odpadní emulze za 2020 ÷ 2021 vždy přibližně 6 000 l. [22]

V roce 2022 proběhlo testování nové řezné kapaliny Blaser Synergy 735 na jednom strojním zařízení. Jelikož se dostavili pozitivní výsledky, kdy prokázala vynikající kvalitu a dlouhou životnost, tak v následujícím roce 2023 byla Metalina nahrazena ve zbývajících zařízeních. Náklady na 1 litr jsou sice větší, a to 205 Kč za litr, ale je míchána v menší koncentraci 5 ÷ 7 % a především neztrácí i po delší době používání své užité vlastnosti takže není nutné náplň měnit. [22]

Údržba spočívá pouze v pravidelném doplňování kapaliny na předepsaný objem. Kontrolní měření koncentrace se provádí přibližně jednou za měsíc a podle toho se dolévá namíchaná emulze nebo jen čistá voda. Za rok je tak spotřebováno pouze 600 l emulze. Díky tomu dochází k výraznému snížení nákladů na pořízení. V tab. 5 je možné vidět, že po roce 2023, kdy byl zaveden Blaser Synergy 735 už každoroční náklady klesly pod 8000 Kč, což je enormní rozdíl oproti Metalině B800, u které v předešlých letech činili přes 110000 Kč. Kromě toho téměř odpadají náklady na likvidaci, ovšem u Metaliny B800 se projeví každý rok, viz tab. 6. Celkové výdaje na likvidaci řezných emulzí jsou ovlivněny nejen množstvím, ale také jednotkovou cenou, viz. tab. 7. [22]

Tab. 5 Pořizovací náklady kapalin [22].

Rok	Přibližné pořizovací náklady [Kč]	
	Metalina B800	Blaser Synergy 735
2020	112320	–
2021	112320	–
2022	93560	12300
2023	–	61500
2024	–	7380

Tab. 6 Náklady na likvidaci Metaliny B800 [22].

Rok	Odstraňovaný objem [l]	Náklady [Kč]
2020	6000	9360
2021	6000	9360
2022	5000	8100
2023	1000	1750

Tab. 7 Ceny za likvidaci řezných emulzí [22].

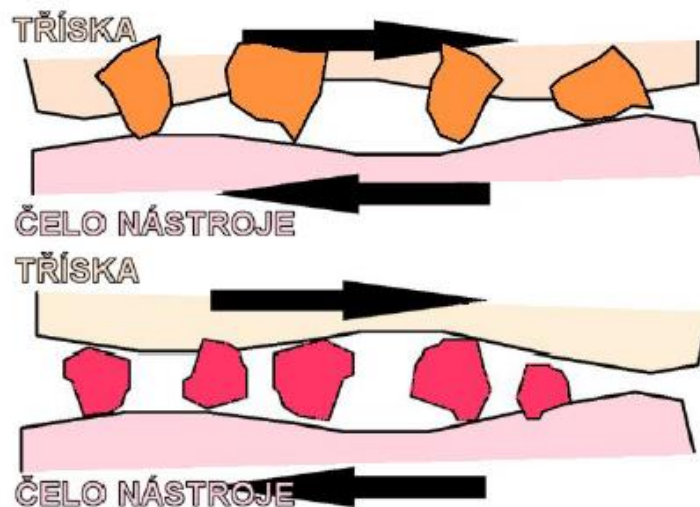
Rok	Cena [Kč·m <sup>-3</sup> ]
2020	1 560
2021	1 560
2022	1 620
2023	1 750
2024	1 750

## 4 TESTOVÁNÍ TRVANLIVOSTI A OPOTŘEBENÍ VBD

Opotřebení je standartním jevem u všech strojních prvků, které jsou ve vzájemném relativním pohybu a kontaktu. V průběhu obrábění vzniká relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem, ale také mezi nástrojem a třískou. Zároveň však dochází k přímému styku hlavního, vedlejšího hřbetu a špičky nástroje s obrobkem a kromě toho probíhá kontakt i mezi třískou a čelem nástroje. Toto vše nevyhnutelně vede k opotřebení a snížení trvanlivosti nástroje. Proces opotřebení nástroje je poměrně komplikovaný děj, který je ovlivněn několika faktory jako jsou například fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu obrobku a nástroje, použítá technologie obrábění, řezné podmínky a prostředí nebo i geometrie nástroje. [26]

Mezi hlavní mechanismy opotřebení lze zařadit [26]:

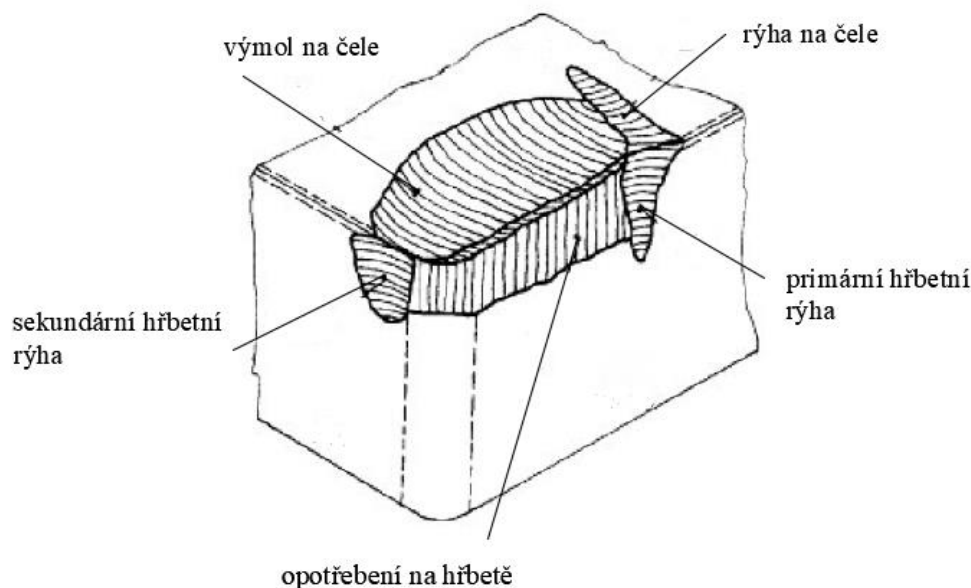
- Abrazi – ta představuje brusný otěr způsobený tvrdými částicemi, které se uvolňují z materiálu obrobku i z nástroje, viz obr. 17.
- Adhezi – znamená formování a okamžité roztržení mikroskopických svarových spojů mezi čelem a třískou, což je způsobené vysokým tlakem a teplotou a podobným chemickým složením.
- Difúzi – vede k tvorbě nepříznivých chemických sloučenin ve struktuře nástroje. Proces spočívá ve vzájemném přechodu atomů mezi nástrojovým a obráběným materiálem.
- Oxidaci - proces, při kterém se na povrchu nástroje vytvářejí chemické sloučeniny vlivem kyslíku z okolního prostředí.
- Plastickou deformaci – způsobená příliš vysokým mechanickým a tepelným zatížením.
- Křehký lom – vzniká v okamžiku, kdy břit narazí např. na vměstek v obráběném materiálu a nebo při přerušovaném řezu.



Obr. 17 Schéma abraze [26].

Opotřebení nástroje se typicky projevuje úbytkem materiálu na čele nebo hřbetě. Na obr. 18 jsou zobrazeny obvyklé typy opotřebení na břitu ze slinutého karbidu. Ovšem nejběžněji používaným a zkoumaným kritériem je VB – šířka fazetky na hřbetě. Je jedním z typů abrazivního opotřebení, které je způsobeno kontaktem s materiálem obrobku během obrábění. Jeho nadmíra vede ke snížení kvality obrobeného povrchu, větším rozměrovým odchylkám a ke zvýšení tření, které je způsobeno změnou geometrie břitu. Dalším podstatným druhem opotřebení je hloubka výmolu na čele KT. Příčinou jeho vzniku je především přítomnost difúze, která probíhá v části břitu s nejvyšší teplotou, čili tam, kde dochází ke kontaktu třísky s materiálem břitu. Přispívají k tomu i tvrdé částice, které se nacházejí v obrobku, a tak dochází k úbytku materiálu nástroje obrušováním. Pro zmenšení sklonu ke vzniku výmolu pomáhá větší

tvrdost za tepla a nízká afinita mezi břitem nástroje a obrobkem. V krajních případech toto může mít dopad na tvar třísky a směr řezné síly. [2; 26]



Obr. 18 Druhy opotřebení na břitu nástroje ze slinutého karbidu – podle [26].

