

Poděkování

Na tomto místě děkuji vedoucímu disertační práce Prof. Ing. Alexeyovi Popovovi, DrSc. za poskytnuté informace, podnětné rady a připomínky a pomoc při vypracování disertační práce. Taktéž děkuji Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za konzultace nad tématy spojenými s tvorbou programu na CNC soustruhu.

Dále děkuji technickému řediteli panu Ing. Jaromíru Čermákovi z Preciosa Ornela a.s. za pomoc při financování mazivostní zkoušky Reichert test. Dále bych chtěl poděkovat firmě Desko a.s. za výrobu zkušebních válečků pro Reichert test.

Taktéž děkuji paní Totce Bakalové za umožnění provedení tribologické zkoušky Ball on disc, a za následné její konzultace. Dále děkuji Ing. Ledvinovi za pomoc při manipulaci s obrobkem v laboratořích KOM.

Také děkuji panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za pomoc při financování polotovarů na experimentální zkoušky.

V neposlední řadě bych rád poděkoval rodičům a všem, kteří mi pomáhali a podporovali mě při zpracování disertační práce.

Anotace

Předložená disertační práce se zabývá studiem vybraných metod zkoušení procesních kapalin při třískovém obrábění.

Na základě matematické analýzy pro následné porovnání navrhovaných experimentů byly provedeny dlouhodobé zkoušky trvanlivosti břitu nástroje při soustružení a frézování při třískovém obrábění u konstrukční a korozivzdorné oceli za použití deseti procesních kapalin od různých světových dodavatelů. Tyto dlouhodobé zkoušky byly porovnány metodou matematické statistiky se zkouškami krátkodobými laboratorními a tribologickými.

Experimentálnímu výzkumu předchází rešerše zvolených používaných metod ke zkoušení procesních kapalin v průmyslu.

Disertační práce má za cíl navrhnout možné zkrácení nákladů na zkoušení nově vyvinutých procesních kapalin.

Klíčová slova

Procesní médium, opotřebení, tření, tribologie, obrábění

Annotation

This dissertation deals with the study of selected methods of testing of process fluids in machining.

On the basis of mathematical analysis and because of subsequent comparison of experiments of tests were conducted long-term tests of tool life, its cutting edge for turning and milling in machining with stainless construction steel by using ten process fluids from different suppliers worldwide. These long-term tests were compared according to the mathematical analysis with short-term laboratory and tribological tests. Experimental research is preceded by research of selected methods used for testing of process fluids in the industry.

The dissertation aims to propose shortening the costs of testing newly developed process liquids.

Keywords

Process fluids, wear, friction, tribology, machining

OBSAH:

	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	10
1.	ÚVOD.....	11
2.	CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE.....	14
3.	VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PROCES OBRÁBĚNÍ.....	15
3.1.	Mechanismus pronikání kapaliny do zóny řezání.....	15
3.2.	Vlastnosti procesních kapalin.....	16
3.3.	Rozdělení procesních kapalin.....	17
4.	METODY ZKOUŠENÍ PROCESNÍCH KAPALIN.....	19
4.1.	Opotřebení břitu nástroje při třískové obrábění.....	20
4.1.1	Trvanlivost břitu nástroje.....	20
4.1.2	Intenzita opotřebení.....	22
4.1.3	Měření opotřebení břitu nástroje.....	23
4.2.	<i>Vlastnosti stavové (chemické a fyzikální)</i>	24
4.3.	<i>Vlastnosti užité</i>	24
4.3.1	Tření.....	25
4.3.2	Druhy tření v tribologickém systému.....	25
4.3.3	Součinitel tření.....	26
4.3.4	Tribologické zkoušky.....	27
4.3.4.1	Zkouška Reichert test.....	27
4.3.4.2	Zkouška Ball on disc.....	28
4.4.	<i>Vlastnosti specifické</i>	29
4.4.1	Zkouška vrtání konstantní silou.....	30
4.4.2	Zkouška antiadhezní schopnosti procesní kapaliny.....	31
5.	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTŮ.....	32
6.	PROVEDENÉ EXPERIMENTY.....	34
6.1	Přívod procesní kapaliny, charakteristika kapalin a použité vzorky.....	35
6.1.1	Přívod procesní kapaliny do místa řezu	35
6.2	METODIKA ZKOUMÁNÍ VLIVU PROCESNÍ KAPALINY NA TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI SOUTRUŽENÍ	38
6.2.1	Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení.....	39
6.2.2	Analýza výsledků.....	42



6.2.3	Závěr výzkumu.....	44
6.3	METODIKA ZKOUMÁNÍ VLIVU PROCESNÍ KAPALINY NA TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI FRÉZOVÁNÍ.....	45
6.3.1	Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení.....	45
6.3.2	Analýza výsledků.....	48
6.3.3	Závěr výzkumu.....	51
6.4	METODIKA TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY BALL ON DISC.....	52
6.4.1	Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení.....	52
6.4.2	Analýza výsledků.....	56
6.4.3	Závěr výzkumu	62
6.5	METODIKA TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY REICHERT TEST.....	64
6.5.1	Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení.....	64
6.5.2	Analýza výsledků.....	67
6.5.3	Závěr výzkumu	70
6.6	METODIKA VLIVU KAPALIN NA VRTÁNÍ KONSTANTNÍ SILOU.....	71
6.6.1	Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení.....	71
6.6.2	Analýza výsledků.....	75
6.6.3	Závěr výzkumu.....	78
6.7	METODIKA ZKOUŠENÍ ANTIADHEZNÍ SCHOPNOSTI PROCESNÍ KAPALINY.....	79
6.7.1	Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení.....	79
6.7.2	Analýza výsledků.....	83
6.7.3	Závěr výzkumu.....	84
7.	METODIKA OVĚŘOVÁNÍ ZKOUŠEK.....	86
7.1	Popis koeficientu korelace.....	86
7.2	Výpočet koeficientu korelace.....	87
7.3	Analýza výsledků.....	88
7.4	Závěr výzkumu.....	90
8.	ZÁVĚR.....	91
9.	POUŽITÁ LITERATURA.....	94
10.	PŘEHLED AKTIVIT DOKTORANDA.....	98
11.	SEZNAM PŘÍLOH.....	100

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

V_c	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
V_f	rychlost posuvu	[m·min ⁻¹]
F	zatěžující síla	[N]
γ_o	nástrojový ortogonální úhel čela	[°]
α_o	nástrojový ortogonální úhel hřbetu	[°]
a_p	šířka (hloubka) záběru	[mm]
S	plocha opotřebení na čele nástroje	[mm ²]
VB	šířka opotřebení na hřbetu nástroje	[mm]
$VB_{MEZNÍ}$	zvolená šířka opotřebení na hřbetu nástroje	[mm]
KT	hloubka výmolu na čele řezného nástroje	[mm]
KB	šířka výmolu na čele řezného nástroje	[mm]
S_j	výběrová směrodatná odchylka	[1]
$t_{\alpha, n-1}$	hodnota kritického rozdělení	[1]
n	počet experimentů	[1]
α	hodnota určitého rozdělení	[1]
T	trvanlivost bříty nástroje	[min]
C_{TV}	konstanta	[1]
m	konstanta	[1]
n	otáčky vřetena	[ot/min]
G	závaží	[kg]
r	koeficient korelace	[1]
S_x	směrodatná odchylka proměnné X	[1]
S_y	směrodatná odchylka proměnné Y	[1]
S_{xy}	kovariance proměnných X a Y	[1]
$\dot{UMF}$	únnosnost mazacího filmu	[kp/cm ²]
A	elipsovité plocha otěru	[mm ²]



1. ÚVOD

Proces obrábění představuje významnou složku většiny výrobních procesů ve strojírenství. Proto zejména technologie obrábění kovů byla a je předmětem výzkumů směřujících ke zvýšení efektivnosti obrábění kovů jak z hlediska výkonu, tak i jeho hospodárnosti.

Disertační práce se zaměřuje na proces obrábění řezáním, které ve své fyzikální podstatě, je přeměnou mechanické energie na deformační práci a teplo. Tato přeměna je velmi složitý proces, jenž se uskutečňuje v soustavě sestávající z technologické soustavy obrábění a prostředí, které ji obklopuje. Obecně-teoreticky představují všechny prvky této soustavy, resp. jejich atributy, podmínky za nichž tento proces probíhá, tj. je jimi ovlivňován.

Je evidentní, že není možné zkoumat tento proces takto komplexně pojatých podmínek, proto se při jeho zkoumání omezujeme pouze na podmínky dominantní, působící přímo v zóně obrábění, které představují dílčí soustavu, jejímiž prvky jsou obrobek, nástroj a prostředí (médium) ve kterém dochází k jejich interakci. Hovoříme pak o technologických podmínkách obrábění, v tomto příp. podmínkách řezných. Ty zahrnují především tzv. řezné podmínky v užším pojetí (parametry obrábění poplatné aplikované metodě obrábění) a dále charakteristiky požadovaného obrobku (především jeho materiálu, integrity povrchu a rozměrové přesnosti), zvoleného nástroje (především jeho materiálu a geometrie) a použitého média (především jeho chladicí a mazací schopnosti).

Obecně, vycházíme-li ze zmíněného fyzikálního principu řezného obrábění, lze v prvním přiblížení říci, že deformační práce generovaná obráběním je nutná k přeměně polotovaru obráběného objektu v obrobek, zatímco současně vznikající teplo má za následek ohřev obrobku, nástroje i média, který většinou nepříznivě mění jejich charakteristiky, jenž jsou v konkrétní situaci limitovány, což v konečném důsledku může mít negativní vliv na produktivitu a ekonomiku procesu obrábění. To je důvodem optimalizace těchto podmínek z aspektu



jejich hospodárnosti. Protože negativní vliv ohřevu nelze eliminovat, je jedním z úkolů technologického výzkumu jeho potlačování různými způsoby v maximálně možné míře, a to v souběhu s technologickým i konstrukčním vývojem, který na řešení této problematiky klade stále nové a zvyšující se nároky. Zdokonalují se stávající a vyvíjí nové metody obrábění, vznikají nové konstrukce obrobků a nástrojů včetně jejich materiálů a odpovídající obráběcí stroje, atd. To vše s cílem dosažení požadované kvality jejich obrábění, což jsou svým způsobem požadavky protichůdné. Z tohoto hrubého nástinu vlivu řezných podmínek na řezný proces je zřejmá důležitost jejich optimalizace.

Protože však tato optimalizace vychází z empirických hodnot, její výsledky na přesnosti těchto hodnot závisí. To je důvodem, proč technologický výzkum obrábění je většinou směřován na jejich zpřesňování. Obecně je důvodné se domnívat, že největšího efektu lze dosáhnout výzkumem těch podmínek, u kterých tomuto výzkumu byla věnována relativně malá pozornost. Jednou z těchto podmínek je procesní médium obrábění.

Proto je téma disertační práce, jak ukazují její teze, směřováno do oblasti výzkumu procesního média, které představuje podmínku výrazně omezující působení ohřevu vznikajícího v řezné zóně během procesu obrábění se všemi zmíněnými negativními důsledky.

Výrobci a dodavatelé kapalin mají také obtížnou situaci s vývojem a výrobou nových kapalin, protože současné klasifikace procesních kapalin pouze částečně zohledňují podmínky obrábění a jsou především založeny na rozdílech chemického složení.

Uživatel pro dané parametry obrábění (preferované vlastnosti, druh obráběného materiálu, parametry obrábění, materiál nástroje, řezné podmínky, tuhost technologické soustavy) získá úzký sortiment procesních kapalin od různých dodavatelů, které může následně optimalizovat z hlediska produktivity, kvality povrchu obrobků, ekologie a zdravotní nezávadnosti. Výrobce procesních kapalin může tuto metodu úspěšně používat pro vývoj kvalitních kapalin pro konkrétní podmínky obrábění.



Obráběcí kapaliny musí mít rovněž obecně požadované vlastnosti, zejména dobrou protikorozi ochranu, nízkou tendenci k pění a vhodnou hodnotu pH.

Při vývoji se využívá moderních laboratorních technik, které umožňují testovat stovky formulací včetně různých biocidů s ohledem na mikrobiologickou aktivitu. Pouze materiály, které dobře odolávají mikroorganismům, mohou být nasazeny do dalších testů, zaměřených na chemickou kompatibilitu a zejména výkonnost produktu. Kromě experimentálních obráběcích center jsou využívány i laboratorní testy vysokotlakých vlastností jako je např. test dle Reicherta nebo Tapping Torque Test.



2. CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je zkrátit náklady na zkoušení nově vyvinutých procesních kapalin. Na základě matematické analýzy určit spolehlivosti krátkodobých laboratorních a tribologických metod zkoušení s porovnáním dlouhodobých zkoušek trvanlivosti bříty nástroje.

Dosažení tohoto cíle předpokládá postupné dosažení těchto dílčích cílů:

- a) Zpracovat rešerši v současnosti nejvíce využívaných zkoušek dlouhodobé trvanlivosti bříty nástroje, krátkodobé laboratorní a tribologické zkoušky. Výběr vhodné krátkodobé laboratorní zkoušky včetně zkoušek pro testování mazivosti.
- b) Provést dlouhodobé zkoušky trvanlivosti bříty nástroje při soustružení a frézování, rovněž krátkodobé laboratorní a tribologické zkoušky u konstrukční a korozivzdorné oceli.
- c) Na základě matematické analýzy porovnat získané výsledky a zpracovat doporučení, které povede ke zkrácení zkoušení.

3. VLIV PROCESNÍCH KAPALIN NA PROCES OBRÁBĚNÍ

3.1. Mechanismus pronikání kapaliny do zóny řezání

Jak je zmíněno v úvodu, přítomnost procesního média (plyn, mlha, kapalina, pasta) v zóně řezání významně ovlivňuje výsledný efekt procesu řezání, především kvalitativní (dosažení požadované kvality daného obrobku – rozměrové přesnosti a integrity povrchu) a následné kvantitativní (dosažení co největšího výkonu procesu jeho obrábění) se kterým úzce souvisí i v současnosti neopomenutelný požadavek zdravotní nezávadnosti jeho použití a ekologické likvidace použitého média [14, 16, 19, 21, 24]. Posouzení splnění tohoto požadavku však nespadá do kompetence uživatele, který pak obvykle spoléhá na reference výrobce.

Deformace obráběného materiálu, je nejvýznamnějším důsledkem procesu obrábění. K té dochází v řezné zóně v oblasti primární a sekundární deformace povrchové (defektní) vrstvy plochy řezu. Velikost a tvar oblasti primární deformace ovlivňuje řada faktorů, především obráběný materiál, řezný nástroj, řezné podmínky a ve zkoumaném případě řezná kapalina. Při deformaci obráběného materiálu v místě vzniku třísky dochází pohybem dislokací k trhlinám na vnějším povrchu třísky a uvnitř deformujícího se materiálu - ty se během deformace propojují [7, 22, 24]. To umožňuje pronikání kapalin do materiálu z vnější strany. Obsah chemicky aktivních látek v kapalině (síry, fosforu, chloru, esterů atd.) usnadňuje její pronikání a napomáhá šíření a propojování trhlin [14, 16, 24].

Mezi nástrojem a obrobkem může kapalina pronikat pouze do oblasti jejich bodového kontaktu, ke kterému dochází za nižších teplot. Za vyšších teplot se snižuje mez kluzu obráběného materiálu a dochází ke kontaktu plošnému, nicméně vždy existují v kontaktní ploše oblasti bodového kontaktu do nichž kapalina proniká a pokud obsahuje zmíněné chemicky aktivní látky, může tyto oblasti na úkor plošného kontaktu rozšířit a svůj účinek tak zvýšit.

3.2. Vlastnosti procesních kapalin

Smysl použití řezných kapalin, resp. procesních či řezných médií vůbec, byl v plném rozsahu popsán v úvodu této části, nicméně obecně. Konkrétně pak spočívá smysl použití procesních kapalin jmenovitě především ve zvýšení jakosti obrobené plochy a prodloužení trvanlivosti nástroje. Aby toho mohlo být dosaženo, musí procesní kapaliny vykazovat vlastnosti projevující se ve vzájemně různém poměru účinkem chladicím, mazacím a dále i čistícím.

a) Chladicí účinek

Chladicím účinkem se rozumí schopnost řezného média odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každé médium, které smáčí povrch kovů a to za předpokladu, že mezi povrchem obrobku a médiem existuje tepelný spád [14, 16]. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné médium obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla.

b) Mazací účinek

Mazací účinek je umožněn tím, že médium vytváří na povrchu obrobku a nástroje vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Důsledkem mazacího účinku je zmenšení řezných sil, tím i spotřeby energie a zlepšení jakosti obrobeného povrchu [14, 16, 19, 21, 24].

Mazací schopnost řezného média je závislá na viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. Negativním důsledkem vyšší viskozity je omezení průniku média mezi třecí plochy, zhoršení jeho proudění a snížení odvodu tepla [14, 16, 19, 21, 24]. Viskóznější médium ve větším množství ulpívá na třískách, čímž dochází k jeho značným ztrátám. Pevnost mazací vrstvy se zvyšuje přísadami povrchově aktivních látek, které napomáhají pronikání do trhlin deformovaného kovu a usnadňují tak vlastní proces řezání [14, 16, 19, 21, 24].

c) Čistící účinek

Čistící účinek řezného média spočívá zejména v odstraňování třísek z místa řezu. Čistící účinek je významný zejména při broušení (zlepšení

řezivosti brousícího kotouče zanesených pórů, omezováním slepování a usazování částic třísky), řezání závitů a vrtání hlubokých děr [12, 14, 16, 19, 21, 24].

3.3. Rozdělení procesních kapalin

Vodní roztoky

Vodní roztoky jsou nejjednodušší a tím i nejlevnější řezné kapaliny. Neposkytují ovšem žádné další výhody. Voda, která je jejich základem, vyžaduje řadu úprav - změkčování a přidávání přísad proti korozi (kalcinová soda, trinitrofosfát, triethanolamin), pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický. U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodní roztoky mají velmi dobrý chladicí a čistící účinek, ale téměř žádný mazací účinek [1, 14,].

Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustavu dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky rozptýlené v kapalině druhé (olej ve vodě). Aby toto bylo umožněno, je třeba do této soustavy přidat ještě třetí složku, tzv. emulgátor, který zmenšuje mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin, stabilizuje emulzi a zabraňuje koagulaci jemně rozptýlených částic oleje ve vodě. Funkce emulgátoru je podmíněna tím, že některé jeho částice mají na jednom konci silný elektrický náboj, zatímco druhý, neutrální konec je rozpustný v oleji. Záporný náboj polární části molekuly způsobuje, že olejové částice jsou elektrostatickou silou vzájemně odpuzovány, což brání jejich spojování [1, 14, 16, 19, 20].

Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze, s jejím nárůstem klesá. Schopnost ochrany proti korozi závisí na tom, jaké hodnoty pH emulze dosahuje (pro slitiny na bázi železa postačuje hodnota $\text{pH} = 8\div 9$), ale v daleko menší míře, než u vodných roztoků. Emulzní kapaliny jsou nejčastěji používanými řeznými kapalinami, tvoří asi 80 % jejich celkového objemu [1, 14, 16, 19, 20].



Zušlechtěné řezné oleje

Zušlechtěné řezné oleje jsou kapaliny na bázi minerálních olejů. Přísady, které se používají (mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva), zvyšují jejich tlakovou únosnost a mazací vlastnosti [1, 14, 16, 19, 20].

Syntetické a polosyntetické kapaliny

Tento druh řezných kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel - glykolů, které ve vodě emulgují nebo se rozpustí.

V syntetických řezných kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polosyntetické řezné kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti.

V polosyntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích [1, 14, 16, 19, 20].



4. METODY ZKOUŠENÍ PROCESNÍCH KAPALIN

Zkoušky procesních kapalin je možné rozdělit do dvou skupin:

Laboratorní

Laboratorní zkoušky se týkají ověřování druhu procesní kapaliny použitím v provozu. Zkoumají se vlastnosti, které jsou důležité z hlediska jejich provozu, tj. např. provozní stálost, antikorozní vlastnosti apod. Pokud je procesní kapalina používána v daném stavu, jako např. řezný olej, je ověřován její stav. Prostředky, které se používají k přípravě procesní kapaliny, se zkouší již v připraveném stavu [22]. Většina těchto zkoušek je normována a technické podmínky pro procesní kapaliny na ně odkazují.

Provozní

Provozní zkoušky se provádí při řezání. Jejich cílem je ověření vlivu zkoušené kapaliny na opotřebení nástroje, řezné síly, drsnost obrobené plochy a teplotu řezání, apod., [1, 14, 16].

Každá z uvedených metod má své výhody a nevýhody. Při její volbě je nutné mít na mysli to, aby zvolená metoda zaručovala požadovanou přesnost a byla dostatečně rychlá. Zkoušky mohou být provedeny jako krátkodobé nebo dlouhodobé.

Zkoušky dlouhodobé umožňují získat přesnější a rozsáhlejší informaci pro případné srovnání výsledků u různých kapalin a nebo za různých podmínek, při kterých lze porovnávat procesní kapaliny mezi sebou, nebo srovnávat zkoušky s chlazením a bez chlazení [1, 14, 16, 19].

Zkoušky krátkodobé mají výhodu v nesrovnatelně kratší době trvání a nižší spotřebě materiálu. Podle principu a použitého kritéria lze tyto zkušební metody dále rozdělit na přímé a nepřímé. Metody založené na přímém zjišťování intenzity opotřebení za zosťřených či jinak smluvně upravených podmínek. Nepřímé metody vycházejí ze známého, resp. předpokládaného vztahu mezi opotřebením břitu a charakteristickými parametry řezného procesu. Jsou založeny převážně na zjišťování energetických parametrů.

4.1 Opotřebení břitu nástroje při třískovém obrábění

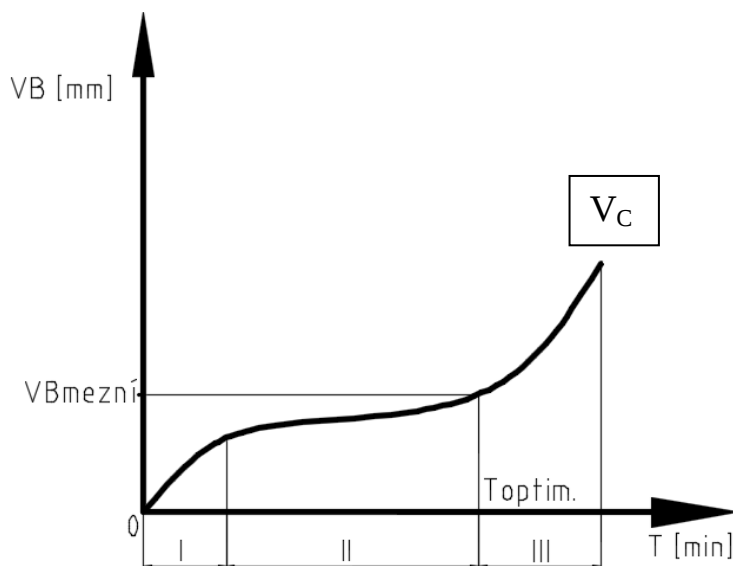
Ověřování vlastností procesních kapalin za provozních podmínek je velice náročné z časových důvodů, proto se používají různé krátkodobé, tzv. strojní zkoušky. Tyto se zaměřují na parametry hospodárného obrábění, kdy se např. posuzuje trvanlivost nástroje, jakost povrchu, řezná síla, aj. Nastavují se při nich takové řezné parametry, aby byla zkouška co nejrychlejší, ale i tato zkouška je časově náročná.

4.1.1 Trvanlivost břitu nástroje

Trvanlivost T břitu nástroje je čas, po který nástroj plní požadovanou funkci (dosahuje požadovanou jakost obrobené plochy, přesnost rozměrů obrobku a umožňuje kontrolovatelný odchod třísky). Tato doba se stanovuje nepřímo mírou opotřebení, jehož kritériem je šířka VB plošky, kterou způsobuje na hřbetu nástroje, trvanlivost pak představuje čas dosažení mezní hodnoty VB (viz obr. 4.4), která dle konkrétních podmínek bývá 0,2 - 0,8 mm, [1, 12, 14, 16].

Pro opotřebení hřbetní plochy v závislosti na čase (viz obr. 4.1) jsou charakteristické tři časové intervaly, [1, 12, 14, 16].:

- I. Vlivem nerovností stykových ploch probíhá otupení břitu nástroje z počátku nejprve velmi rychle, což je typická vlastnost u právě naostřených nástrojů.
- II. Stykové plochy jsou vyhlazené, otupování je rovnoměrnější a pomalejší, nástroj drží požadovanou funkci.
- III. Po dosažení meze otupení se intenzita otupení zvětšuje, což má za následek poškození až destrukci, břit tak neplní požadovanou funkci.



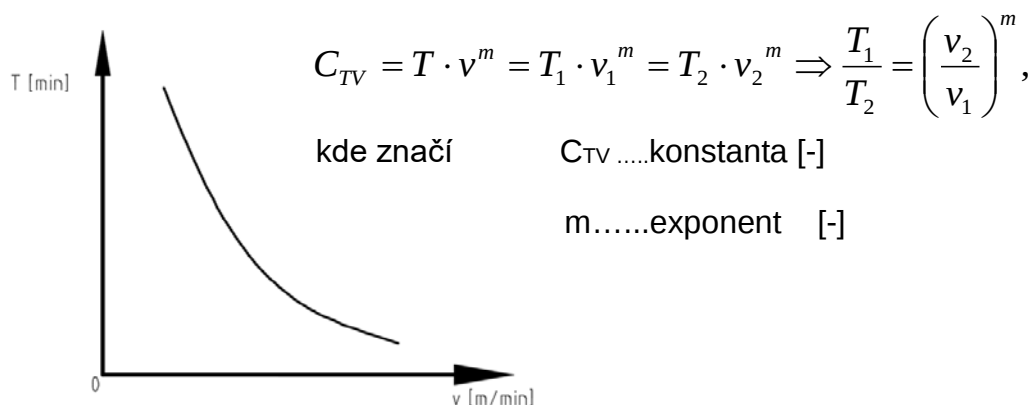
Obr. 4.1 Průběh opotřebení hřbetní plochy v závislosti na čase

Možnost stanovení trvanlivosti a spolehlivosti bříty je v současnosti důležitá, protože obrábění často probíhá v uzavřených automatizovaných obráběcích centrech bez trvalého dohledu obsluhy. Na konci trvanlivosti se břit musí vyměnit dříve, než dojde ke vzniku zmetků. Konec trvanlivosti tedy předchází destrukci nástroje, resp. jeho funkční části, resp. se vztahuje na opotřebení bříty ještě před jeho lomem [1].

Trvanlivost bříty nástroje závisí v širším pojetí na více faktorech, mezi které patří:

- druh obráběného materiálu
- druh a složení řezného materiálu (bříty)
- řezné podmínky (řezná rychlost, posuvová rychlost, hloubka (šířka) záběru)
- použité procesní prostředí a způsob chlazení
- geometrie, tvar a rozměry nástroje
- způsob namáhání nástroje (plynulost řezu, cyklické namáhání atd.)
- tuhost soustavy SNOP (stroj, nástroj, obrobek, přípravek)

Z řezných podmínek v užším pojetí – tedy parametrů (v_c , v_f , a) má výrazný vliv na trvanlivost T řezná rychlost v_c . Zvýšíme-li řeznou rychlost (v_c), začne trvanlivost (T) nástroje klesat a mezní hodnoty opotřebení budou dosahovány v kratších časech, což je vyjádřeno graficky na obr. 4.2 a matematicky vztahem, [1, 12, 14, 16]:



Obr. 4.2 Závislost trvanlivosti nástroje na řezné rychlosti

4.1.2 Intenzita opotřebení

Opotřebení je kvantifikovaná veličina vyjadřovaná jako objem nebo hmotnost odebraného materiálu z kluzné plochy, ovšem nejvýstižnější je kvantifikace tloušťkou odebrané vrstvy v určitém místě kluzné plochy. V tomto případě se velikost opotřebení stanoví proměřením součástí tribologického uzlu. Opotřebení při stálém zatížení a neměnicích se podmínkách narůstá s časem [1, 12, 14, 16].

Počáteční fáze časového průběhu opotřebení představuje záběh. V průběhu této fáze se odstraňují některé mikronerovnosti a dosahuje se rovnovážné drsnosti povrchu. Další fáze časového průběhu představuje pracovní běh, kdy se opotřebení s časem lineárně zvětšuje. Po určité době provozu (pracovní běh), začne opotřebení progresivně narůstat. Může to být způsobeno odebráním tvrzené vrstvy z povrchu součásti a zvýšením opotřebení měkčího materiálu pod touto vrstvou. Stejně se může projevit kumulace drobných poškození, zvláště projevů povrchové únavy [1, 12, 14, 16].

Vzhledem k progresivnímu charakteru poškození lze hovořit o poruše nebo havarijním stavu. S růstem opotřebení se zvětšují vůle ve styku a může docházet ke zvyšování dynamických účinků a ke vzniku rázů. Tato situace ještě

zvyšuje progresivní charakter této fáze. Stav se občas navenek projevuje chvěním a hlukem a roste přitom namáhání jednotlivých součástí. [41]

Intenzita opotřebení závisí na mnoha činitelích a bývá s časem proměnlivá. Lze ji zjišťovat experimentálně.

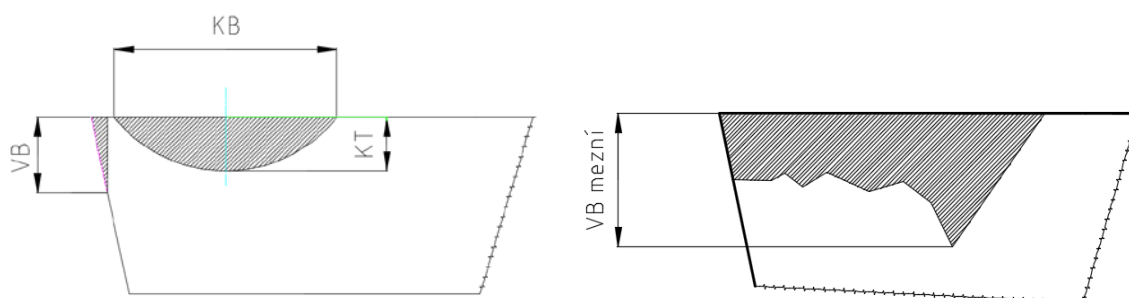
Intenzita opotřebení je přírůstek (ΔVB , resp. Δh) opotřebení v určitém časovém intervalu (ΔT , resp. Δt)

$$I = \frac{\Delta VB}{\Delta T} = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Zařízení na zkoušení intenzity opotřebení je více druhů. Měřené materiály jsou namáhány nejčastěji abrazí. [42] Výpočet intenzity opotřebení je vzhledem k uplatňujícím se vlivům obtížný a dosud nespolehlivý. Řada ovlivňujících faktorů je spojena s náhodným výskytem či náhodnou velikostí účinků. [41]

4.1.3 Měření opotřebení břitu nástroje

Opotřebení břitu řezného nástroje je charakterizováno řadou parametrů. V průmyslové praxi se nejčastěji posuzuje střední šířka opotřebení na hřbetu řezného nástroje VB [12,14,16,27,43]. Dále pak hloubka výmolu na čele řezného nástroje KT a také šířka výmolu, měřená od původního ostří KB. Parametry opotřebení lze měřit různými způsoby. Měření hodnot VB, VN, KT, KB na obr. 4.3, aj. se provádí na univerzálním mikroskopu při vícenásobném zvětšení. Kriteriační (mezní) opotřebení, tedy šířka opotřebení na hřbetu řezného nástroje byla stanovena na $VB_{\text{Mezní}} = 0,5 \text{ mm}$, obr 4.3 vpravo.



Obr. 4.3 Opotřebení břitu nástroje

Nomenklatura charakteristik procesních médií obecně je velmi rozsáhlá, poplatná i rozsahu možných procesů.

V praxi se proto omezuje pouze na charakteristiky základní tj. takové, které jsou pro většinu procesů důležité. Z toho logicky vyplývá, že jednotlivé procesy, kromě těchto základních charakteristik, vyžadují informace o charakteristikách speciálních. Jestliže se tedy omezíme na médium, které je objektem výzkumu této práce tj. procesní kapaliny, lze charakteristiky (vlastnosti) a metody jejich zkoušení rozdělit na:

4.2. Vlastnosti stavové (chemické a fyzikální)

V daném případě se jedná především o chemické složení a viskozitu, příp. další chemické a fyzikální vlastnosti, které jsou definovány a zkoušeny dle norem, zpravidla vyšší úrovně odpovídající šíři jejich použití. Hodnoty získané zkoušením podle těchto norem jsou verifikovatelné, mají zaručenou přesnost, lze je zjišťovat opakovaně a ověřovat (např. hodnoty deklarované dodavatelem či výrobcem) i srovnávat (např. od různých výrobců).

Hodnocení fyzikálních a chemických vlastností však vypovídá o vlastnostech užitných jen nepřímo.

4.3. Vlastnosti užité

V daném případě se jedná především o vlastnosti tribologické (mazivost, resp. únosnost filmu procesní kapaliny), které se zkouší různými normalizovanými metodami, jenž simulují podmínky reálné aplikace procesní kapaliny v různých procesech. Tyto normy předepisují nejen metodu, ale definují také mazivost a prostředky realizace této metody (tribometry). Protože se požadavky na mazivost procesní kapaliny v různých procesech liší, je třeba experimentálně zvolit metodu optimální pro konkrétní případ.