Trvanlivost řezného nástroje je součtem všech čistých řezných časů od začátku procesu až do chvíle, kdy opotřebení břitu dosáhne předem určené hodnoty vybraného kritéria. To musí být vybráno takovým způsobem, aby daná součást měla po celý čas trvanlivosti požadované rozměry, tvar a jakost povrchu. Závisí hlavně na technologii obrábění, druhu obráběného a nástrojového materiálu a také na řezných podmínkách. [7; 26]

#### 4.1 Informace o experimentu

Experiment spočíval ve zkoumání trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček v různém řezném prostředí při čelním frézování. Konkrétně se jednalo o obrábění s použitím řezné kapaliny a o obrábění za sucha. Pro testování byly použity dva druhy destiček A, C, vyrobené ze slinutého karbidu (SK) firmou Dormer Pramet s.r.o. a jejich katalogové označení je ADMX 160608SR. Jejich geometrie je shodná, ovšem liší se materiálem. Podle zvolené geometrie jsou určeny pro dokončování, lehké až střední obrábění. Mají zaoblené ostří s fazetkou a poloměr špičky  $RE = 0,8$  mm. Destička je uvedena na obr. 19. [27]



Obr. 19 VBD, ADMX 160608SR [28].

Do sledovaných forem opotřebení destičky patří opotřebení hlavního hřbetu VBb, vedlejšího hřbetu VB2 a špičky VBc. Kritéria pro ukončení trvanlivosti byla zvolena VBb = 0,3 mm, VB2 = 0,25 mm a VBc = 0,6 mm. Jelikož se při měření ukázalo, že opotřebení VBc nedosáhlo hodnot ani 0,2 mm tak v další části nebude vyhodnocováno. Kontrolní měření probíhalo po cca 6 min. Vždy byly testovány 2 kusy od každého druhu. Pokud by rozptyl trvanlivostí činil více jak 15 %, tak by musela být testována další destička. K tomu ovšem nedošlo. Pro testování byla použita čelní fréza, viz obr. 20, ale upnuta byla pouze jedna VBD.



Obr. 20 Fréza použitá pro testování.

Frézování probíhalo na hranolu o délce 800 mm a šířce frézované plochy 48 mm zhotoveného z oceli 12050.9. Jde o nelegovanou zušlechťenou ocel s obsahem uhlíku mezi 0,42 a 0,5 %. Povrchově lze tuto ocel kalit na tvrdost v rozmezí 50 ÷ 60 HRC. Svařitelná je jen obtížně. S výhodou se z ní vyrábí středně pevné oděru odolné součásti. Obvykle se používá k výrobě hřídelí elektromotorů, oběžných kol čerpadel, vřeten a upevňovacích přípravků. Může být využita pro výrobu tyčí, nábojů kol nebo i nástrojů jako jsou nože. Chemické složení je uvedeno v tab. 7 a následně mechanické vlastnosti v tab. 8. [29]

Tab. 8 Chemické složení oceli 12050 [30].

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]	P [%]	S [%]
0,42÷0,50	0,50÷0,80	0,17÷0,37	max 0,25	max 0,30	max 0,30	max 0,04	max 0,04

Tab. 9 Mechanické vlastnosti oceli 12050 [30].

Mez kluzu $R_{p0,2}$	[MPa]	min 325
Mez pevnosti $R_m$	[MPa]	min 540
Tažnost $A_5$	[%]	17
Tvrdost	[HB]	max 225
Modul pružnosti v tahu E	[GPa]	211
Modul pružnosti ve smyku G	[GPa]	79

Řezné podmínky byly voleny na základě doporučeného rozsahu od firmy Dormer Pramet s.r.o. s tím že, se použila horní hodnota. To proto, aby testování probíhalo v co nejkratším čase a zároveň, aby destička byla dostatečně zatížena. Při malých řezných rychlostech by trvanlivost výrazně vzrostla a nebylo by možné efektivně získávat potřebná data. Před započítím experimentu byla provedena zkouška a při řezné rychlosti  $v_c = 260 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  bez použití procesní kapaliny bylo dosahováno příliš velkých trvanlivostí. Z tohoto důvodu byla použita vyšší řezná rychlost. Zvolené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 9 a tab. 10.

Tab. 10 Řezné podmínky pro test s procesní kapalinou.

$v_c$ [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$f_z$ [mm]	$v_f$ [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$a_p$ [mm]
260	1314	0,20	263	2,50

Tab. 11 Řezné podmínky pro test za sucha.

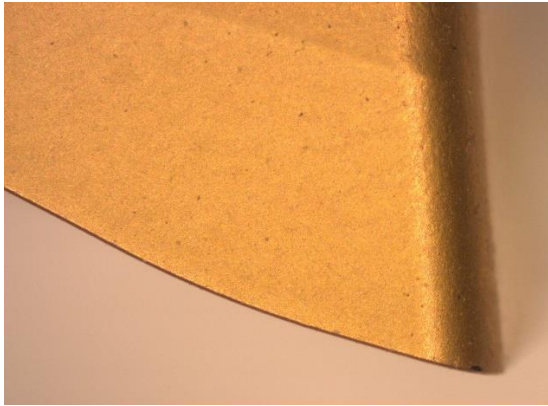
$v_c$ [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$f_z$ [mm]	$v_f$ [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$a_p$ [mm]
300	1516	0,20	303	2,50

## 4.2 Vyhodnocení výsledků

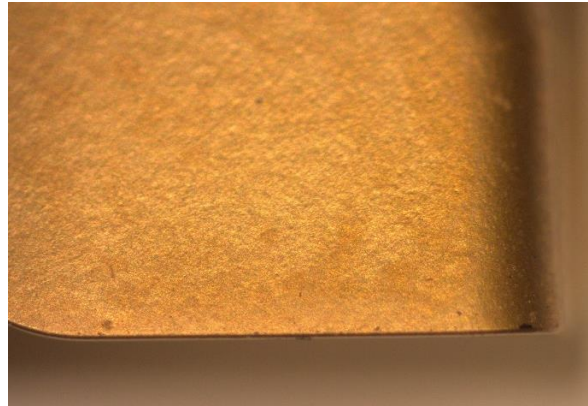
Měření opotřebení probíhalo na mikroskopu Zeiss (obr. 21), ze kterého byl obraz převáděn do počítače. Tam byla pomocí programu pořízena fotografie destičky a následně změřeno dané opotřebení. Před zahájením obráběcího procesu, byla nová VBD vyfocena, viz obr. 22; 23; 24, aby bylo možné porovnat výchozí a konečný stav. Je zde zobrazena pouze jedna destička ve výchozím stavu, protože se od ostatních liší pouze materiálem, respektive naneseným povlakem.



Obr. 21 Mikroskop Zeiss.



Obr. 22 Nová destička – hlavní hřbet (hh).



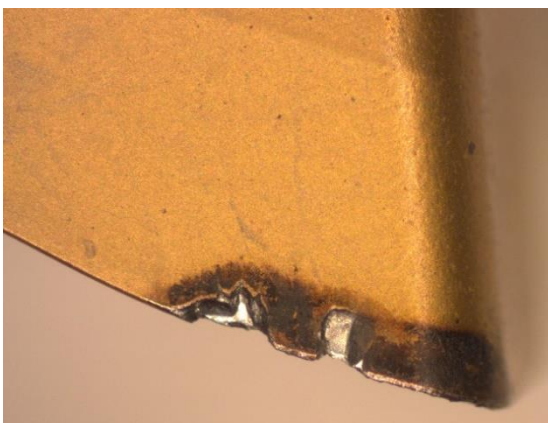
Obr. 23 Nová destička – vedlejší hřbet (vh).



Obr. 24 Nová destička – čelo (cc).

#### 4.2.1 Výsledky destiček typu A s kapalinou

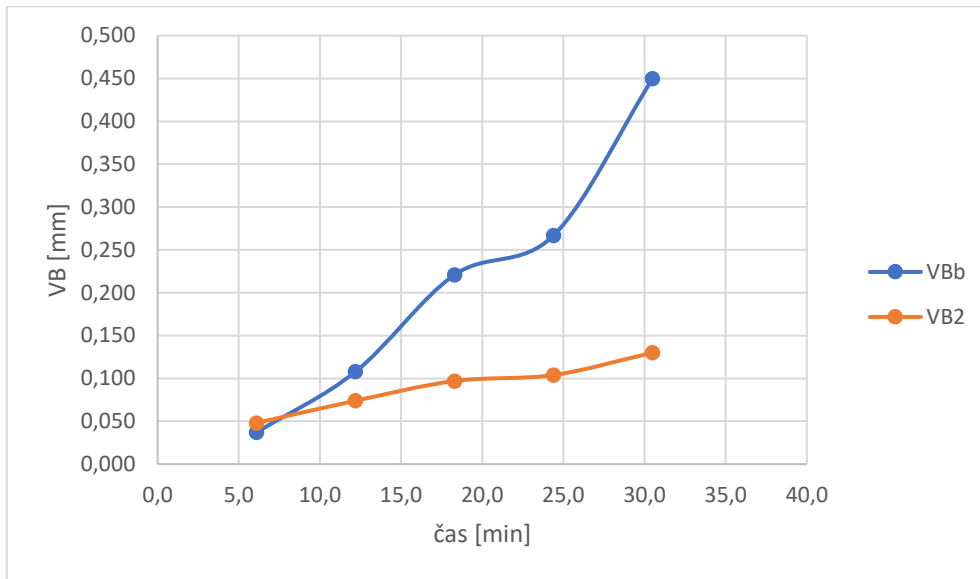
Při obrábění destičkou A7 došlo k téměř trojnásobnému nárůstu opotřebení na hlavním hřbetu VBb mezi 6. a 12. minutou, a to z 0,037 mm na 0,108 mm. Ovšem od 18. do 24. minuty se opotřebení zvětšilo pouze o 0,046 mm. V pátém čase měření byla ukončena trvanlivost destičky, protože došlo k vyštípnutí hlavního ostří, viz obr. 25. Opotřebení na vedlejším břitu (obr. 26) nebylo nijak výrazné. Průběh opotřebení je pak možné vidět na obr. 27.



Obr. 25 VBD A7 v čase 30,5 min – hh.

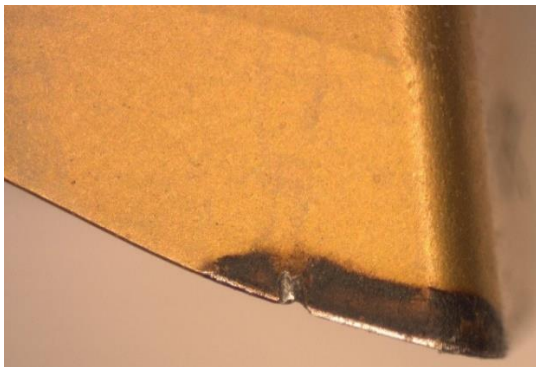


Obr. 26 VBD A7 v čase 30, 5 min – vh.

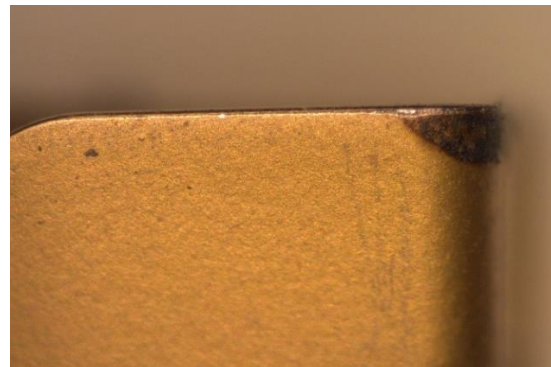


Obr. 27 Průběh opotřebení u VBD A7.

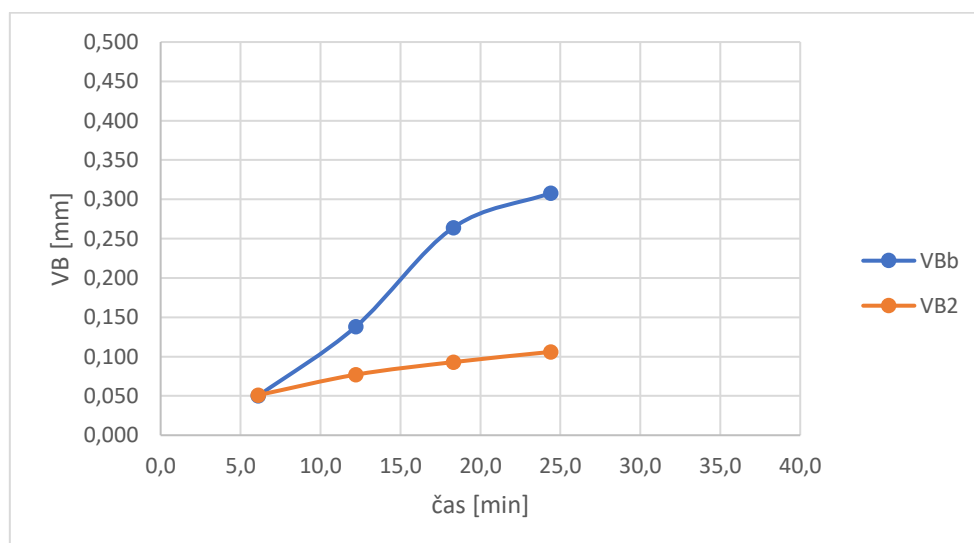
Na obr. 28 a 29 je zobrazena destička A8, u které se opotřebení hlavního hřbetu zvětšovalo rychleji než u A7, a tak už v čase 24,4 min bylo překročeno kritérium VBb hodnotou 0,308 mm, což je znázorněno na obr. 30. Nicméně rozptyl byl méně než 11 % a tím pádem nebylo nutné experiment opakovat. Z obr 28. je patrné, že došlo i k lehkému vyštípnutí ostří. Opotřebení vedlejšího hřbetu v čase probíhalo téměř stejně jako u A7.



Obr. 28 VBD A8 v čase 24,4 min – hh.



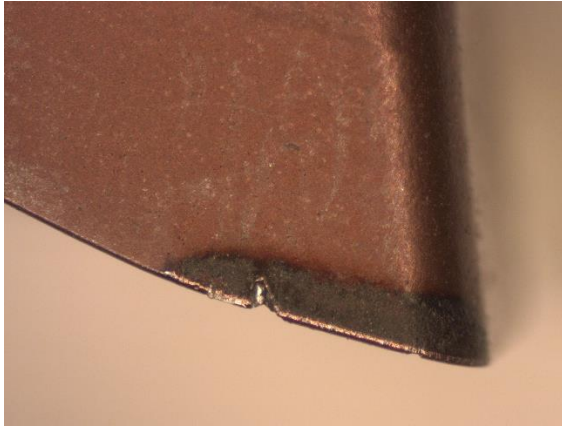
Obr. 29 VBD A8 v čase 24,4 min – vh.