4.3.1 Tření

Tření je fyzikální jev, který vzniká při pohybu. Žádný povrch není ideálně rovný. Z toho vyplývá, že tělesa se nestýkají na celé kontaktní ploše, ale jen na povrchových výstupcích. Tedy skutečná styková plocha, která závisí na vlastnostech materiálu a jakosti stykových ploch, je velice malá. Třecí síla působí proti směru pohybujícího se tělesa. Tření je ve většině případů považováno za negativní jev, který způsobuje opotřebení obráběcích nástrojů, a je snaha ho co nejvíce omezit nebo úplně odstranit. Práce třecích sil je transformována v teplo a v extrémním případě to pak může vést až k natavení třecích ploch [36, 39, 42, 43].

4.3.2 Druhy tření v tribologickém systému

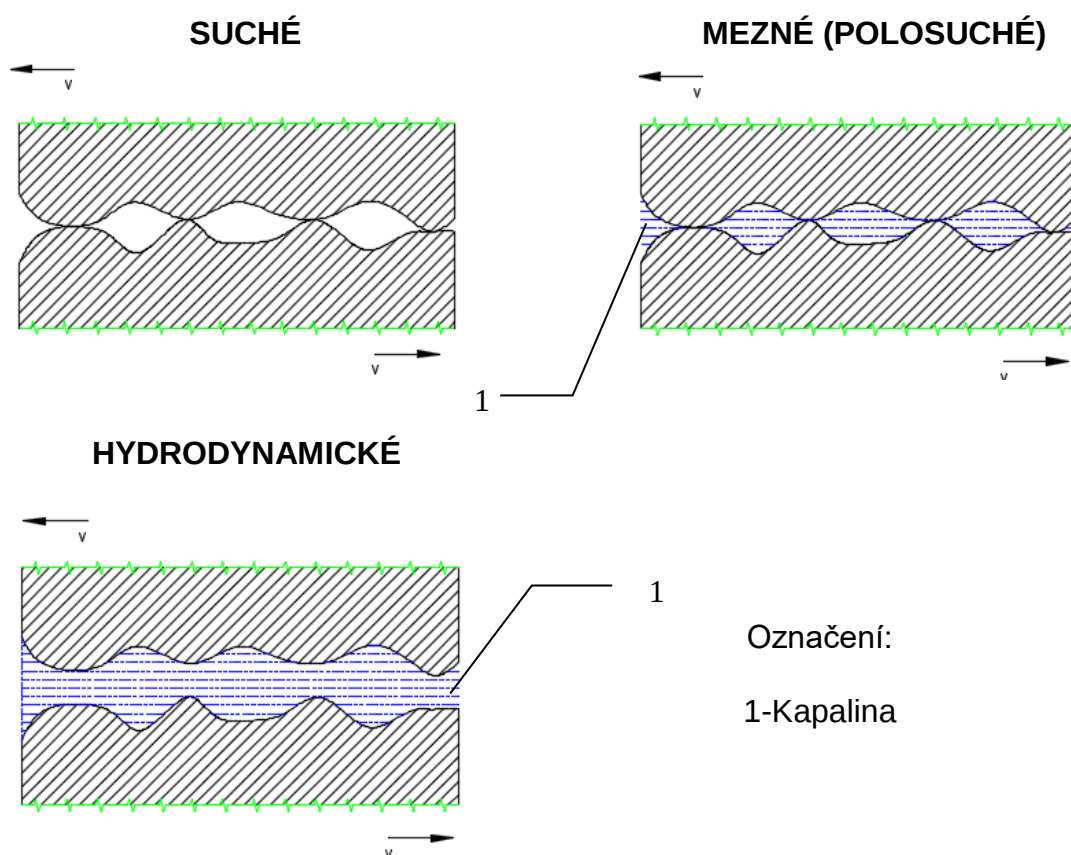
Mazací schopnost procesních kapalin snižuje opotřebení nástroje tím, že mezi plochami nástroje a obrobku vytváří film, který uvedené dvě plochy odděluje od sebe.

Dle výskytu maziva mezi třecími povrchy lze provést následující rozdělení (viz obr. 4.4) [12, 13]:

- **suché tření** - vyskytuje se při přímém styku povrchů dvou těles bez nečistot a bez přítomnosti maziva. Ke kontaktu těles nedochází na celé stykové ploše, ale pouze na vrcholcích mikronerovností. Pokud jsou tělesa v klidu, jedná se o tření statické, ale pokud jsou tělesa v relativním pohybu vůči sobě, vzniká tření kluzné.

- **mezní tření** - mezi stýkajícími se povrchy vzájemně pohybujících se těles je přítomna velmi tenká vrstva maziva. I zde ale dochází ke styku povrchových nerovností a narušování tenkého mazacího filmu.

- **hydrodynamické tření** - povrchy stýkajících se těles jsou dokonale odděleny tlustou vrstvou maziva
- **smíšené tření** - je kombinací mezného a hydrodynamického tření. To znamená, že je zde přítomna poměrně tlustá vrstva maziva, ale dochází ke kontaktu povrchových mikronerovností.



Obr. 4.4 Tření mezi plochami

4.3.3 Součinitel tření

Součinitel tření se určuje experimentálně. Jeho velikost se během tření mění a závisí na jakosti stykových ploch, přítomnosti maziva, teplotě, kontaktním tlaku, rychlosti pohybu třecích ploch, atd. Někdy se považuje za materiálovou vlastnost, ale je vhodnější ho charakterizovat, jako vlastnost konkrétního systému při určitých podmínkách [15,16].

Součinitel tření je největší v podmínkách suchého tření, kde dochází k přímému styku povrchů. Pokud je mezi stýkající se povrchy vnesena tenká vrstva maziva, dojde ke zmenšení kontaktní plochy, omezení adheze a snížení součinitele tření.

V oblasti smíšeného tření dochází k dalšímu zmenšení součinitele tření, protože mazací film nese část zatížení a velikost skutečné kontaktní plochy je menší.

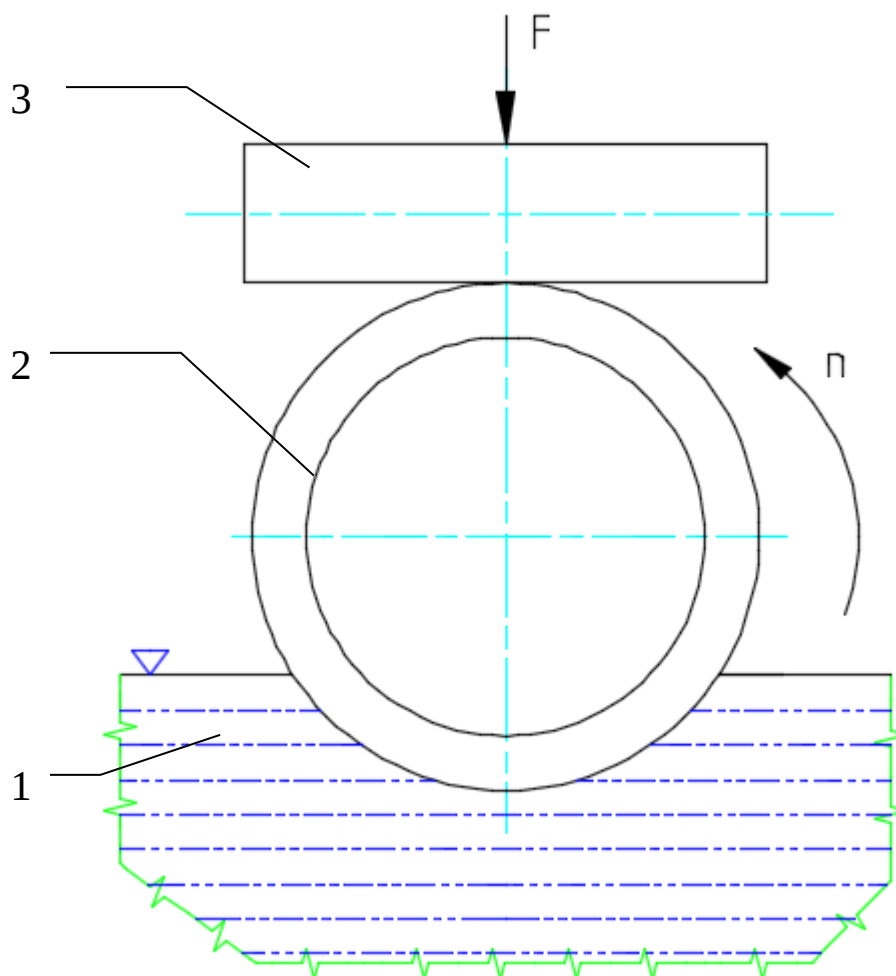
Koeficient tření je v oblasti přechodu smíšeného a hydrodynamického tření minimální, protože nedochází ke styku povrchových nerovností a zatížení je přenášeno pouze mazacím filmem.

4.3.4 Tribologické zkoušky

Tyto zkoušky se provádí na přístrojích zvaných tribometry simulujících reálný třecí kontakt během obrábění:

4.3.4.1 Zkouška Reichert test

Přístroj pro zkoušení únosnosti mazacího filmu simulující reálný třecí kontakt pevného stacionárního válečku (3) přitlačovaného k rotujícímu brusnému kroužku (2) zčásti ponořenému do zkoušené kapaliny (1). Jeden váleček a jeden kroužek jsou vyrobeny z definovaného materiálu (viz obr. 4.5). K hodnocení únosnosti olejového filmu se používá metodiky dle normy PETROTEST, [49]. Hodnoceným parametrem je velikost plochy vzniklé třením na válečku, úbytek hmotnosti válečku a brusného kotouče.



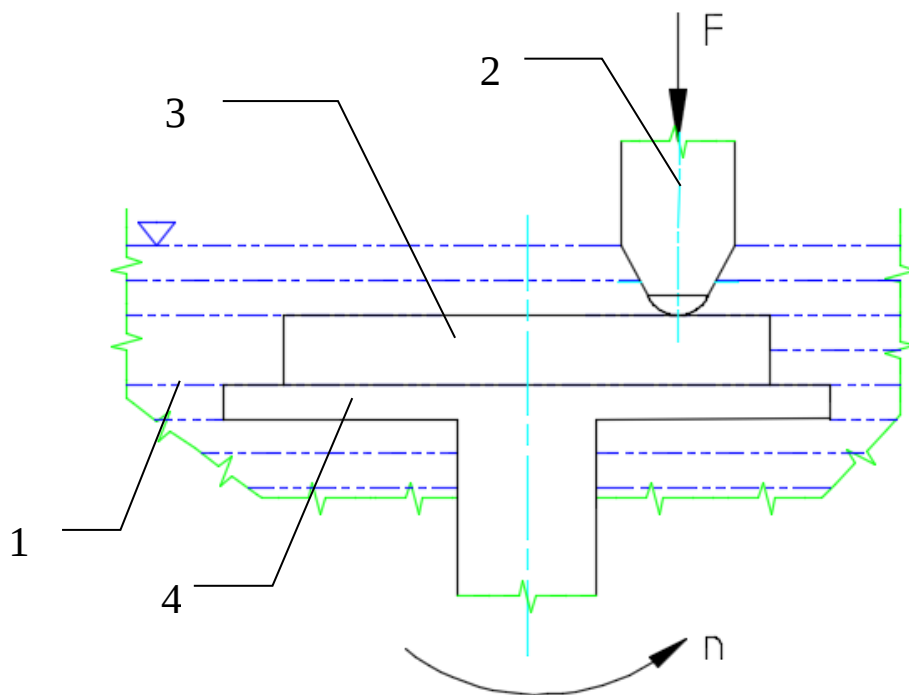
Obr. 4.5 Princip (metoda) zkoušky Reichert test

Tento obr. znázorňuje princip zkoušky zvané Reichert test, který se provádí na tribometru zvaném Reichert tester.

4.3.4.2 Zkouška Ball on disc

Na vzorek diskovitého tvaru (3) se přiloží „kulička“ (2) ball tělísko, kterým je váleček s plochou podstawou nebo nerotující kulička. Pin objekt je uchycen na elastickém rameni. Disk se upne do misky (1) s přidanou procesní kapalinou. Vzorek upnutý na stolku (4) se začne otáčet a kulička je k němu konstantní silou přitlačována. Na vzorku se vytvoří stopa během tribologického experimentu z jehož tvaru a velikosti lze určit opotřebení disku.

Po ukončení testu se analyzuje míra opotřebení „ball“ tělíska, rozsah poškození materiálu a průběh koeficientu tření v závislosti na počtu cyklů [37].



Obr. 4.6 Princip (metoda) zkoušky ball-on-disc

Označení:

n - otáčky disku [ot/min],

F - zátěžující síla [N]

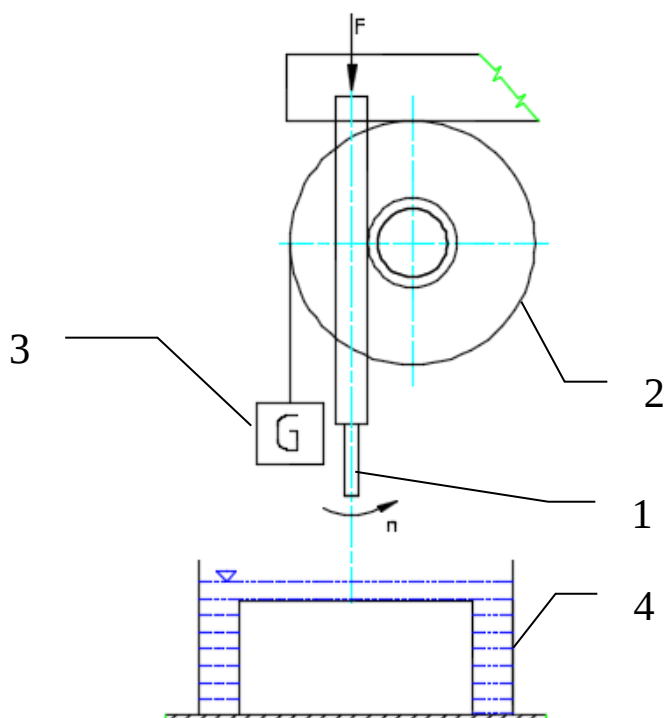
4.4. Vlastnosti specifické

Specifické vlastnosti doplňují vlastnosti uvedené v bodě 4.2, které jsou pro uživatele řezné kapaliny důležité. Tyto vlastnosti jsou definovány a stejně tak metody jejich zkoušení často normami podnikovými úrovní. Logicky proto slouží pouze pro potřeby omezeného okruhu uživatelů (např. pro uživatele nebo výrobce řezné kapaliny pokud informace o stavových nebo režijních vlastnostech obsažené), v normách vyšší úrovně nejsou dostatečné. V daném případě jsou takovými vlastnostmi schopnost adheze a vrtání konstantní silou, které doplňují tribologické vlastnosti. Jmenovitě mazivost a únosnost filmu

řezné kapaliny. Tyto vlastnosti jsou známy, ale nikoli jednoznačně pojímány a tedy i zkoušeny. V praxi se jeví potřeba tyto vlastnosti definovat, aby byly jednoznačně pojímány a následně vypracovat metody jejich zkoušení. Toto je předmětem této disertační práce.

4.4.1. Zkouška vrtání konstantní silou

Princip této metody je založený na aplikaci technologické metody vrtání, při které je nástroj – vrták (1) zatížen konstantní axiální (osovou) silou [1, 27]. Posuvová rychlost je dána závažím (3), které je uchyceno ke stroji pomocí ocelového lanka a kladky (2). Zkušební vzorek se upne do misky (4) s přidanou procesní kapalinou.



Obr. 4.7 Princip (metoda) zkoušky vrtání konstantní silou

Při vyhodnocování naměřených hodnot zkoušky vrtání konstantní silou se porovnávají jednotlivé procesní kapaliny z hlediska rychlosti času. Ta kapalina, která má nejkratší čas vrtání, je nejlepší.

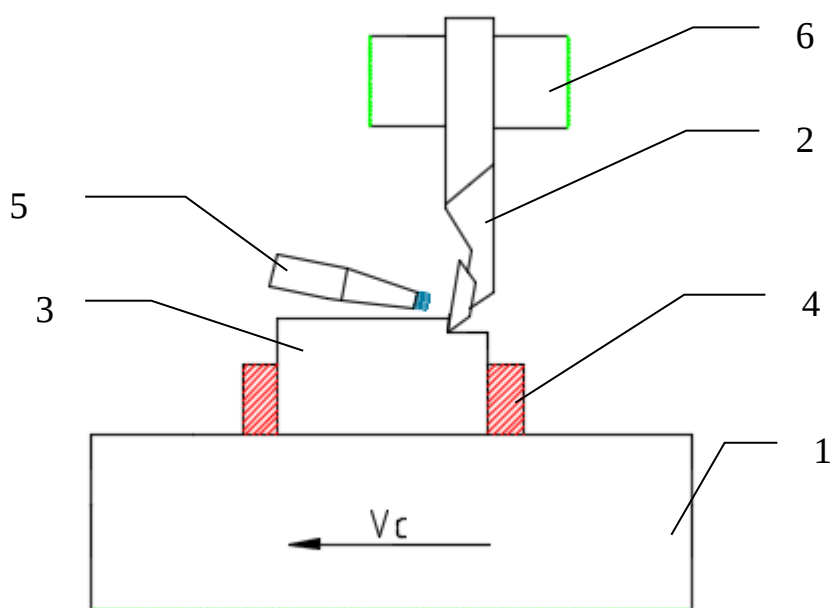
Zároveň lze porovnávat jednotlivé kapaliny a srovnávat je s hodnotami naměřenými při obrábění za sucha.

4.4.2. Zkouška antiadhezní schopnosti procesní kapaliny

Navrhovaná metoda vychází z hypotézy, že adheze procesní kapaliny na břitu řezného nástroje konvenuje s opotřebením na jeho čele a to tak, že s rostoucí adhezí kapaliny roste opotřebení na čele nástroje.

Hodnocení antiadhezní schopnosti PK se provádí při volném ortogonálním řezání, kdy je rychlost pohybu třísky po celé délce ostří a na čele řezného nástroje konstantní [41, 46]. Ortogonální řezání se realizuje při technologii hoblování zápichem. Experimenty hoblování lze provést např. na svislé konzolové frézce viz schéma obr. 4.8.

Při experimentech se hoblovací nůž (2) upne svisle do speciálního držáku (6) přišroubovaného k tělesu vřeteníku stroje. Přímochaý vratný pohyb se zajistí posuvným pohybem stolu frézky (1).



Obr. 4.8 Princip (metoda) zkoušky antiadhezní schopnosti kapaliny

1. Stroj
2. Nástroj - hoblovací nůž
3. Obrobek
4. Přípravek - univerzální svěrák
5. Přívod kapaliny
6. Držák nástroje

5. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ EXPERIMENTŮ

Při porovnávání jednotlivých metod měření vlastností je nutné provést dostatečné množství opakovaný experimentů, aby se mezi nimi projevil a jednoznačně prokázal kvantitativní rozdíl. Naměřené hodnoty se v praxi zpravidla od měření k měření liší. Je to způsobeno tím, že kromě známých vlivů působí navíc faktory neznámé, nekontrolovatelné a náhodné. Proto je nutné provedení většího opakovaného počtu měření, abychom minimalizovali vliv náhodných faktorů. U všech metod, které byly provedeny v rámci této disertační práce jsou v tabulkách a grafech hodnoty statisticky zpracovány, to znamená, že bylo provedeno alespoň pět měření a z toho zpracován aritmetický průměr.

Statistické zpracování naměřených hodnot se provádí pomocí matematických nástrojů. Konkrétně to jsou: aritmetický průměr, výběrová směrodatná odchylka a statistický interval spolehlivosti.

Aritmetický průměr se vypočítá, jako podíl součtu naměřených hodnot x_i z každého experimentu a počtu provedených měření podle vztahu 5.1.

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \text{ kde je } n\text{-celkový počet hodnot} \quad (5.1)$$

Výběrová směrodatná odchylka se určí, jako odmocnina ze součtu čtverců všech rozdílů mezi naměřenými hodnotami x_i z jednotlivých měření a aritmetického průměru $\bar{x}$, dělená počtem měření $n - 1$ podle vztahu 5.2.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (5.2)$$

Statistický interval spolehlivosti je interval, ve kterém se s danou pravděpodobností budou pohybovat hodnoty dalšího zkušebního testu. Statistický interval spolehlivosti je dán aritmetickým průměrem, ke kterému byla přičtena nebo odečtena hodnota konfidenčního intervalu podle vztahu 5.3 a 5.4.

$$\delta_j = \langle \bar{x}_{\max} ; \bar{x}_{\min} \rangle$$

$$\bar{x}_{\max} = \bar{x} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (5.3)$$



$$\bar{x}_{\min} = \bar{x} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (5.4)$$

Hodnota kritického rozdělení $t_{\alpha, n-1}$ se určí z tabulky pro požadovanou úroveň spolehlivosti [9].

Podmínky měření: Měření proběhlo za těchto podmínek: teplota vzduchu 21°C, tlak vzduchu 1010 hPa, vlhkost vzduchu 69%.



6. PROVEDENÉ EXPERIMENTY

Praktická část experimentu byla realizována na třech nezávislých pracovištích. V laboratořích katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci.

V laboratoři Ústavu technologie ropy a petrochemie Vysoké školy chemicko-technologické v Praze se na tribometru Reichert M2 od firmy PETROTEST měřily mazací schopnosti procesních kapalin. Na třetím pracovišti v Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace Technické univerzity v Liberci, probíhaly tribologické zkoušky ball - on - disc.

Hlavním problémem při návrhu vhodných zkušebních metod je velké množství různých kovoobráběcích procesů (např. frézování, soustružení, vrtání, aj).

Tím, že dovedeme kombinovat a porovnávat rozdílné nové i tradiční zkušební metody, je možné vybrat vhodné procesní kapaliny pro různé druhy obrábění a ulehčit tím vývojářům kapalin jejich práci.

Ukázalo se, že volba optimální kapaliny v konkrétním případě bude možná pouze na základě srovnání výkonnosti procesních kapalin.

K obrábění byly použity chladicí emulze (od různých světových dodavatelů), značky Paramo, Cimcool, Blaser, aj.

Obecné požadavky na vhodnou testovací metodu a použitý postup jsou následující:

- časová nenáročnost
- nízké náklady
- reprodukovatelnost
- použitelnost v praxi



6.1 Přívod procesní kapaliny, charakteristika kapalin a použité vzorky

V této podkapitole je uveden přehled vybraných kapalin viz. tab. 6.1. Přehled materiálů (vzorků) je prezentován v tab. 6.2, na jejichž obrábění byly tyto kapaliny použity.

Tab. 6.1 Druh použité procesní kapaliny

	DRUH PK	Charakteristika PK
1	BLASER VASCO 5000	Vodou mísitelná vysoce výkonná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi rostlinných olejů a přírodních esterů
2	BLASER BLASOCUT 35 KOMBI	Vodou mísitelná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi minerálních olejů
3	BLASER B-COOL 755	Vodou mísitelná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi minerálních olejů
4	BLASER B-COOL 9665	Vodou mísitelná, polosyntetická chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru s nízkým obsahem minerálního oleje
5	BLASER GRINDEX 10	Syntetický, vodou mísitelný roztok bez obsahu minerálních olejů určený pro broušení
6	PARAMO EOPS 1030	Polosyntetická univerzální obráběcí kapalina s vyváženým chladicím a mazacím účinkem
7	PARAMO EOPS 3030	Polosyntetická obráběcí kapalina tvořená syntetickými přísadami, 30 % nízko aromatického ropného oleje
8	PARAMO ERO 1070	Plně minerální emulgační olej tvořený vhodnými emulgátory, 80% nízko aromatického ropného oleje
9	HOUGHTON HOCUT 795 B	Vodou mísitelná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru, s vysokými mazacími účinky a ultra dlouhou životností
10	CIMCOOL CIMSTAR 620	Vodou mísitelná koncentrovaná řezná kapalina vytvářející mikroemulzi

Ke stanovení koncentrace vybraných kapalin byl použit ruční refraktometr obr. 6.6. Toto zařízení pracuje na principu lomu světla. Na sklíčko refraktometru se ukápně malé množství emulze. Velikost koncentrace emulze ovlivní lom světla. Čím je větší koncentrace, tím je i větší lom. Poté dochází k odečtení hodnoty na stupnici refraktometru viz obr. 6.6. Výsledná hodnota koncentrace je stanovena součinem hodnoty na stupnici a daného koeficientu emulze. Všechny vzorky kapalin (tab. 6.1), které byly měřeny, měly stanovenou 5% koncentraci.

Tab. 6.2 Chemické složení ocelových vzorků použitých během experimentů, jednalo se o legovanou konstrukční ocel a to cementační 14 220.3 a o běžně používanou korozivzdornou ocel 17 240.

ČSN EN	C (wt. %)	Cr (wt. %)	Ni (wt. %)	Mn (wt. %)	Mo (wt. . %)	Ti (wt. %)	Si (wt. %)	S (wt. %)	P (wt. %)
14 220.3	0,14 - 0,19	0,8 - 1,10		1,10 - 1,40			0,17 - 0,37	max 0,035	max 0,035
17 240	< 0,07	17,5 - 19,5	8,0 - 10,5	< 2,0					
17 021	0,09 - 0,15	12 - 14		max. 0,90			max. 0,70	max 0,030	max 0,040

Vlastnosti korozivzdorných ocelí jako vysoká náchylnost k adhezi mezi třískou a břitem nástroje, tvorba nárůstků, vysoká tažnost a malá tepelná vodivost způsobují, že jsou tyto materiály těžko obrobitelné i speciálními nástroji a dochází k relativně rychlému opotřebení břitů nástroje.

Korozivzdorné oceli se vyznačují typickým chemickým složením a obsahují zpravidla více jak 12 % chromu (až 30 %), kromě toho obsahují ještě další legující prvky např. Ni, Mn, Mo, Cu, Ti, Si a další. Chrom vytváří na povrchu ochrannou „pasivní“ vrstvu, která zajišťuje nepřetržitou ochranu i v případě poškození. Díky odolnosti vůči korozi není třeba používat žádných ochranných vrstev.

Korozivzdorní ocel 17 021 byla použita pouze pro zkoušku antiadhezní schopnosti kapalin. Tato ocel je pro hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin vhodná, protože má velmi velkou schopnost k adhezi, [46].

Konstrukční ocel 14 220.3 je určena k cementování a kalení s velkou pevností v jádře např. hřídele, ozubená kola, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky). Ušlechtilá konstrukční mangan-chromová ocel se užívá k cementování. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žihání na měkko i za studena, dobře obrobitelná a svařitelná.

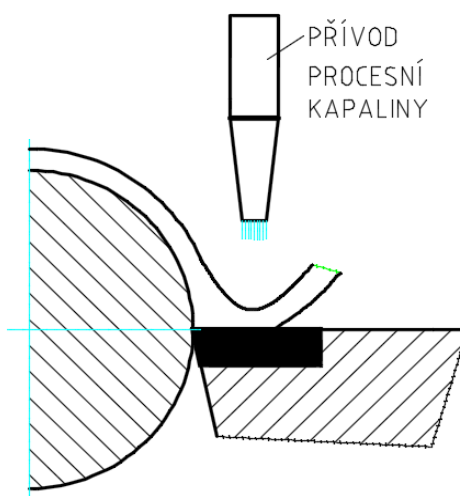
6.1.1 PŘÍVOD PROCESNÍ KAPALINY DO MÍSTA ŘEZU

Praktické zkušenosti ukazují, že způsob přívodu procesní kapaliny do místa řezu významně ovlivňuje jak trvanlivost nástroje, tak i jakost obrobené plochy. V posledních letech se objevuje na trhu mnoho nových způsobů přívodu procesní kapaliny. Jedná se především o tlakové chlazení, podchlazování procesní kapaliny, chlazení mlhou, chlazení vzduchem, chlazení kyslíčnickem uhličitým, vnitřní chlazení, chlazení dvěma kapalinami při broušení apod. Důvodem používání těchto metod je zvětšení chladicího a mazacího účinku procesní kapaliny.

Zavádění nových způsobů chlazení a jejich využívání dává možnosti zvyšovat výkon obrábění i jeho hospodárnost. Při ekonomickém hodnocení nových způsobů chlazení je třeba mít na mysli to, že tyto způsoby by měly být využívány hlavně tam, kde přívod procesní kapaliny běžným způsobem nezabezpečuje požadovanou trvanlivost nástroje nebo tam, kde se běžný způsob chlazení nedá použít.

U většiny způsobů obrábění se procesní kapalina přivádí do míst řezání ze strany povrchu obrobku. Procesní kapalina zasahuje svým účinkem nejdříve

třísku a obrobek a potom nástroj. Tento způsob přívodu procesní kapaliny nevyžaduje žádnou úpravu přívodního potrubí a vystačí s úpravou dodávanou výrobcem ke každému obráběcímu stroji. Toto zařízení je tvořeno nádrží na řeznou kapalinu, čerpadlem a rozvodovým potrubím. Množství dodávané procesní kapaliny je dáno typem čerpadla a škrcením průtoku výstupním kohoutem. Variantně se upravuje poloha výstupu procesní kapaliny z výstupní trysky, jak je naznačeno na obr. 6.1.



Obr. 6.1 Přívod procesní kapaliny do místa řezu

6.2 Metodika zkoumání vlivu procesní kapaliny na trvanlivosti nástroje při soustružení

Trvanlivost řezného nástroje bývá nejčastěji kritériem, které rozhoduje o jeho volbě pro danou operaci. Vhodnou volbou řezných podmínek je možné trvanlivost ovlivňovat. Trvanlivost je přímo úměrná opotřebení nástroje viz kapitola 4.1.1. Se zvyšující se řeznou rychlostí se zvyšuje teplota v místě řezu. Proto se zvyšuje intenzita opotřebení a tím se snižuje trvanlivost nástroje.

Vliv řezné rychlosti na průběh opotřebení je tedy konstantní pro konstrukční ocel. Pro antikorozi ocel byla zvolena jiná řezná rychlost z důvodu tvrdosti materiálu.

Všechna měření, která jsou prezentována v této kapitole, byla provedena v laboratořích TU v Liberci.

6.2.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení

- **CNC soustruh CHEVALIER FC-2140** (obr. 6.2 a 6.3)



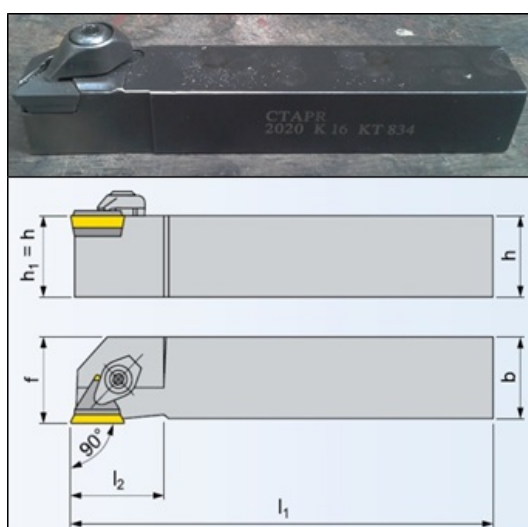
Obr. 6.2 CNC soustruh CHEVALIER FCL-2140



Obr. 6.3 Ukázka obrobku, nástroje a přívodu chlazení

- Oběžný průměr nad suportem: 310 [mm]
- Oběžný průměr nad ložem: 540 [mm]
- Točná délka: 1000/1500/2000 [mm]
- Rozsah otáček : 27 – 2250 [ot./min]
- Soustruh je vybaven řídicím systémem FAGOR 8055

- **Soustružnický nůž CTAPR 20x20 K16 (obr. 6.4)** s vyměnitelnou břitovou destičkou CTAPR 20x20 K16 od firmy Pramet Tools, s.r.o.

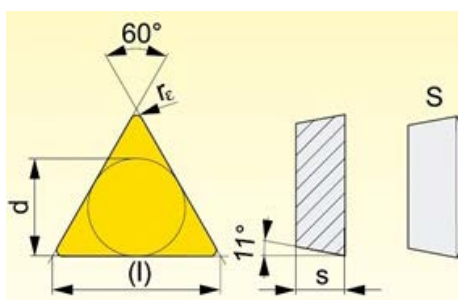


Obr. 6.4 Soustružnický nůž CTAPR 20x20 K16

Základní rozměry soustružnického nože CTAPR 20x20 K16 [16]:

$h=h_1 = 20$ mm; $b = 20$ mm; $f = 20,5$ mm; $l_1 = 125$ mm, $l_{2\max} = 32$ mm; úhel nastavení 90°

- **VBD TPUN 160304 S26 a 8230 (obr. 6.5)**



Obr. 6.5 Břitová destička TPUN 160304

$l = 16,50 \text{ mm}$; $d = 9,53 \text{ mm}$; $s = 3,18 \text{ mm}$; $r_\epsilon = 0,4 \text{ mm}$

Procesní média byla posuzována z hlediska opotřebení na hřbetu břitu nástroje. Pro měření šířky opotřebení na hřbetu VB byla použita nástrojová lupa Brinell. Kriteriační (mezní) opotřebení, tedy šířka opotřebení na hřbetu nástroje byla stanovena na $VB_{\text{Mezní}} = 0,5 \text{ mm}$, viz obr. 4.3 v kapitole 4.1.3.