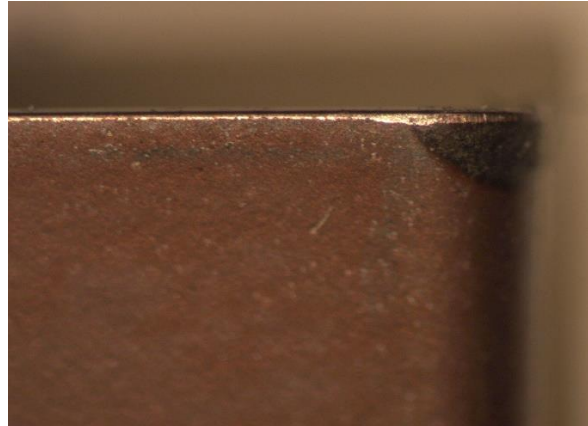
Obr. 30 Průběh opotřebení u VBD A8.

#### 4.2.2 Výsledky destiček typu C s kapalinou

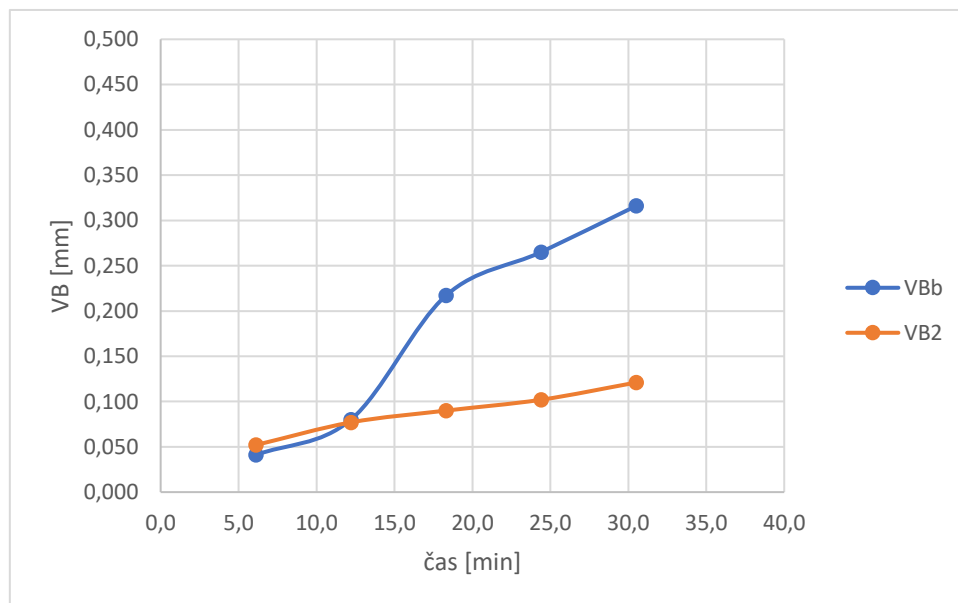
Na začátku řezného procesu, tedy do 12,2 min, opotřebení na hlavním hřbetu nenarůstalo takovým tempem jako u destiček typu A. Avšak v čase 18,3 min už VBD C1 dosáhla hodnoty VBb prakticky stejné jako destičky typu A. Tento poměrně prudký vzrůst opotřebení je možné vidět na obr. 33. Při měření v čase 30,5 min bylo zjištěno vyštípnuté ostří a zároveň překročeno kritérium VBb, viz obr. 31, takže byla ukončena její trvanlivost. Opotřebení VB2 nebylo nijak výrazné, dosáhlo hodnoty 0,121 mm (obr. 32).



Obr. 31 VBD C1 v čase 30,5 min – hh.

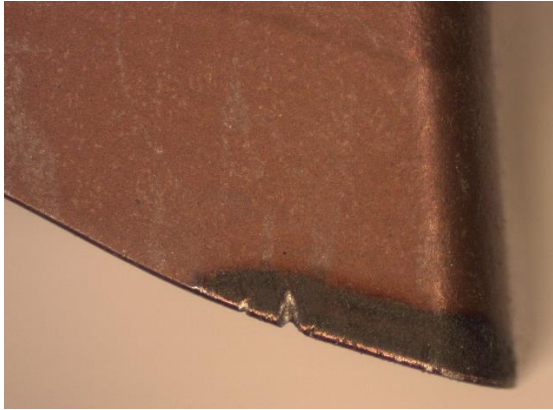


Obr. 32 VBD C1 v čase 30,5 min – vh.

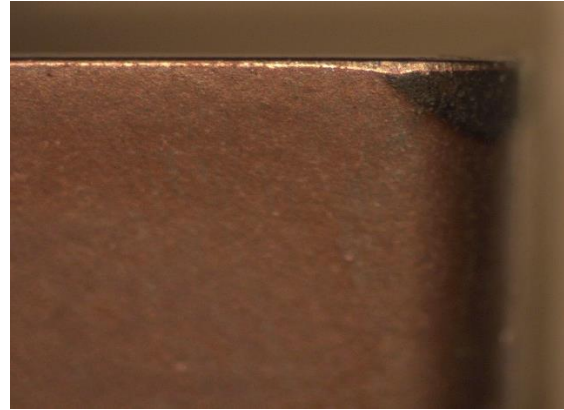


Obr. 33 Průběh opotřebení u VBD C1.

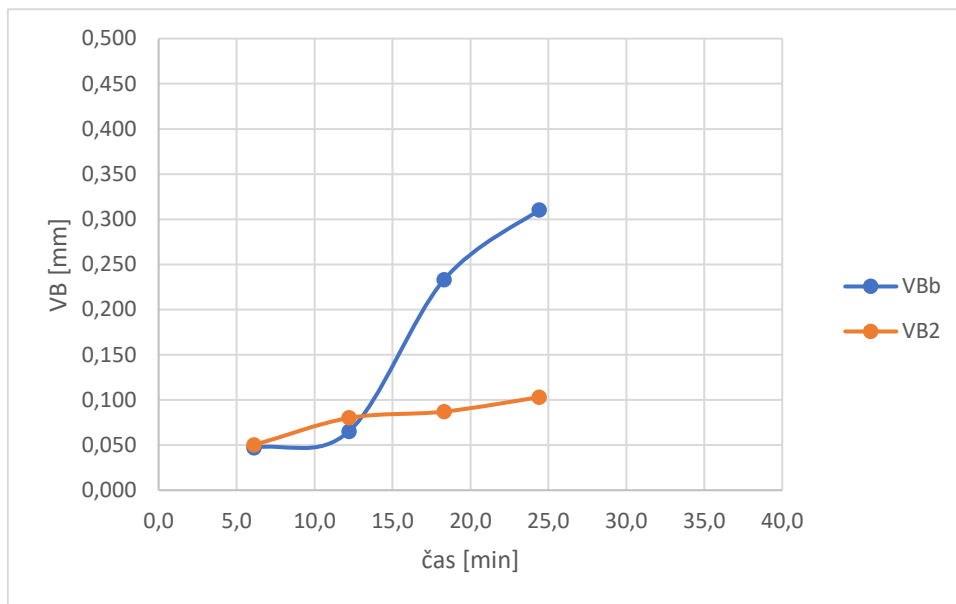
U destičky C4 se opět opotřebení drželo na nízké úrovni pouze do času 12,2 min. Poté došlo během 6 min k více jak trojnásobnému nárůstu VBb, viz obr. 36. Trvanlivost byla ukončena v čase 24,4 min, protože došlo k překročení kritéria VBb, viz obr. 34. Opotřebení na vedlejším hřbetě se drželo na nízkých hodnotách (obr. 35).



Obr. 34 VBD C4 v čase 24,4 min – hh.



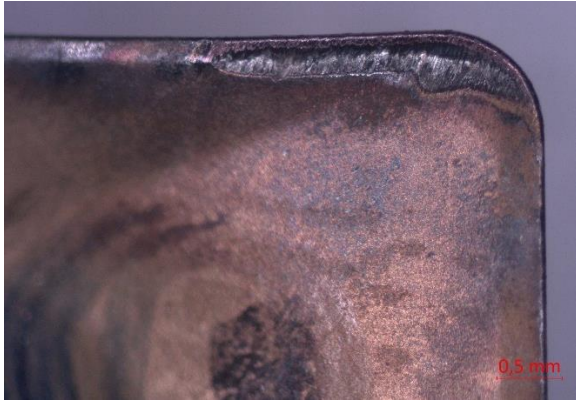
Obr. 35 VBD C4 v čase 24,4 min - vh.