- ***Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC (obr. 6.6)***

- Přesnost $\pm 0,15\%$



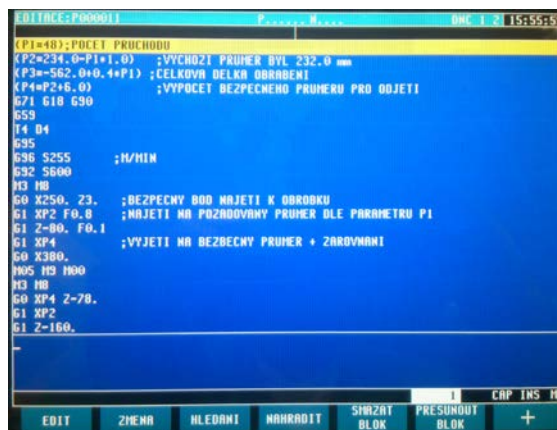
Obr. 6.6 Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

- ***Nástrojová lupa Brinell (obr. 6.7)***

- Zvětšení (24x) s dělením 0,05 mm



Obr. 6.7 Nástrojová lupa Brinell



Obr. 6.8 Ukázka části CNC programu – soustruh Chevalier FCL - 2140

Pro experiment byly řezné podmínky zvoleny takto:

- Posuvová rychlost (v_f) 0,1 mm/ot
- hloubka záběru (a_p) 0,5 mm
- řezná rychlost (v_{c1}) - ocel 14 220.3 255 m/min
- řezná rychlost (v_{c2}) – ocel 17 240 300 m/min

Díky tomu, že použitý CNC soustruh umožňuje plynulou změnu otáček při postupně se zmenšujícím průměru, zůstávala řezná rychlost konstantní v celém průběhu měření bez nutnosti úpravy CNC programu obr. 6.8.

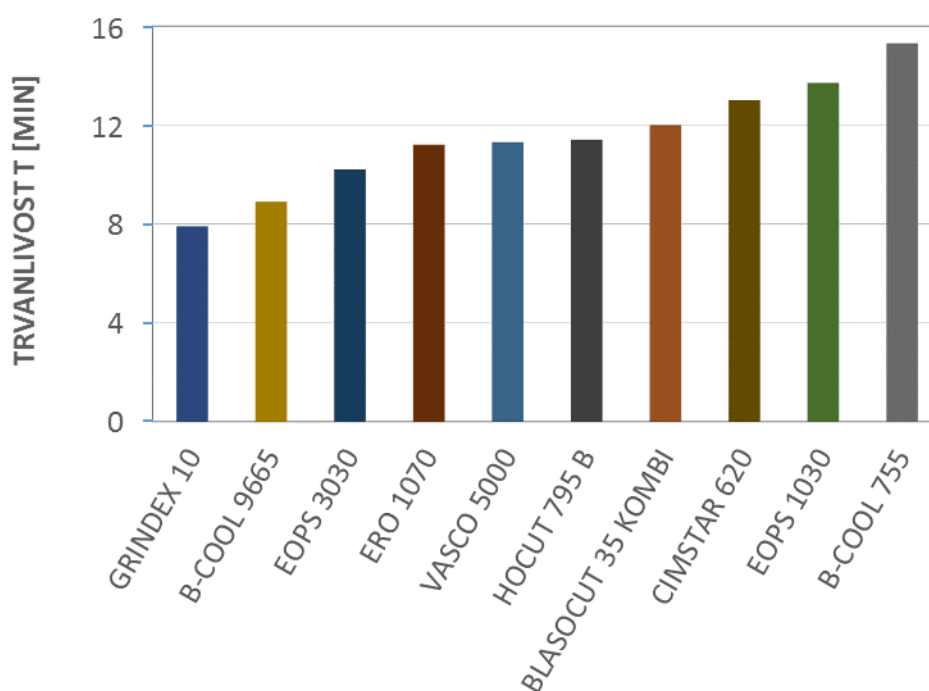
6.2.2 Analýza výsledků

Vykonané experimenty přispěly také k objasnění teoretických souvislostí, které charakterizují vliv procesních kapalin na technologické charakteristiky při soustružení konstrukční oceli 14 220.3.

Tab. 6.3 Výsledky trvanlivosti nástroje pro konstrukční ocel

	Druh procesní kapaliny	Trvanlivost T [min]
1	BLASER GRINDEX 10	7,9
2	BLASER B-COOL 9665	8,9
3	PARAMO EOPS 3030	10,2
4	PARAMO ERO 1070	11,2

5	BLASER VASCO 5000	11,3
6	HOUGHTON HOCUT 795 B	11,4
7	BLASER BLASOCUT 35 KOMBI	12
8	CIMCOOL CIMSTAR 620	13
9	PARAMO EOPS 1030	13,7
10	BLASER B-COOL 755	15,3



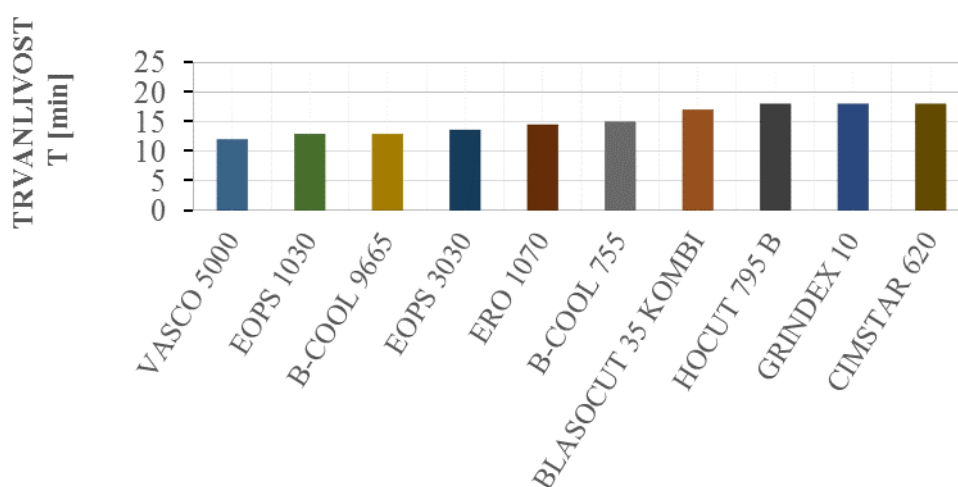
Obr. 6.9 Trvanlivost bříty nástroje při soustružení konstrukční oceli u vybraných kapalin

Při soustružení konstrukční oceli 14 220.3 dosáhly nejlepší trvanlivosti bříty nástroje procesní kapaliny – Blaser B-COOL 755, Paramo EOPS 1030, Cimcool Cimstar 620, další kapaliny viz graf 6.9 a tab. 6.3.

Tab. 6.4 Výsledky trvanlivosti bříty nástroje korozivzdorné oceli

	Druh procesní kapaliny	Trvanlivost T [min]
1	BLASER VASCO 5000	12
2	PARAMO EOPS 1030	12,9

3	BLASER B-COOL 9665	12,9
4	PARAMO EOPS 3030	13,6
5	PARAMO ERO 1070	14,5
6	BLASER B-COOL 755	15
7	BLASER BLASOCUT 35 KOMBI	17
8	HOUGHTON HOCUT 795 B	18
9	BLASER GRINDEX 10	18
10	CIMCOOL CIMSTAR 620	18



Obr. 6.10 Trvanlivost břítu nástroje při soustružení korozivzdorné oceli u vybraných kapalin

Při soustružení korozivzdorné oceli 17 240 dosáhly nejlepší trvanlivosti břítu nástroje procesní kapaliny v tomto pořadí – Cimcool CIMSTAR 620, Blaser GRINDEX 10, Houghton HOCUT 795, a další kapaliny viz graf 6.10 a tab. 6.4.

6.2.3 Závěr výzkumu

Při testování byl dokázán pozitivní vliv procesních kapalin na zónu řezání. Zlepšení mazacího účinku aplikací procesních kapalin způsobilo zvětšení úhlu primární plastické deformace, pokles intenzity plastické deformace a též snížení hodnoty stlačení třísky [24], [12]. Na intenzitu plastické deformace působí řezné prostředí tím, že ovlivňuje čistotu stykových míst řezného klínu s třískou

a plochou řezu [24]. Působení řezného prostředí se promítá především do snížení hodnoty součinitele tření.

Při soustružení konstrukční oceli 14 220.3 dosáhly nejlepší trvanlivosti břitu nástroje procesní kapaliny – Blaser B-COOL 755, Paramo EOPS 1030, Cimcool Cimstar 620, další kapaliny viz graf 6.9.

Procesní kapaliny Cimcool CIMSTAR 620, Blaser GRINDEX 10, Houghton HOCUT 795 dosáhly nejlepší trvanlivosti břitu nástroje při soustružení korozivzdorné oceli 17 240. Další kapaliny viz graf 6.10.

6.3 METODIKA ZKOUMÁNÍ VLIVU PROCESNÍ KAPALINY NA TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI FRÉZOVÁNÍ

Při zkouškách trvanlivosti břitu nástroje byla jako kritérium zvolena hodnota šířky opotřebení na hřbetu $VB_{kr} = 0,5$ mm. Všechny experimenty zjišťování trvanlivosti nástroje byly provedeny za konstantních řezných podmínek a pětkrát zopakovány (viz. příloha 7), poté byly výsledné naměřené hodnoty statisticky zpracovány.

6.3.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení

K testování procesních médií při frézování byla použita frézka typu FNG 32 a jako nástroj byla použita čelní fréza Narex 2460.12 o průměru 63 mm osazená jednou vyměnitelnou břitovou destičkou (VBD) ze slinutého karbidu Pramet typu SNUN 120412-S26. Veškeré zkoušky byly prováděny na stejném obrobku.

Procesní kapalina byla do místa řezu přivedena pomocí modulárního systému LOC - LINE. Pro porovnání výsledků experimentů byla do místa řezu nepřivedena procesní kapalina, tedy tzv. „za sucha“ (v tomto případě řezné prostředí tvoří okolní vzduch). Na obr. 6.11 je uvedena ukázka průběhu zkoušky, která zahrnuje nástroj, obrobek a systém přívodu procesní kapaliny.

Koncentrace byla zvolena podle rozsahu, který udává výrobce, byla naředěna v koncentraci 5 % a zkontrolována refraktometrem. Řezné podmínky pro obrábění při technologii čelního frézování byly zvoleny takto:

řezná rychlost v_c 47,5 m.min⁻¹ a 119 m.min⁻¹, posuv na zub f_z byl 0,1 mm a hloubka řezu a_p byla 1 mm. Podrobný přehled podmínek při frézování je uveden v tab. 6.5 a 6.6.

Procesní média byla posuzována z hlediska opotřebení na hřbetu bříty nástroje. Pro měření šířky opotřebení na hřbetu VB byla použita nástrojová lupa Brinell. Koncentrace procesních kapalin byla kontrolována pomocí ručního refraktometru Brix 0 – 18 % ATC.



Obr. 6.11 Ukázka průběhu zkoušky (nástroj, obrobek, systému přívodu procesní kapaliny)

Tab. 6.5 Metodika experimentů pro obrábění frézováním-konstrukční ocel

Stroj	frézka FNG 32
Obráběný materiál	konstrukční ocel ČSN 14 220.3 (rozměr: 80x80 – 500 mm)
Nástroj	čelní fréza Narex 2460.12 , Ø D = 63 mm VBD Pramet SNUN 120412 – S26, bez povlaku
Způsob obrábění	čelní frézování



Řezné prostředí	vybrané procesní kapaliny viz tab. 6.1	
Řezná rychlost	119 [m.min ⁻¹]	(experimenty měření trvanlivosti)
Posuv na zub	0,1 [mm]	(experimenty měření trvanlivosti)
Hloubka řezu	1 [mm]	
Opakování měření	5x pro měřenou veličinu VB	
Měřené veličiny	šířka opotřebení na hřbetu VB [mm]	
Měřicí přístroje	nástrojová lupa BRINELL	(měření veličiny VB)
	refraktometr BRIX 0 – 18 % ATC	(měření koncentrace)

Tab. 6.6 Metodika experimentů pro obrábění frézováním-korozivzdorná ocel

Stroj	frézka FNG 32	
Obráběný materiál	korozivzdorná ocel 17 240 (rozměr: 60x60 – 250 mm)	
Nástroj	čelní fréza Narex 2460.12 , Ø D = 63 mm, VBD Pramet SNUN 120412, povlakována 8230	
Způsob obrábění	čelní frézování	
Řezné prostředí	procesní kapaliny viz tab. 6.1	
Řezná rychlost	47,5 [m.min ⁻¹]	(experimenty měření trvanlivosti)
Posuv na zub	0,1 [mm]	(experimenty měření trvanlivosti)
Hloubka řezu	1 [mm]	
Opakování měření	5x pro měřenou veličinu VB	



Měřené veličiny	šířka opotřebení na hřbetu VB [mm]
Měřicí přístroje	nástrojová lupa BRINELL (měření veličiny VB) refraktometr BRIX 0 – 18 % ATC (měření koncentrace)

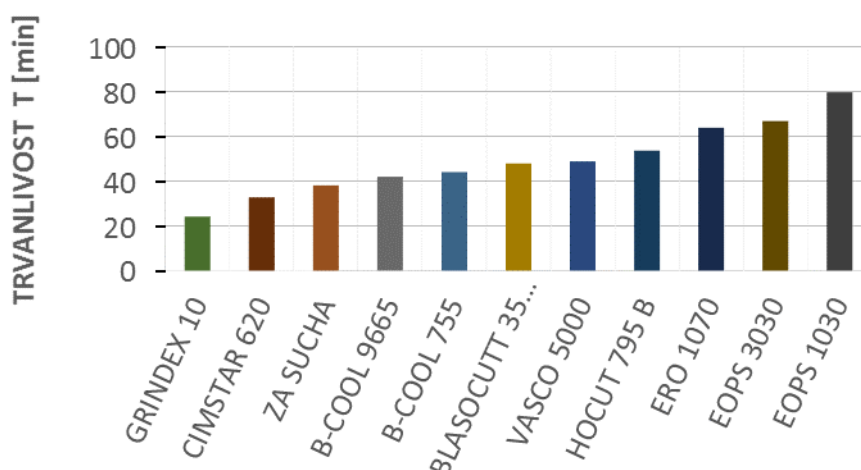
6.3.2 Analýza výsledků

- Výsledky trvanlivosti bříty nástroje pro konstrukční ocel 14 220.3

Naměřené výsledky trvanlivosti nástroje jsou shrnuty v tab. 6.7, dle druhu použité procesní kapaliny. Hodnoty v tabulce jsou seřazeny vzestupně dle trvanlivosti bříty nástroje.

Tab. 6.7 Výsledky trvanlivosti nástroje pro konstrukční ocel

	Druh procesní kapaliny	Trvanlivost T [min]
1	GRINDEX 10	24
2	CIMSTAR 620	33
3	B-COOL 9665	42
4	B-COOL 755	44
5	BLASOCUT 35 KOMBI	48
6	VASCO 5000	49
7	HOCUT 795 B	54
8	ERO 1070	64
9	EOPS 3030	67
10	EOPS 1030	80
	ZA SUCHA	38



Graf. 6.12 Trvanlivost břitu nástroje při frézování konstrukční oceli u vybraných kapalin

Na základě provedených experimentů u trvanlivosti břitu nástroje při frézování do konstrukční oceli 14 220.3 lze navrhnout dle tab. 6.7 jako nejlepší kapaliny Paramo EOPS 1030, Paramo EOPS 3030, Paramo ERO 1070 a Houghton HOCUT 795 B, viz graf 6.12.

Získané výsledky ukazují, že použití procesní kapaliny zmenšuje tření mezi hřbetem nástroje a obrobenou plochou a tím zmenšuje síly na hřbetu nástroje, stejně tak i na jeho čele, což je patrné z naměřených hodnot viz tab. 6.7 a graf 6.12.

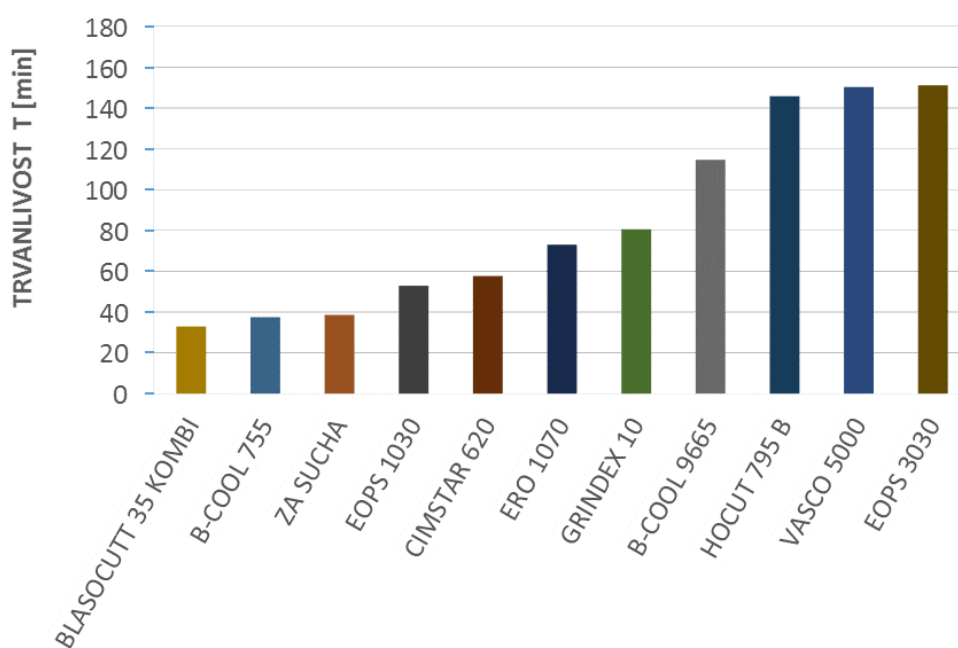
- Výsledky trvanlivosti břitu nástroje pro korozivzdornou ocel 17 240

Naměřené výsledky trvanlivosti nástroje jsou shrnuty v tab. 6.8, dle druhu použité procesní kapaliny.

Tab. 6.8 Výsledky trvanlivosti nástroje pro korozivzdornou ocel

	Druh procesní kapaliny	Trvanlivost T [min]
1	BLASOCUT 35 KOMBI	33
2	B-COOL 755	37
3	EOPS 1030	53

4	CIMSTAR 620	58
5	ERO 1070	73
6	GRINDEX 10	81
7	B-COOL 9665	115
8	HOCUT 795 B	146
9	VASCO 5000	150
10	EOPS 3030	151
	ZA SUCHA	39



Graf. 6.13 Trvanlivost břítu nástroje při frézování korozivzdorné oceli u vybraných kapalin

Při frézování korozivzdorné oceli 17 240 dosáhly nejlepší trvanlivosti břítu nástroje procesní kapaliny - Paramo EOPS 3030, Blaser VASCO 5000 a Houghton HOCUT 795 B, další kapaliny viz graf 6.13.

6.3.3 Závěr výzkumu

Nejdůležitější kritéria pro procesní kapaliny jsou schopnost snižování opotřebení nástrojů a zajišťování kvality povrchu materiálu obrábět. Nízké opotřebení na nástroje a spolehlivé splnění požadavků na kvalitu hotové součásti jsou tedy hlavními rysy optimálního využití mísitelných procesních kapalin.

Potvrdil se předpoklad, že aplikace procesních kapalin při obrábění ocelí je opodstatněná. Vhodné je použití procesní kapaliny, která má kromě chladicího účinku i dobrý mazací účinek, aby se snížil koeficient tření a tím se zmenšilo namáhání řezného klínu.

Z výsledků tohoto experimentu je tedy zřejmé, že sousledné čelní frézování vykazuje podstatně lepší výsledky z hlediska trvanlivosti nástroje s použitím PK než bez ní. Tento výsledek lze přisuzovat především menšímu kluznému tření v oblasti vstupu bříty nástroje do místa řezu.

Testované procesní kapaliny pravděpodobně při řezném procesu vytváří tzv. mazný efekt, který v podobě tenkého filmu snižuje tření mezi jednotlivými plochami a do jisté míry zabraňuje enormním adhezním účinkům mezi břítem nástroje a třískou [24], [12].

Používání řezných kapalin však může mít z hlediska řezného procesu i negativní účinky, které se tak při obrábění bez řezné kapaliny vyloučí. Vlivem přerušovaného řezu, např. při frézování, vzniká velmi intenzivní střídavé tepelné zatěžování bříty frézy. Používáním procesních kapalin se tyto tepelné rázy ještě zesílí. V řezném materiálu tak může docházet k vytváření nejprve mikroskopických a později makroskopických trhlin přecházejících až v lomy bříty [24], [12].

Na základě provedených experimentů u frézování do konstrukční oceli 14 220.3 lze navrhnout dle tab. 6.7 jako nejlepší kapaliny Paramo EOPS 1030, Paramo EOPS 3030, Paramo ERO 1070 a Houghton HOCUT 795 B, viz graf 6.12.

U korozi-vzdorné oceli 17 240 lze doporučit kapaliny Paramo EOPS 3030, Blaser VASCO 5000 a Houghton HOCUT 795 B, další kapaliny viz graf 6.13.

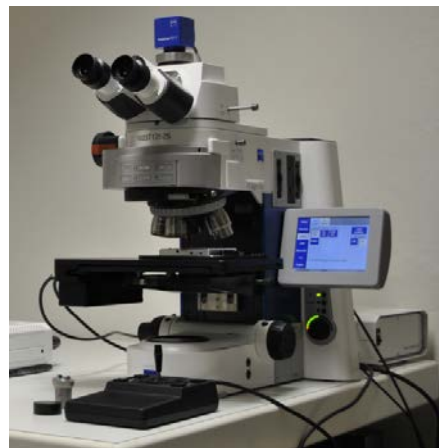
6.4. METODIKA TRIBOLOGICKÉ ZKOUŠKY BALL ON DISC

Jednotlivé třecí materiály jsou porovnány pomocí součinitele tření, který je jeden z hlavních parametrů této laboratorní tribologické zkoušky. Dále jsou sledovány další parametry tribologických vlastností – opotřebení disku, kuličky, ale také vliv použité procesní kapaliny. Experimenty byly prováděny za použití procesní kapaliny.

6.4.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících prostředků

Povrch vzorku, který byl ponořen v procesní kapalině během tribologické zkoušky *Ball-on-disc*, byl pozorován optickým mikroskopem *Carl ZEISS Axio Imager M2* (obr. 6.14) a drážka profilu po tribologickém testu byla vyhodnocena mechanickým profilometrem *Dektak – XT* (obr. 6.15).

- *Tribometr, optický mikroskop a mechanický profilometr* (obr. 6.14, 6.15 a 6.16)



Koeficient tření byl stanoven použitím tribometru *CETR UMI Multi-Specimen Test System* firmy Bruker (**Obr. 6.14 vlevo**), optický mikroskopem *Carl ZEISS Axio Imager M2* (**Obr. 6.15 vpravo**).



Obr. 6.16 (vlevo) Mechanický profilometr Dektak – XT, **obr. 6.17 (vpravo)** detail měření

Tribologické zkoušky byly provedeny přístrojem *CETR UMI Multi-Specimen Test System* firmy Bruker BRUKER viz obr. 6.14 (vlevo) při následujících podmínkách:

- konstantní zatížení $F = 10 \text{ N}$
- otáčky 42 ot/min
- materiál kuličky Si_3N_4
- teplota $23 \text{ }^\circ\text{C}$
- poloměr, po kterém se „ball“ tělísko pohybovalo $r = 12 \text{ mm}$
- koeficientu tření se provádí za použití 5% roztoku procesní kapaliny o objemu 100 ml, druhy použitých procesních kapalin viz tab. 6.2
- použitý materiál disku (zkušebního vzorku) byla ocel ČSN 14 220.3 a korozivzdorné ocel ČSN 17 240, chemické složení těchto ocelí je v tab. 6.2, s vyleštěním povrchem o drsnosti $R_a 1,7 \text{ nm}$.

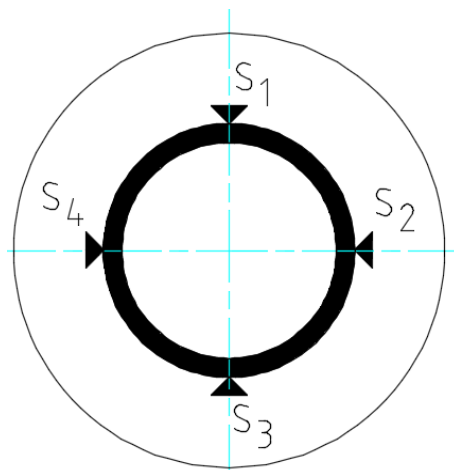


Obr. 6.18 (vlevo) ve vaničce je umístěn vzorek z oceli 14 220.3, **obr. 6.19 (vpravo)** ukázka vzorku po zkoušce

Opotřebení určuje parametr K [2], [4]:

$$K_{DISK} = \frac{\pi \cdot R(S_1 + S_2 + S_3 + S_4)}{2} \quad (1),$$

$$K_{BALL} = \frac{\pi \cdot A^3 \cdot B}{32 \cdot D} \quad (2),$$



Obr. 6.20 Místa měření opotřebení disku

kde, K_{DISK} - objem opotřebovaného zkušebního materiálu (disk),

K_{PIN} - objem opotřebovaného ball tělíska (kulička),

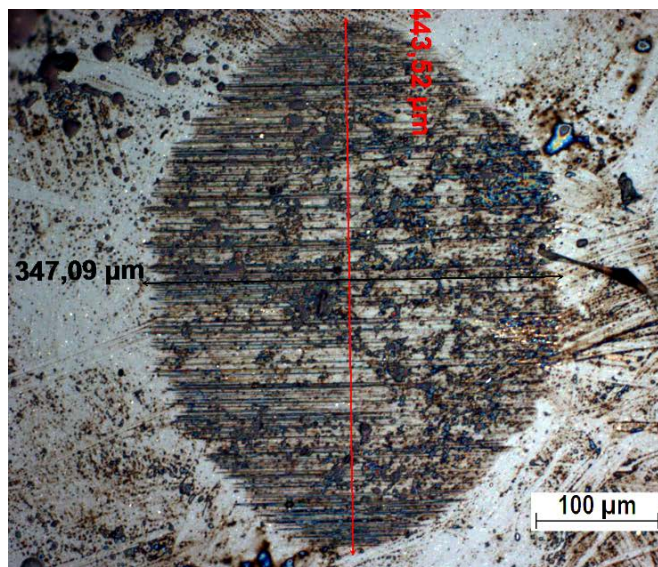
r - poloměr, po kterém se ball tělísko pohybovalo,

S_1 - S_4 - průřezy na čtyřech místech rozmístěných rovnoměrně na kruhové dráze po opotřebení [mm^2] viz obr. 6.20,

A - nejmenší průměr obráběcí dráhy [mm],

B - průměr ve směru kolmém k nejmenšímu průměru [mm],

D - průměr vzorku disku [mm].



Obr. 6.21 Opotřebení „ball“ tělíška Si_3N_4 při použití PK Vasco 5000

Stopa opotřebení po každé kapalině dle obr. 6.21 byla použita pro výpočet opotřebení kuličky dle vzorce (2), kratší vzdálenost značíme dle vzorce A - nejmenší průměr obráběcí dráhy [mm], delší vzdálenost značíme B - průměr ve směru kolmém k nejmenšímu průměru [mm].

K měření povrchu disku byl použit mechanický hrotový profilometr Dektak XT (Bruker Corporation), který je na obr. 6.16 a 6.17. Tento profilometr měří tloušťku tenkých vrstev v řádech nanometrů (nm) až mikrometrů (μm). Umožňuje také měření 3D vrstev.

Měření probíhá tak, že se hrot elektromechanicky pohybuje nad povrchem vzorku podle nastavených parametrů, jako je skenovací délka, rychlost a síla hrotu. Hrot je propojený s LDVT (lineární proměnlivý diferenciální transformátor), který produkuje elektrický signál, odpovídající změně povrchu sledovaného vzorku. Po převedení do digitální formy je změna povrchu zobrazena na displeji. Profilometr se skládá z měřicí hlavičky, senzorové hlavičky, hrotu, části pro umístění vzorku, skenovací části, elektroniky (100 – 240 V střídavého napětí a frekvence 50 – 60 Hz), nožiček a boxu. Digitální zvětšení je zde 0,275 až 2,2 mm, síla hrotu 1 až 15 mg, poloměr hrotu je od

50 nm do 25 μ m, skenovací délka je 55 nebo 200 mm, během skenování můžeme získat maximálně 120 000 dat, maximální tloušťka vrstvy může být 50 mm. Měření probíhalo za laboratorní teploty, tedy 20 až 25 °C, [33].

6.4.2. Analýza výsledků

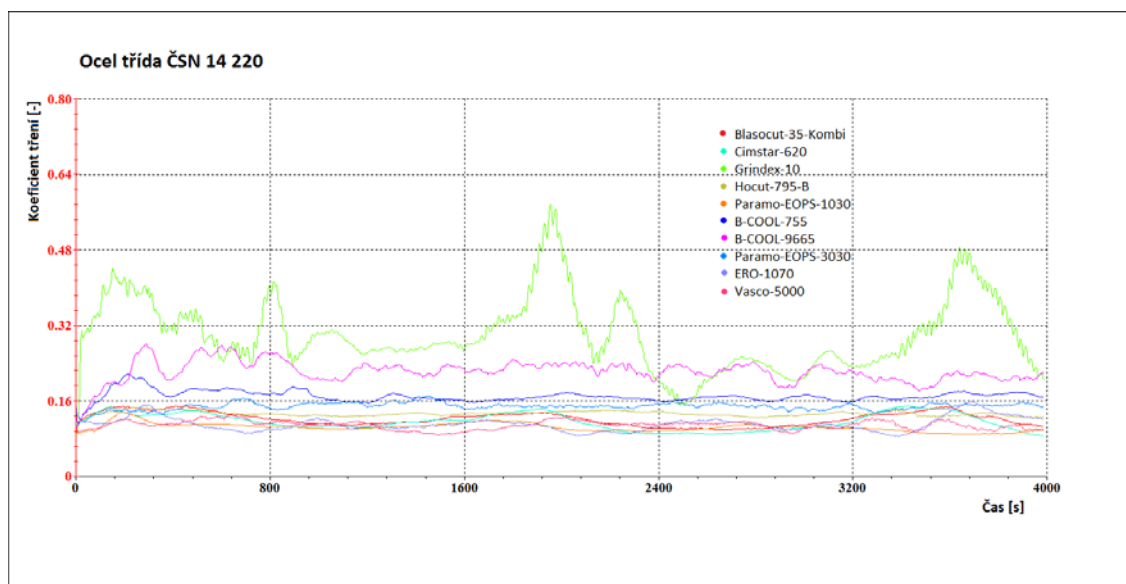
- Vyhodnocení výsledků při použití konstrukční oceli 14 220.3

Na obr. 6.22 je znázorněn průběh koeficientů tření vybraných procesních kapalin u oceli 14 220.3. Z obr. 6.22 vidíme průběh změny součinitele tření během zkoušky za konstantních předem stanovených parametrů. Průměrné hodnoty součinitele tření pro konstrukční ocel 14 220.3 jsou shrnuty v tabulce 6.9.

Tab. 6.9 Hodnoty změřených koeficientů tření u vzorku z legované konstrukční oceli

	Druh procesní emulze	Koeficient tření [-] <i>Průměrná hodnota + odchylka</i>
1	Paramo-EOPS-1030	0,104±0,010
2	Vasco-5000	0,109±0,044
3	ERO-1070	0,111±0,034
4	Cimstar-620	0,116±0,019
5	Blasocut-35-Kombi	0,122±0,018
6	Hocut-795-B	0,133±0,031
7	Paramo-EOPS-3030	0,149±0,047
8	B-COOL-755	0,171±0,045
9	B-COOL-9665	0,224±0,075
10	Grindex-10	0,299±0,191

Nejnižší součinitel tření má třecí dvojice (konstrukční ocel – Nitrid křemíku) za použití procesní kapaliny Paramo EOPS 1030, Blaser Vasco 5000, a také Paramo ERO 1070.



Obr. 6.22 Součinitel tření stanovený metodou Ball on disc při použití různých PK, legovaná konstrukční ocel



Obr. 6.23 Příklad měření drážky disku pomocí mechanického profilometru pro konstrukční ocel, procesní kapalina Vasco 5000

Pro výpočet opotřebení disku dle vzorce (1) musela být změřena plocha na čtyřech různých místech disku. Tyto plochy byly odečteny na mechanickém

profilometru viz obr. 6.23. Vypočtené hodnoty opotřebení disku jsou shrnuty v tab. 6.10.