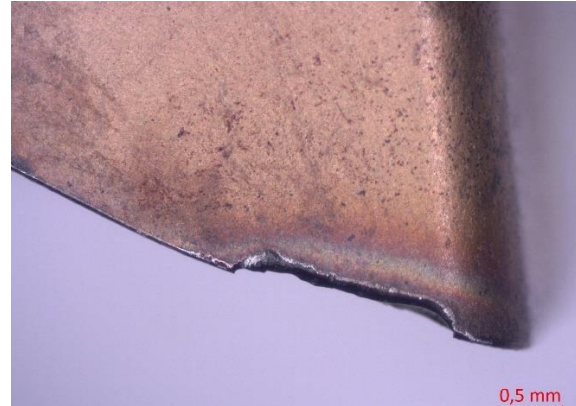
Obr. 36 Průběh opotřebení u VBD C4.

#### 4.2.3 Výsledky destiček typu A za sucha

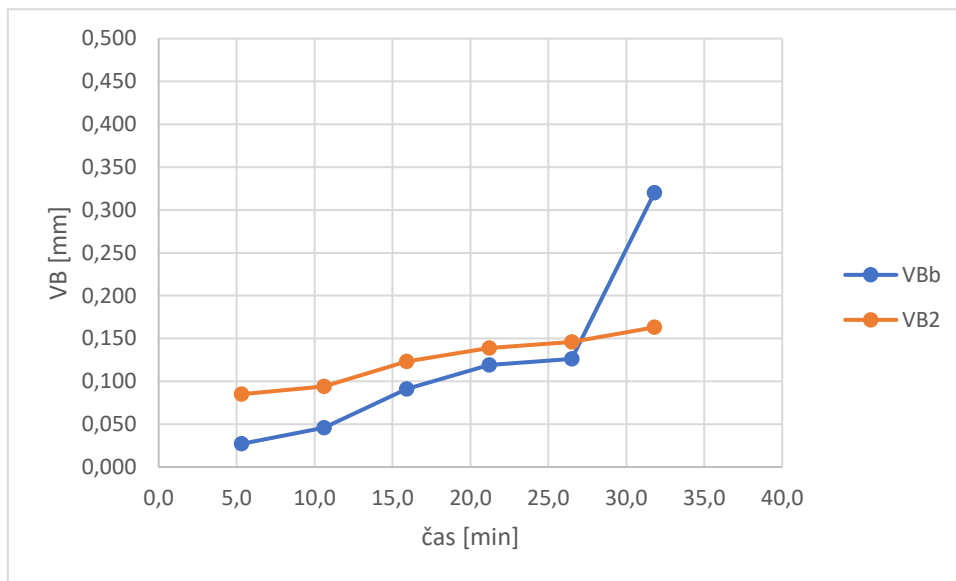
V průběhu testování destičky A9 se sledované druhy opotřebení projevily pouze v malé míře. Rozdílem oproti testování s chlazením byl fakt, že opotřebení VB2 se většinu trvanlivosti drželo na vyšších hodnotách než VBb. To je zaznamenané na obr. 39. Naopak výmol na čele byl znatelný už v čase 15,9 min, viz obr. 37. Nejspíše v důsledku velkého výmolů a tedy zeslabeného materiálu došlo k vyštípnutí hlavního ostří v čase 31,8 min jak je možné vidět na obr. 38.



Obr. 37 VBD A9 v čase 15,9 min – cc.

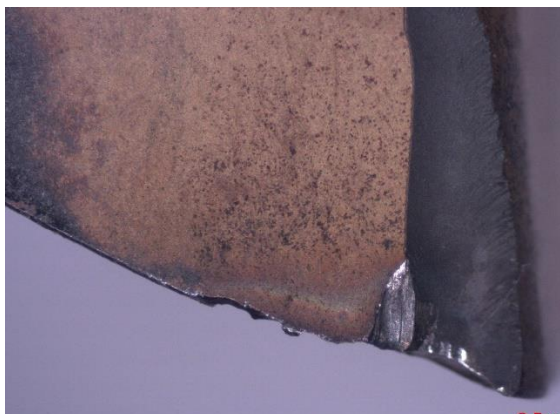


Obr. 38 VBD A9 v čase 31,8 min – hh.



Obr. 39 Průběh opotřebení u VBD A9.

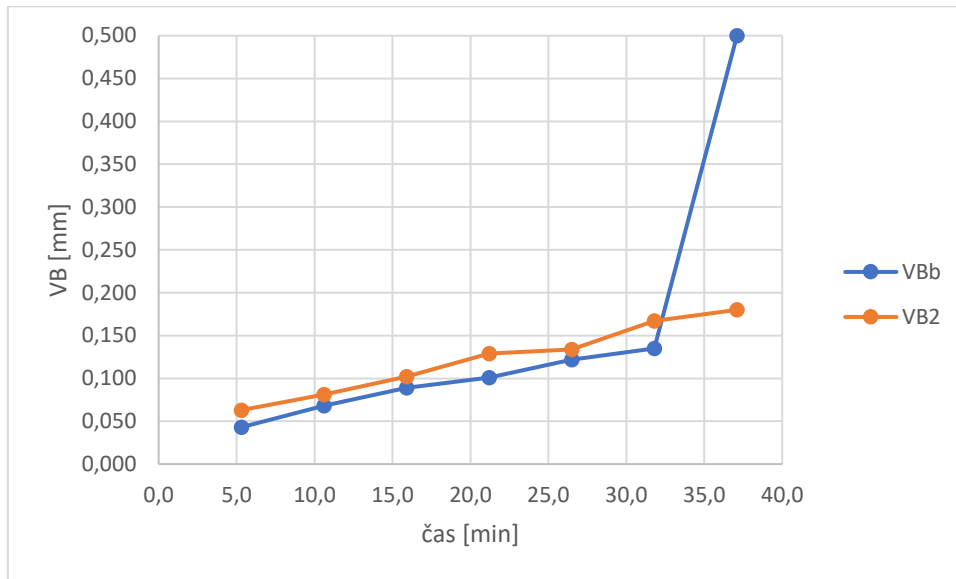
Opotřebení u destičky A0 se projevilo velmi podobně jako u A9, ale tady byla v čase 31,8 min hodnota VBb pouze 0,135 mm. Bohužel se stejně jako u destičky A9 tvořil výmol na čele a došlo k vyštípnutí hlavního ostří, což je zobrazeno na obr. 40 a 41. Vyštípnutí způsobilo rozsáhlé poškození destičky o čemž vypovídá i opotřebení VBb = 1 mm. Z obr. 42 je viditelné, že nárůst opotřebení byl rapidní. Destička i tak dosáhla trvanlivosti 32,3 min.



Obr. 40 VBD A0 v čase 32,3 min – hh.



Obr. 41 VBD A0 v čase 32,3 min – vh.



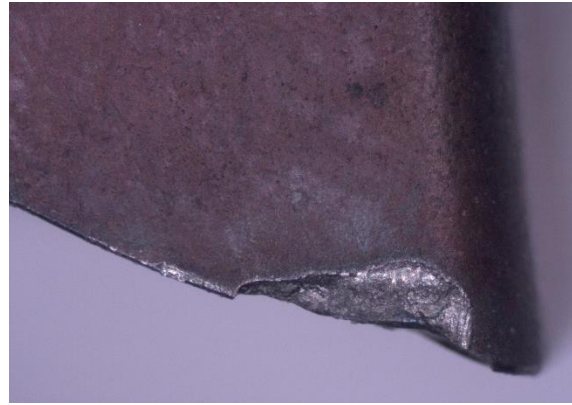
Obr. 42 Průběh opotřebení u VBD A0.

#### 4.2.4 Výsledky destiček typu C za sucha

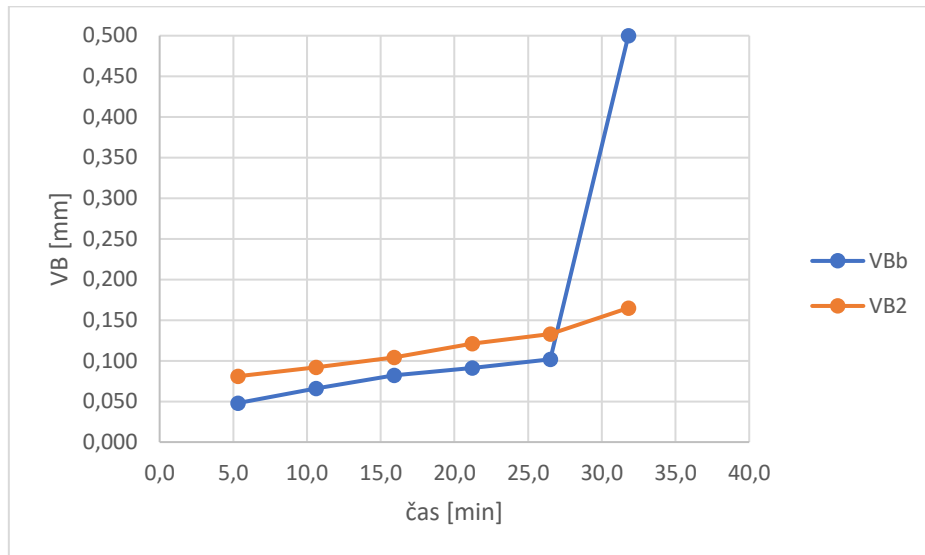
U destičky C5 se opotřebení hlavního hřbetu zvětšovalo velmi pomalu. V čase 26,5 min nabývalo hodnoty 0,102 mm, což je pouze 34 % ze zadaného kritéria, viz obr. 43. Ovšem při kontrolním měření v čase 31,8 min, bylo zjištěno vyštípnuté hlavní ostří zobrazené na obr. 44 a tedy ukončena trvanlivost. Stejně jako u destičky A9 a A0 je možné pozorovat, že opotřebení VB2 se do vyštípnutí ostří drželo na vyšších hodnotách než VBb, viz obr 45.



Obr. 43 VBD C5 v čase 26,5 min – hh.

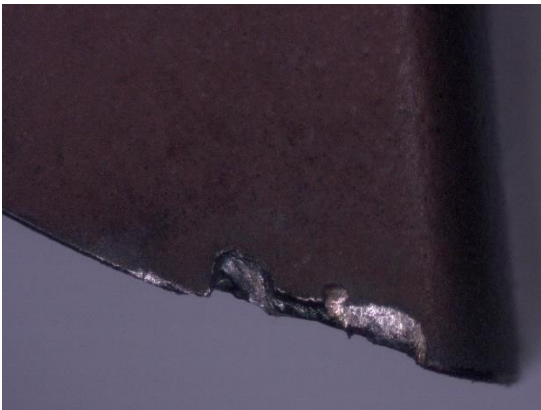


Obr. 44 VBD C5 v čase 31,8 min – hh.



Obr. 45 Průběh opotřebení u VBD C5.

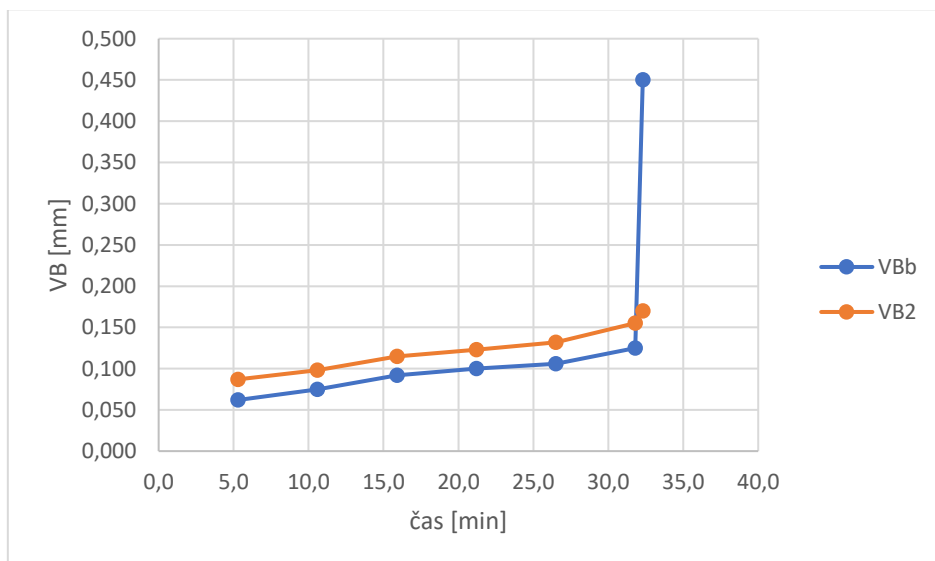
Průběh opotřebení destičky C7 byl velmi podobný jako u C5. Trvanlivost byla ukončena opět z důvodu vyštípnutého hlavního ostří, viz obr. 46. Při vyštípnutí došlo zároveň i k překročení kritéria VBb. Na obr. 47 je možné vidět výrazný výmol na čele a tedy úbytek materiálu nástroje. Průběh opotřebení v čase je uveden na obr. 48.



Obr. 46 VBD C7 v čase 32,3 min – hh.



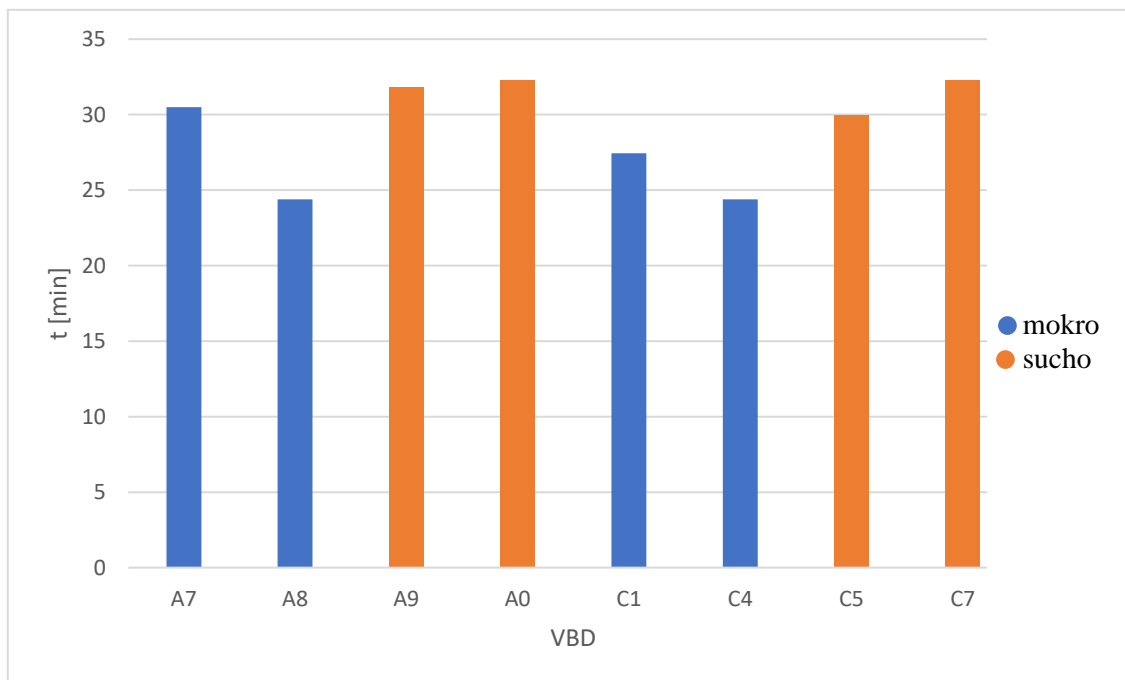
Obr. 47 VBD C7 v čase 32,3 min – cc.



Obr. 48 Průběh opotřebení u VBD C7.