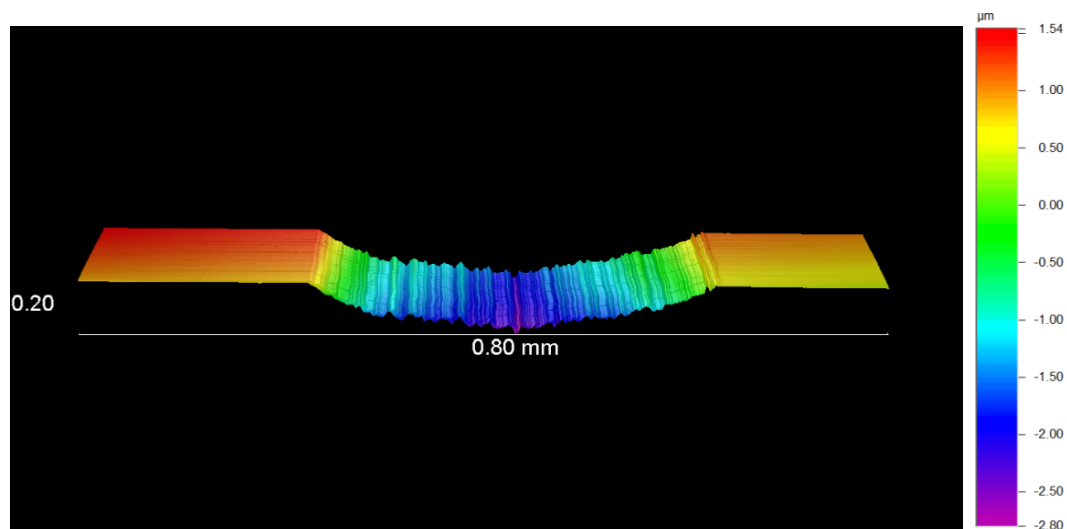
Tab. 6.10 Hodnoty vypočtených opotřebení disku
u vzorku z konstrukční oceli

	DRUH PK	K_{Disc}[mm³]
1	BLASOCUT 35 KOMBI	1,15E-02
2	Hocut-795-B	1,09E-02
3	CIMSTAR 620	1,85E-02
4	EOPS 1030	1,85E-02
5	B-COOL-755	4,30E-02
6	VASCO 5000	4,71E-02
7	B-COOL-9665	6,22E-02
8	ERO 1070	6,44E-02
9	EOPS 3030	6,99E-02
10	Grindex 10	1,29E-01

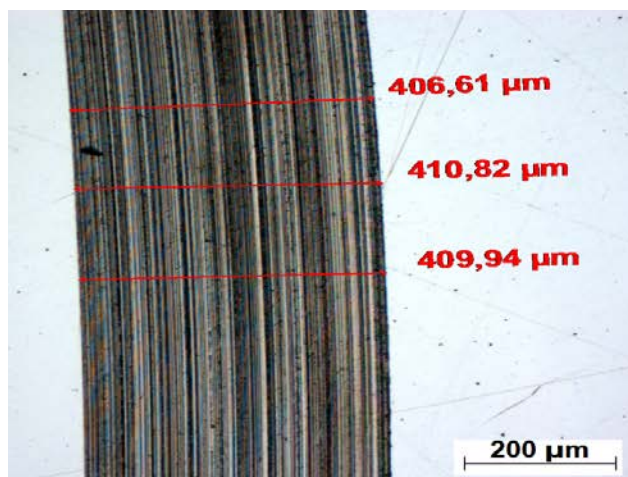
Tab. 6.11 Hodnoty opotřebení kuličky „ball“ tělíska
u vzorku z konstrukční oceli

	DRUH PK	OPOTŘEBENÍ BALL TĚLÍSKA K_{BALL}[mm³]
1	BLASOCUT 35 KOMBI	1,39E-04
2	Hocut-795-B	1,45E-04
3	CIMSTAR 620	1,48E-04
4	ERO 1070	2,40E-04
5	VASCO 5000	2,87E-04
6	EOPS 3030	2,94E-04
7	B-COOL-755	3,17E-04
8	B-COOL-9665	4,98E-04
9	EOPS 1030	5,47E-04
10	Grindex 10	3,61E-03

S procesní kapalinou Paramo EOPS 1030 bylo dosaženo koeficientu tření $0,104 \pm 0,010$, u kapaliny Blaser Vasco 5000 byl koeficient tření $0,109 \pm 0,044$. U těchto kapalin bylo dosaženo opotřebení disku $1,20 \times 10^{-2}$ (EOPS 1030) a $2,73 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$ (VASCO 5000). Opotřebení kuličky bylo $2,87 \times 10^{-4}$ a $5,47 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$.



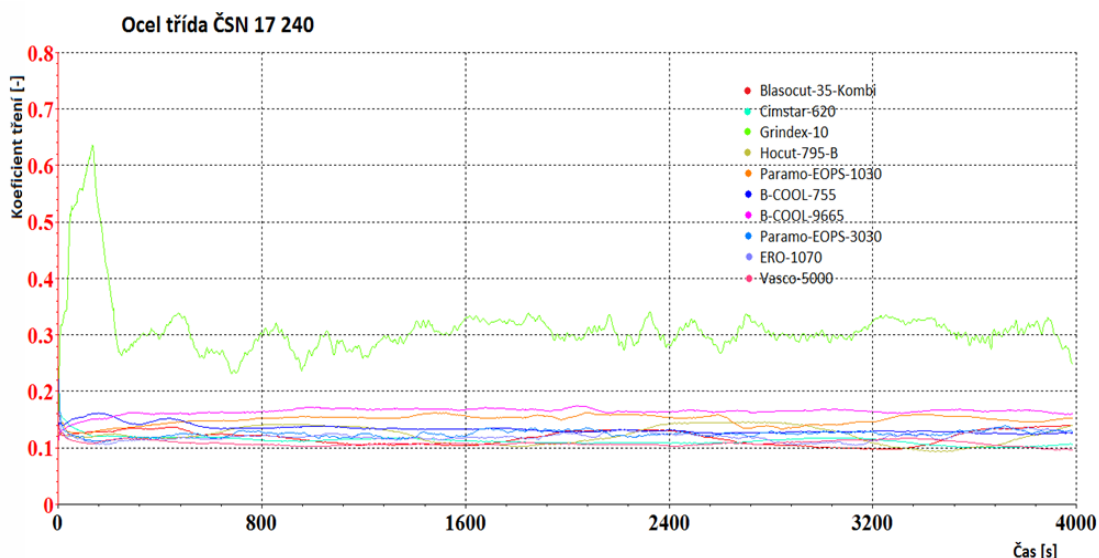
Obr. 6.24 Hodnocení drážky disku po tribologii při použití PK Vasco 5000
mechanickým profilometrem



Obr. 6.25 Hodnocení drážky disku po tribologii při použití PK Vasco 5000
optickým mikroskopem

- **Vyhodnocení výsledků při použití korozivzdorné oceli 17 240**

Průměrné hodnoty součinitele tření pro korozivzdornou ocel 17 240 jsou shrnuty v tabulce 6.12.



Obr. 6.26 Součinitel tření stanovený metodou Ball on disc při použití různých PK, korozivzdorná ocel 17 240

Tab. 6.12 Hodnoty změřených koeficientů tření u vzorku z korozivzdorné oceli

	DRUH PROCESNÍ KAPALINY	KOEFICIENT TŘENÍ [-] <i>Průměrná hodnota + odchylka</i>
1	Vasco 5000	0,107±0,017
2	Cimstar 620	0,112±0,008
3	Blasocut 35 Kombi	0,118±0,014
4	ERO 1070	0,119±0,023
5	Hocut 795 B	0,123±0,017
6	Paramo EOPS 3030	0,125±0,020
7	B-COOL 755	0,133±0,019

8	Paramo EOPS 1030	0,150±0,012
9	B-COOL 9665	0,165±0,022
10	Grindex 10	0,309±0,119

Hodnoty opotřebení disku jsou znázorněny vzestupně v tab. 6.13 a opotřebení kuličky v tab. 6.14.

Tab. 6.13 Hodnoty opotřebení disku u vzorku
z korozivzdorné oceli

	DRUH PK	K_{disc}[mm³]
1	Hocut-795-B	1,18E-02
2	VASCO 5000	1,20E-02
3	CIMSTAR 620	1,23E-02
4	B-COOL-755	1,40E-02
5	ERO 1070	1,62E-02
6	BLASOCUT 35 KOMBI	1,67E-02
7	EOPS 3030	1,84E-02
8	B-COOL-9665	2,62E-02
9	EOPS 1030	2,73E-02
10	Grindex-10	1,56E-01

Tab. 6.14 Hodnoty opotřebení kuličky „ball“ kuličky u vzorku
z korozivzdorné oceli

	DRUH PK	OPOTŘEBENÍ TĚLÍSKA K_{ball}[mm³]
1	VASCO 5000	8,94E-06
2	ERO 1070	1,27E-05
3	EOPS 3030	1,86E-05
4	EOPS 1030	3,73E-05

5	CIMSTAR 620	3,80E-05
6	B-COOL-755	4,28E-05
7	B-COOL-9665	4,60E-05
8	BLASOCUT 35 KOMBI	2,59E-04
9	Hocut-795-B	1,23E-04
10	Grindex-10	1,56E-03

Opotřebení ball tělíska u korozivzdorné oceli K_{BALL} bylo vypočteno dle vztahu (2), normy ČSN EN 1071-13. Při použití procesní kapaliny Vasco 5000 bylo vypočteno opotřebení Ball tělíska $8,94 \times 10^{-6} \text{ mm}^3$ a opotřebení disku $4,90 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$, současně bylo dosaženo koeficientu tření $0,107 \pm 0,017$ pro korozivzdornou ocel. Tam, kde je menší opotřebení, lze předpokladat, že byl vytvořen lepší mazací film mezi kuličkou a diskem.

6.4.3 Závěr výzkumu

Průběh experimentu popisuje mechanismus procesu vzájemného působení třecích elementů a jejich opotřebení. Experiment modeluje procesy při třískovém obrábění a umožňuje predikci chování procesních kapalin při jejich praktickém nasazení. Použití procesních kapalin při obrábění eliminuje etapu nárůstu koeficientu tření na začátku procesu a vede ke snížení opotřebení rezných nástrojů.

Z realizovaného experimentu je zřejmé, že bez použití procesní kapaliny dochází k velkému zhoršení tribologických podmínek. V kontaktu mezi zkušebním diskem a kuličkou není vytvořen dostatečně tlustý (žádný) mazací film a dochází k přímému styku mazacích povrchů, což vede k jejich výraznému tření a opotřebení.

Pro vyhodnocení profilu stopy po kuličce byl použit kontaktní profilometr. Vyhodnocení opotřebení kuličky bylo provedeno na světelném mikroskopu.

První část experimentu byla zaměřena na měření koeficientu tření jednotlivých procesních kapalin u dvou ocelí. Koeficienty tření vykazovaly

značné rozptyly u jednotlivých procesních kapalin. Druhá část byla zaměřena na výpočet opotřebení kuličky a disku. Opotřebení kuličky bylo měřeno pro každou procesní kapalinu a vypočteno dle vzorce (2) a opotřebení disku dle vzorce (1) viz výše.

Z obr. 6.22 vidíme průběh změny součinitele tření během zkoušky za konstantních předem stanovených parametrů. Jak je zřejmé z obr. 6.22 a tab. 6.9, nejnižší součinitel tření má třecí dvojice (konstrukční ocel – Nitrid křemíku) za použití procesní kapaliny Paramo EOPS 1030, Blaser Vasco 5000 a také Paramo ERO 1070.

S procesní kapalinou Paramo EOPS 1030 bylo dosaženo koeficientu tření $0,104 \pm 0,010$, u kapaliny Blaser Vasco 5000 byl koeficient tření $0,109 \pm 0,044$. U těchto kapalin bylo dosaženo opotřebení disku $1,20 \times 10^{-2}$ (EOPS 1030) a $2,73 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$ (VASCO 5000). Opotřebení kuličky bylo $2,87 \times 10^{-4}$ a $5,47 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$. Koeficient tření, opotřebení disku a kuličky u ostatních kapalin je v grafu 6.22 a v tabulce 6.10 a 6.11.

Opotřebení ball tělíska u korozivzdorné oceli K_{BALL} bylo vypočteno dle vztahu (2), normy ČSN EN 1071-13. Při použití procesní kapaliny Vasco 5000 bylo vypočteno opotřebení Ball tělíska $8,94 \times 10^{-6} \text{ mm}^3$ a opotřebení disku $4,90 \times 10^{-2} \text{ mm}^3$. Současně bylo dosaženo koeficientu tření $0,107 \pm 0,017$ pro korozivzdornou ocel. Tam, kde je menší opotřebení, lze předpokladat, že byl vytvořen lepší mazací film mezi kuličkou a diskem viz obr. 6.26.

6.5 Metodika tribologické zkoušky Reichert test

6.5.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení

Zkušební vzorky (válečky), které se používají pro tuto zkoušku není možné zakoupit z konstrukční oceli 14 220.3 a ani z korozivzdorné oceli 17 240. Tyto vzorky musely být vyrobeny, což přineslo další náklady s tím spojené. Nicméně, zkušební vzorky vyrobené z těchto ocelí byly zatěžovány závažími o hmotnostech 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg.

Bylo vybráno závaží 0,5 kg, protože v opačném případě by mohlo být opotřebení válečku (elipsovitého tvaru) příliš extrémní.

Tab. 6.15 TECHNICKÉ ÚDAJE A POPIS PŘÍSTROJE

Objem vzorku procesní kapaliny k testu	cca 25 ml
Vstupní napětí z elektrické sítě	230 V +/-10% / 50 Hz
Maximální elektrický příkon	750 W
Elektrická pojistka	6,3A / 230 V
Obvodová rychlost třecího kola	1,7 m/s při otáčkách 960 ot/min
Síla působící na konci páky na testovací váleček	294 N (1:20) se závažím 0,5 kg
Měřená veličina na obvodové dráze 100 m třecího kola	Otěrová plocha na testovacím válečku [mm ²]

Do nádoby (2) pod brusný prstenec nalijeme cca 25 ml zkoušené látky (viz obr. 6.27 a 6.28). Testovací váleček (1) upneme šroubem k páce přenášející zatížení do třecího kontaktu. Vynulujeme počítadlo metrů na přístroji, zapneme motor a po 10 metrech napočítaných na počítadle (prodleva je nutná k nanesení testované kapaliny na třecí kontakt) uvedeme pákou na převodovém soustrojí oba třecí elementy v kontakt. Počkáme, až bude na počítadle hodnota 110 m a pak nejprve oddálíme oba elementy a teprve poté vypneme motor. Předepsaná délka testu je 100 m dráhy otáčejícího se prstence (3). V průběhu testu se mění zvuk provázející namáhání testovacího válečku. K nejvýraznější

změně (poklesu hlučnosti) dojde ve chvíli utvoření mazacího filmu mezi testovacím válečkem a brusným prstencem. Tento bod nazýváme „noise metr NM“ a je udáván v délce dráhy [m] udané v tomto bodě na měřicím přístroji.



Obr. 6.27 Celkové uspořádání tribometru Reichert M2



Obr. 6.28 Detail třecího prstence a válečku

Výsledkem testu je elipsovité plocha vytvořená na povrchu testovacího válečku obr. 6.30 kontaktem s rotujícím brusným prstencem. Z plochy elipsy A a

ze zatížení přeneseného pákovým mechanismem na kontaktní bod spočítáme únosnost mazacího filmu.



Obr. 6.30 Testovací váleček po zkoušce (vlevo) a prstenec (vpravo)

Po ukončení testu byl testovací váleček vyjmut a pomocí měřidla s lupou vyhodnocena délka a šířka elipsy na povrchu testovacího válečku.

Elipsovitá plocha otěru (A) viz obr. 6.30 se vypočte podle vzorce:

$$A=0,785 \cdot l \cdot d, [\text{mm}^2] \quad (1)$$

$$\text{ÚMF}=(2000 \cdot G)/A[\text{kp}/\text{cm}^2] \quad (2)$$

Kde,

UMF - únosnost mazacího filmu,

l - délka eliptické plochy [mm],

d - šířka eliptické plochy [mm],

G - odpovídá závaží v kp (1000g =1kp).

Každý vzorek byl změřen třikrát se závažím 0,5 kg. U každého měření byla zaznamenána dráha hluku NM [m].

Mazivost vzorku byla vyhodnocována jednak proměřením rozměrů a stanovením plochy otěrové stopy a jednak zjištěním úbytku hmotnosti testovacího válečku. Vzorek byl testován třikrát, ve výsledkové tabulce je uveden aritmetický průměr všech tří měření, opakovatelnost jednotlivých měření byla velmi dobrá.

Reichert tester patří do skupiny přístrojů simulujících reálný třecí kontakt. Přístroj je využíván především při vývoji a testování nových maziv. Jedná se například o testy aditiv do olejů, optimalizaci jejich obsahu, testování základových olejů, sledování změn mazivosti oleje v průběhu oxidačního namáhání, atd.

Hodnocení mazivosti probíhá dle norem firmy PETROTEST. Hodnocenými parametry testu jsou únosnost mazacího filmu a otěrová stopa.

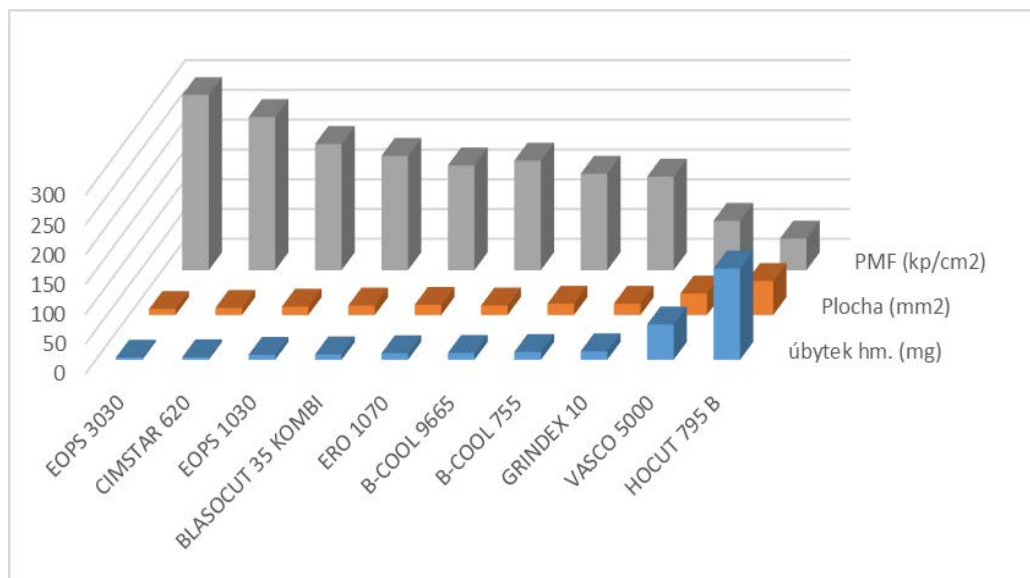
6.5.2. Analýza výsledků

- *Měření úbytku hmotnosti testovacího válečku z oceli 14 220.3*

Na tribometru Reichert M2 bylo měřenou veličinou při experimentu úbytek hmotnostní m_u testovacího válečku viz tabulka č. 6.16 a graf č. 6.31.