### 4.3 Porovnání výsledků

V průběhu testování se ukázalo, že destičky, pomocí kterých se obrábělo za sucha dosahovaly obvykle vyšších trvanlivostí než destičky s použitím procesní kapaliny. To bylo pravděpodobně způsobeno nedokonalým chlazením, kdy byly destičky vystavovány teplotním šokům. Pro porovnání jsou hodnoty uvedeny na obr. 49. Rozdíly sice nebyly nijak výrazné, ale to je způsobeno tím, že při suchém obrábění byla zvolena větší řezná rychlost  $v_c$  o  $40 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Tedy pokud by byla použita stejná hodnota  $v_c$ , tak by při obrábění s procesní kapalinou byla trvanlivost mnohem menší než za sucha. Další odlišností byl způsob ukončení trvanlivosti. V případě suchého obrábění došlo pokaždé k vyštípnutí hlavního ostří. Opotřebením na hlavním či vedlejším hřbetě se příliš nepřibližovalo ke zvoleným kritériím. Naopak u obrábění s kapalinou docházelo nejen k vyštípnutí, ale i k překročení hodnoty VBb.



Obr. 49 Porovnání trvanlivostí VBD.

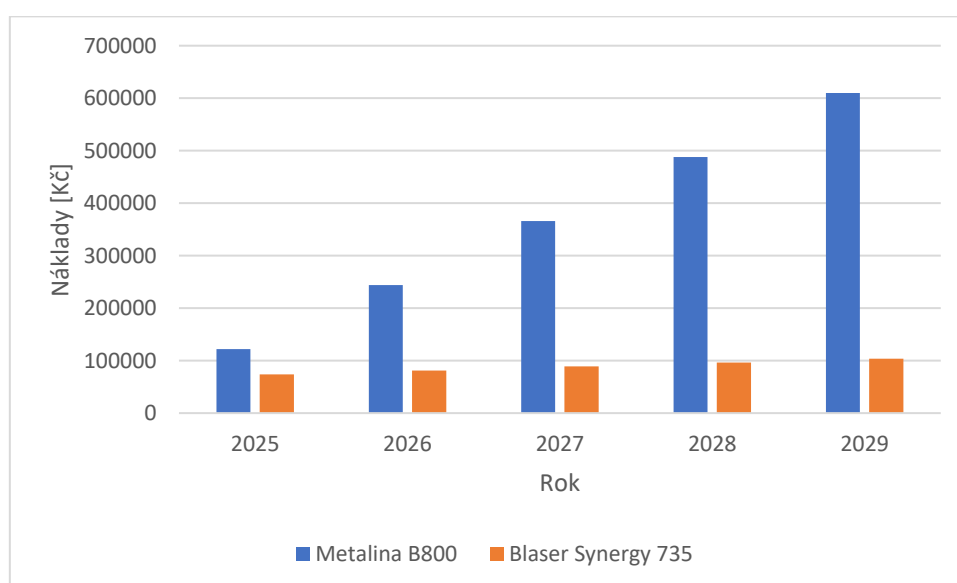
## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výrobní náklady jsou velmi důležitým parametrem, které ovlivňují nejen finální cenu výrobku, ale i postup výroby. Firmy si tedy konkurují kvalitou zhotovení výrobků, ale také velikostí nákladů. Z tohoto důvodu často dochází ke změnám a různým inovacím v chodu firmy nebo právě v podmínkách a způsobu výroby. Díky tomu lze dosáhnout větších výdělků nebo naopak snížení prodejní ceny výrobku a s tím spojené zvýšení konkurenceschopnosti.

K takové inovaci došlo i ve firmě Dormer Pramet s.r.o., kde byla při výrobě lůžek nástrojových držáků používána procesní kapalina Metalina B800. Výrobní stroje jsou velmi vytiženy a docházelo tak výraznému znehodnocení kapaliny. Kvůli tomu narůstaly pořizovací náklady (tab. 5) a jelikož nebylo možné kapalinu upravit, tak musela být pravidelně vyměňována. Aby bylo docíleno nižších nákladů na pořízení a likvidaci, tak byla zavedena nová kapalina Blaser Synergy 735. Každoročně bylo za Metalinu B800 zapláceno včetně likvidace cca 122 000 Kč. Oproti tomu počáteční náklady na Blaser Synergy činily pouze cca 74 000 Kč a v dalších letech už jen zhruba 7400 Kč na doplňování viz tab. 12. Pro porovnání nákladů byl vytvořen výhled na 5 let pro obě zmíněné kapaliny, což je možné vidět na obr. 50. Bylo uvažováno, že se obě kapaliny začaly používat v roce 2025 a náklady se sčítaly.

Tab. 12 Roční náklady na kapaliny.

	Pořízení a likvidace Metalina B 800	Pořízení a doplňování Blaser Synergy 735
	[Kč]	[Kč]
2025	122000	74000
2026	122000	7400
2027	122000	7400
2028	122000	7400
2029	122000	7400



Obr. 50 Výhled nákladů na 5 let používání kapalin.

---

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byla analýza a průzkum využití procesních kapalin při třískovém obrábění. V rešeršní části práce byly charakterizovány druhy řezných kapalin, tuhá maziva a také obrábění za sucha. Vhodné kapaliny jsou voleny na základě požadavků, které musí splňovat a pro správnou efektivitu jsou do místa řezu přiváděny různými způsoby. Z hlediska ekologie je nezbytná údržba a následná likvidace procesních kapalin.

V praktické části byly popsány dvě procesní kapaliny, které jsou používány ve výrobě ve firmě Dormer Pramet s.r.o. Z ekonomického hlediska se ukázalo výhodnější využití kapaliny Blaser Synergy 735, jelikož není nutné měnit celý objem a stačí pouze regulovat množství a danou koncentraci. To vyplývá i z technicko-ekonomického zhodnocení, kde náklady na Metalinu B800 jsou nesrovnatelně vyšší. Už po pěti letech používání by došlo k 83% úspoře nákladů. Zároveň bylo díky přechodu na novou kapalinu dosaženo ekologičtější výroby, protože nedochází k pravidelné likvidaci.

V experimentu byl zkoumán rozdíl mezi obráběním s řeznou kapalinou a za sucha. Je zde popsán způsob testování a následné získávání výsledků. Byly měřeny hodnoty trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček a průběh opotřebení v čase. Při obrábění za mokra dosáhly destičky typu A průměrné trvanlivosti 27,5 min a typu C 25,9 min. Zásadním rozdílem u testu za sucha byla řezná rychlost, která byla vyšší o  $40 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a i přes to bylo dosaženo vyšší trvanlivosti. Konkrétně destička A v průměru 32,1 min což představuje 15% nárůst trvanlivosti a destička C 30,1 min, u které nárůst činí 14 %. Při testování bylo prokázáno, že pro daný materiál a použitou technologii je možné vhodnou volbou nástroje, respektive nástrojového materiálu a pomocí správných řezných podmínek dosáhnout vyšší trvanlivosti VBD bez použití procesní kapaliny.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. JERSÁK, Jan a POPOV, Alexey et al. *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace*. Online. 2014. ISBN 978-80-7494-142-9. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/172671>.
  2. ČEP, Robert a PETRŮ, Jana. *Úvod do teorie obrábění*. Online. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. Dostupné z: [https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_002/%C3%9Avod%20do%20terioie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD.pdf](https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_002/%C3%9Avod%20do%20terioie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD.pdf). [cit. 2025-01-20].
  3. DADO, Miroslav a RUSKOVÁ, Jana. *Environmentálne kritériá optimalizácie výberu rezných kvapalin*. Online. Bratislava, 2009. Dostupné z: [http://mazp2009.proenviro.org/Clanky/C/c\\_Dado\\_Ruskova.pdf](http://mazp2009.proenviro.org/Clanky/C/c_Dado_Ruskova.pdf). [cit. 2025-01-20].
  4. *Co je CNC obrábění a jakou roli hraje v moderní výrobě? Online*. In: *KT Met Steel*. 2022. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/co-je-cnc-obrabeni-a-jakou-roli-hraje-v-moderni-vyrobe>. [cit. 2025-01-20].
  5. *CNC Frézování*. Online. In: Kovokon. Dostupné z: <https://www.kovokon.cz/sluzby/cnc-frezovani/>. [cit. 2025-01-20].
  6. TREFIL, Antonín a SIKORA, Kamil. *Procení média*. Online. 2014. Dostupné z: <https://a9fec5f63e.cbaul-cdnwnd.com/22535f76c152d96cdfdd97331a1420b5/200000090-99a5b9c11e/Procesn%C3%AD%20m%C3%A9dia.pdf>. [cit. 2025-01-21].
  7. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
  8. *Olej ve vodě, voda v oleji – dva typy emulze*. Online. In: IStock by Getty Images. 2021. Dostupné z: <https://www.istockphoto.com/cs/vektor/olej-ve-vode%20voda-v-oleji-dva-typy-emulze-stabiln%C3%AD-heterogenn%C3%AD-rozptyl-vektorov%C3%A9-gm1293977241-388155690?searchscope=image%2Cfilm>. [cit. 2025-01-21].
  9. GELETA, Vojtech; KRÁLIK, Marian a KRÁLIK, Marian. *Technológia II: Technológia obrábania*. Online. STU v Bratislave, Strojnícka fakulta, 2020. Dostupné z: <https://usetm.sjf.stuba.sk/TOaM/Technologia%20II.pdf>. [cit. 2025-01-24].
  10. *Profesionální leštící a brusné pasty*. Online. In: Prima dílna. C2025. Dostupné z: [Profesionální leštící a brusné pasty](#). [cit. 2025-01-24].
  11. *Kontinuální odstředivky*. Online. In: Rousselet Robotel. C2025. Dostupné z: <https://www.rousselet-robotel.com/cs/za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-podle-pou%C5%BEit%C3%AD/stroj%C3%ADrenstv%C3%AD-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD-a-hydrometalurgie-plastik%C3%A1%C5%99sk%C3%BD-pr%C5%AFmysl/kontinu%C3%A1ln%C3%AD-odst%C5%99edivky.html>. [cit. 2025-01-25].
  12. *Broušení na kulato*. Online. In: Aluagnus. C2025. Dostupné z: <https://www.aluagnus.com/zakazkova-vyroba/brouseni/na-kulato/>. [cit. 2025-01-27].
  13. VRTALOVÁ, Martina. *Hygienická problematika rezných kapalin*. Online. 2023. Dostupné z: [https://szu.gov.cz/wp-content/uploads/2023/09/Hygienicka-problematika-reznych-kapalin\\_Mgr.-Martina-Vrtalova.pdf](https://szu.gov.cz/wp-content/uploads/2023/09/Hygienicka-problematika-reznych-kapalin_Mgr.-Martina-Vrtalova.pdf).
  14. MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY. *Řezné kapaliny*. Online. 2020. Dostupné z: <https://mov.nuv.cz/uploads/mov/attachment/attachment/82526/Ucebni-material-Rezne-kapaliny.docx>.
-

- 
15. *Obrábění*. Online. In: Pharmix. C2023. Dostupné z: <https://www.pharmix.cz/obrabeni/>. [cit. 2025-01-29].
  16. *CNC obrábění*. Online. In: Atona. Dostupné z: <https://www.atona.cz/cnc-obrabeni.html>. [cit. 2025-01-29].
  17. SEDLÁK, Josef. *Technologie obrábění [přednáška]*. VUT v Brně, 19.3.2024.
  18. BURANSKÁ, Eva. *Manažment rezných kvapalín*. Online. Žilina: Strix et SSŽP, 2017. ISBN 978-80-89753-17-8. Dostupné z: [https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2017\\_conference\\_IBP\\_p-124\\_BuranskaE\\_f34.pdf](https://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2017_conference_IBP_p-124_BuranskaE_f34.pdf). [cit. 2025-01-31].
  19. *Lubricants and lubrication*. Online. Second. Wiley, 2007. ISBN 978-3-527-31497-3. Dostupné z: [https://www.academia.edu/33801145/Lubricants\\_and\\_Lubrication\\_Edited\\_by\\_Theo\\_M\\_ang\\_and\\_Wilfried\\_Dresel](https://www.academia.edu/33801145/Lubricants_and_Lubrication_Edited_by_Theo_M_ang_and_Wilfried_Dresel). [cit. 2025-02-01].
  20. *Koncentrace*. Online. In: Průmyslové spektrum. 2022. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pece-o-vodou-misitelne-rezne-kapaliny>. [cit. 2025-02-14].
  21. *Magnetický separátor s papírovou filtrací*. Online. In: Itax precision. Dostupné z: <https://www.itax.cz/eshop/magneticke-separatory-a-filtrace/magneticky-separator-s-papirovou-fitraci-120l-mc-pf-40>. [cit. 2025-02-14].
  22. Informace poskytnuté firmou Dormer Pramet s.r.o.
  23. *Metalina B 800: Technický list*. Online. 2012. Dostupné z: <https://eshop.lubstar.cz/out/ftp/media/userfiles/metalina-b-800.pdf>. [cit. 2025-02-08].
  24. *Synergy 735*. Online. Blaser Swissslube. Dostupné z: <https://blaser.com/cs/synergy-735/>. [cit. 2025-02-10].
  25. *Synergy 735*. Online. C2025. Dostupné z: <https://www.sk-industrial.com/synergy-735-pail>.
  26. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část*. Brno, 2003. Dostupné z: <https://ust.fme.vutbr.cz/dtb/eopory.php>. [cit. 2025-03-13].
  27. DORMER PRAMET. *Frézování: katalog 2021-2022*. DORMER PRAMET, s. r. o., 2021., 790 s.
  28. *Vyměnitelná břitová destička, PRAMET, ADMX 160608SR-F:M8330*. Online. In: Proprumysl. C2025. Dostupné z: <https://www.proprumysl.cz/vymenitelna-britova-desticka-pramet-admx-160608sr-f-m8330/>. [cit. 2025-03-16].
  29. *Jakost C45 (ČSN 12050, C60E4, ozn. W nr. 1.0503)*. Online. Atreon. C2025. Dostupné z: <https://www.atreon.cz/jakost-c45/>. [cit. 2025-03-17].
  30. *Ocel 12 050*. C2025. Dostupné také z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel\\_12050.3.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel_12050.3.pdf). [cit. 2025-03-17].
-

---

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Symbole

Označení	Legenda	Jednotka
A <sub>5</sub>	tažnost	[%]
a <sub>p</sub>	hloubka řezu v axiálním směru	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[GPa]
f <sub>z</sub>	posuv na zub	[mm]
G	modul pružnosti ve smyku	[GPa]
KT	hloubka výmolu na čele	[mm]
n	otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
pH	vyjadřuje kyselost či zásaditost prostředí	[-]
RE	poloměr špičky nástroje	[mm]
R <sub>m</sub>	mez pevnosti	[MPa]
R <sub>p0,2</sub>	mez kluzu	[MPa]
VB	šířka fazetky na hřbetě	[mm]
VB2	opotřebení vedlejšího hřbetu	[mm]
VBb	opotřebení hlavního hřbetu	[mm]
VBc	opotřebení špičky	[mm]
v <sub>c</sub>	řezná rychlost	[m·min <sup>-1</sup> ]
v <sub>f</sub>	posuvová rychlost	m·min <sup>-1</sup>

### Zkratky

Označení	Legenda
cc	pohled na čelo
CNC	computer numerical control (počítačem řízený obráběcí stroj)
EP	extreme pressure (extrémně vysoké tlaky)
hh	pohled na hlavní hřbet
HRC	tvrdost dle Rockwella
HB	tvrdost dle Brinella
MQL	minimum quantity lubrication (minimální množství mazání)
SK	slinutý karbid
VBD	vyměnitelná břitová destička
vh	pohled na vedlejší hřbet

---