Tab. 6.16 Úbytek hmotnosti testovacího válečku, plocha otěru, únosnost mazacího filmu u vybraných kapalin na přístroji Reichert M2, konstrukční ocel 14 220.3

	Emulze č.	úbytek hm. (mg)	Plocha (mm ²)	PMF (kp/cm ²)
1	EOPS 3030	3,6	10	294
2	CIMSTAR 620	4,4	12	257
3	EOPS 1030	8,4	14	212
4	BLASOCUT 35 KOMBI	9,1	16	192
5	ERO 1070	10,9	17	176
6	B-COOL 9665	11,6	16	184
7	B-COOL 755	13,2	19	162
8	GRINDEX 10	14,3	19	157
9	VASCO 5000	59,3	36	83
10	HOCUT 795 B	153,1	57	53



Graf 6.31 Úbytek hmotnosti testovacího válečku, plocha otěru, únosnost mazacího filmu u vybraných kapalin, konstrukční ocel 14 220.3

- **Měření plochy otěrové stopy u testovacího válečku z oceli 14 220.3**

Měření plochy otěrové stopy A bylo provedeno na testovacím válečku na konci zkoušky za pomoci strojírenské lupy. Hodnoty z měření byly seřazeny v tabulce č. 6.16 a grafu č. 6.31.

- **Měření únosnosti mazacího filmu procesní kapaliny z oceli 14 220.3**

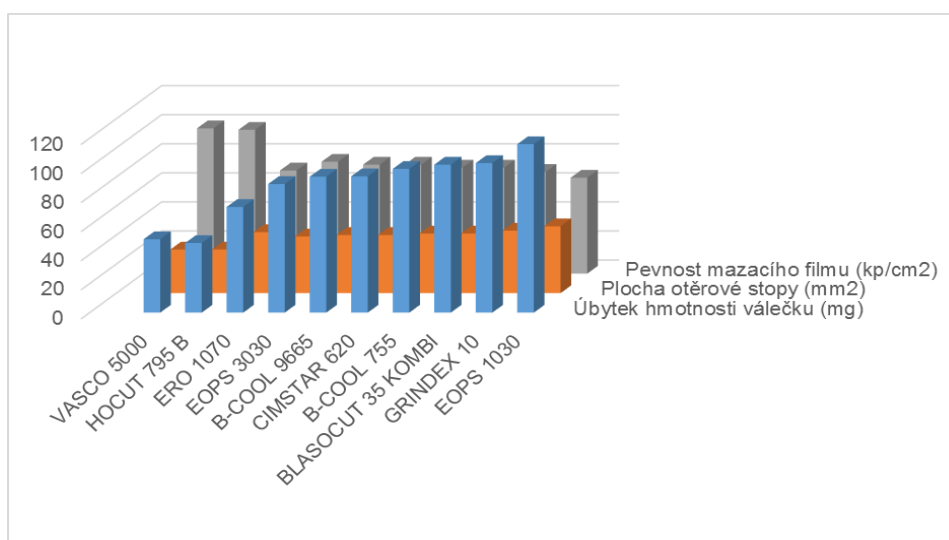
Měření únosnosti (pevnosti) mazacího filmu $\dot{U}MF$ (PMF) procesní kapaliny bylo vypočteno dle vzorce $\dot{U}MF = (2000.G)/A$ [kp/cm²]. Vypočtené hodnoty jsou v tabulce č. 6.16 a zobrazeny v grafu č. 6.31

- **Měření úbytku hmotnosti válečku z oceli 17 240**

Na tribometru Reichert M2 bylo další měřenou veličinou při experimentu úbytek hmotnostní m_u testovacího válečku viz tabulka č. 6.16 a graf č. 6.31.

Tab. 6.17 Úbytek hmotnosti testovacího válečku, plocha otěru, únosnost mazacího filmu u vybraných kapalin na přístroji Reichert M2, korozivzdorná ocel 17 240

	Procesní kapaliny	Úbytek hmotnosti válečku (mg)	Plocha otěrové stopy (mm ²)	Pevnost mazacího filmu (kp/cm ²)
1	VASCO 5000	50,5	30	100
2	HOCUT 795 B	47,9	30	99
3	ERO 1070	72,7	42	71
4	EOPS 3030	88,5	39	77
5	B-COOL 9665	93,5	40	75
6	CIMSTAR 620	93,8	40	75
7	B-COOL 755	98,9	41	73
8	BLASOCUT 35 KOMBI	101,8	41	73
9	GRINDEX 10	102,9	43	70
10	EOPS 1030	115,9	46	66



Graf 6.32 Úbytek hmotnosti testovacího válečku, plocha otěru, únosnost mazacího filmu u vybraných kapalin, korozivzdorná ocel 17 240

- Měření plochy otěrové stopy u testovacího válečku z oceli 17 240

Měření plochy otěrové stopy A bylo provedeno na testovacím válečku na konci zkoušky za pomoci strojírenské lupy. Hodnoty z měření byly seřazeny v tabulce č. 6.17 a grafu č. 6.32.

- Měření únosnosti mazacího filmu kapalin z oceli 17 240

Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 6.17 a zobrazeny v grafu č. 6.32.

6.5.3 Závěr výzkumu

Brusný prstenec je svou spodní třetinou ponořen do zkoušeného vzorku maziva. Otáčením prstence se dostatečné množství oleje dostává do kontaktu s testovacím válečkem a brusným prstencem. Třecí kontakt je zobrazen na obrázku 6.28. Výsledkem této metody je opotřeбенá plocha ve tvaru elipsy vytvořená na povrchu testovacího válečku od brusného prstence.

Dle obr. 6.31 je zřejmé, že pro váleček vyrobený z konstrukční oceli bylo dosaženo nejlepší únosnosti mazacího filmu pro procesní kapaliny Paramo EOPS 3030 a Cimcool Cimstar 620, další PK jsou v tab. 6.16 a obr. 6.31

Z výsledků pro korozivzdornou ocel vyplývá: nejlepší únosnost mazacího filmu má procesní kapalina Vasco 5000 a Hocut 795 B, další PK jsou v tab. 6.17 a na obr. 6.32.

U těchto kapalin, lze tedy předpokládat, že pokud ulpívalo dostatečné množství procesní kapaliny na prstenci, který se dostával do kontaktu s testovacím válečkem, tak bylo dosaženo co nejmenšího opotřeбенí.

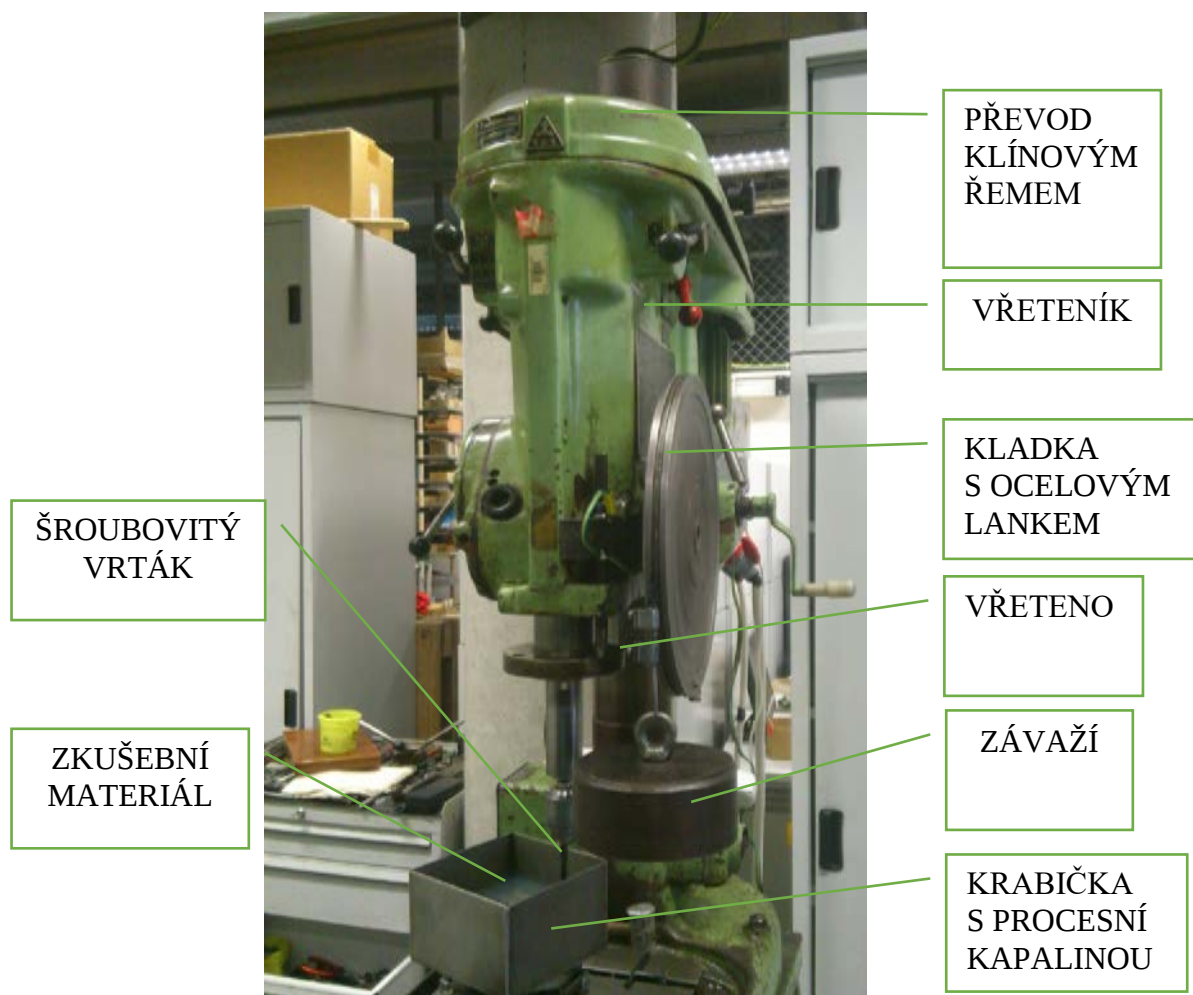
Tato laboratorní zkouška je vhodná pro testování procesních kapalin při obrábění. Též lze prokázat dobré mazací schopnosti procesní kapaliny, nikoliv chladicí.

6.6. METODIKA VLIVU KAPALIN NA VRTÁNÍ KONSTANTNÍ SILOU

6.6.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení

Pro experiment byla použita upravená sloupová stolní vrtačka V 20 (obr. 6.33). Změny otáček včetně se u ní dosahuje stupňovitou řemenicí, na níž se ručně přesouvá klínový řemen.

Stolní vrtačky se používají pro malé až střední průměry vrtáků (asi do 13 mm), pro vrtací práce, které vyžadují vysoký počet otáček, nejmenější cit pro vrtání a vysokou přesnost, dají se lehce instalovat a připojovat.



Obr. 6.33 Zařízení na vrtání konstantní silou (stolní vrtačka V 20)

Při vyhodnocování naměřených hodnot zkoušky vrtání konstantní silou se porovnávají jednotlivé procesní kapaliny z hlediska času. Kapalina, která má nejkratší čas vrtání, je nejvhodnější.

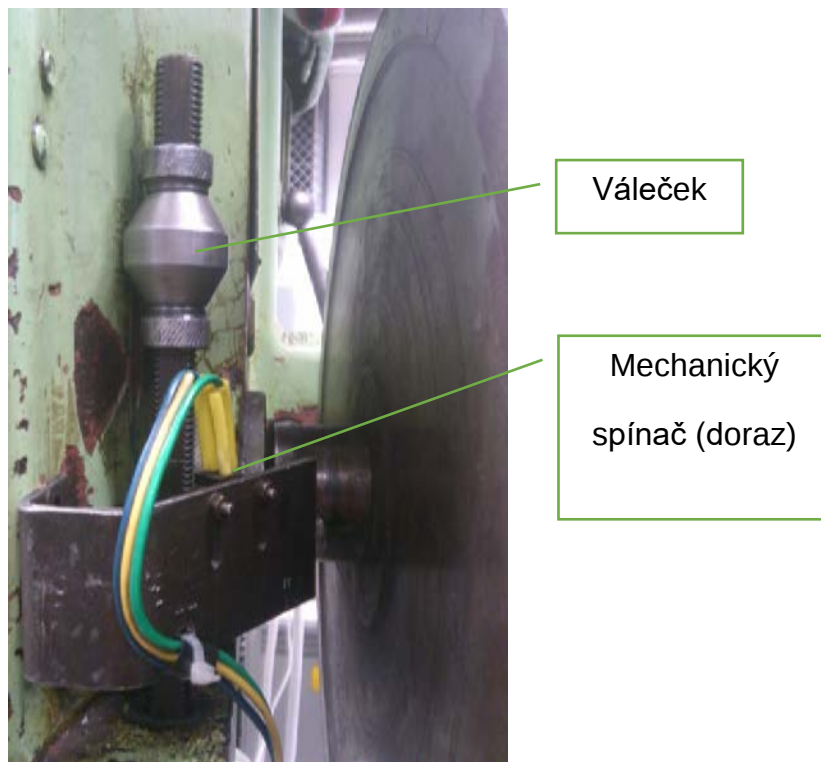
Zároveň lze porovnávat jednotlivé PK a srovnávat je s hodnotami, jenž byly naměřeny při obrábění za sucha.

Procesní kapalina pomáhá odcházení třísky z místa řezu, čímž se uplatňuje její čistící účinek, zabraňující nárůstu řezné síly, který je způsobený zhoršujícím se odvodem třísky.

Taktéž má mazací účinek a ovlivňuje tření tím, že snižuje koeficient tření dvou navzájem působících povrchů, což vede ke snížení řezné síly v porovnání s obráběním bez použití PK.



Obr. 6.34 Ukázka vrtání konstantní posuvovou silou, vpravo měřicí časové zařízení



Obr. 6.35 Detail - Doraz a mechanický spínač

Princip této metody je založený na aplikaci technologické metody vrtání, při které je nástroj – vrták zatížený konstantní axiální (osovou) silou. Posuvová rychlost je dána závažím, které je uchyceno ke stroji pomocí ocelového lanka a kladky. Místo kliky pro ruční posuv je zde nasazena kladka se závažím viz obr. 6.33.

Váleček viz obr. 6.35 má kuželovou a rovinnou plochu. Rovinná plocha, která má délku 10 mm je na válečku z důvodu vrtání do požadované hloubky a kuželová plocha slouží k sepnutí a vypnutí měřicího časového zařízení. Váleček a mechanický doraz je propojený s časovým zařízením, proto dojde vždy při zahájení vrtání a po vyvrtání otvoru 10 mm k automatickému zastavení stopovacího zařízení viz obr. 6.34.

Pro vrtání se jako nástroj použije šroubovitý vrták. Do zkušební součásti za konstantních a předem stanovených řezných podmínek se vyvrtá díra do hloubky 10 mm a měří se čas při zvolené hloubce vrtání pro náš případ tj. 10 mm.

Podstata spočívá v tom, že čím rychleji je vyvrtán otvor průměru 8 mm a hloubce 10 mm, tak tím má daná PK pravděpodobně lepší mazací účinek.



Podmínky zvolené pro experiment:

Otáčky vřetena	$n=710$ ot/min
Hloubka otvoru	$h=10$ mm, konst.
Průměr vrtáku (rychlořezná ocel HSS)	$D=8$ mm
Řezná rychlost	$v_c=17,8$ m/min
Hmotnost závaží	$Q=14$ kg

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (6.5)$$

kde, v_c – řezná rychlost [$m \cdot \min^{-1}$], D – průměr nástroje [mm], n – počet otáček [$\min^{-1}$]

Pro experiment byla vyrobena čtvercová vanička (krabička) z korozi-vzdorné oceli 17 255 o rozměrech 120 x 120 mm, hloubky 100 mm viz obr. 6.34 vpravo. Do vaničky byly vyvrtány dva otvory pro upevnění zkušební polotovaru.

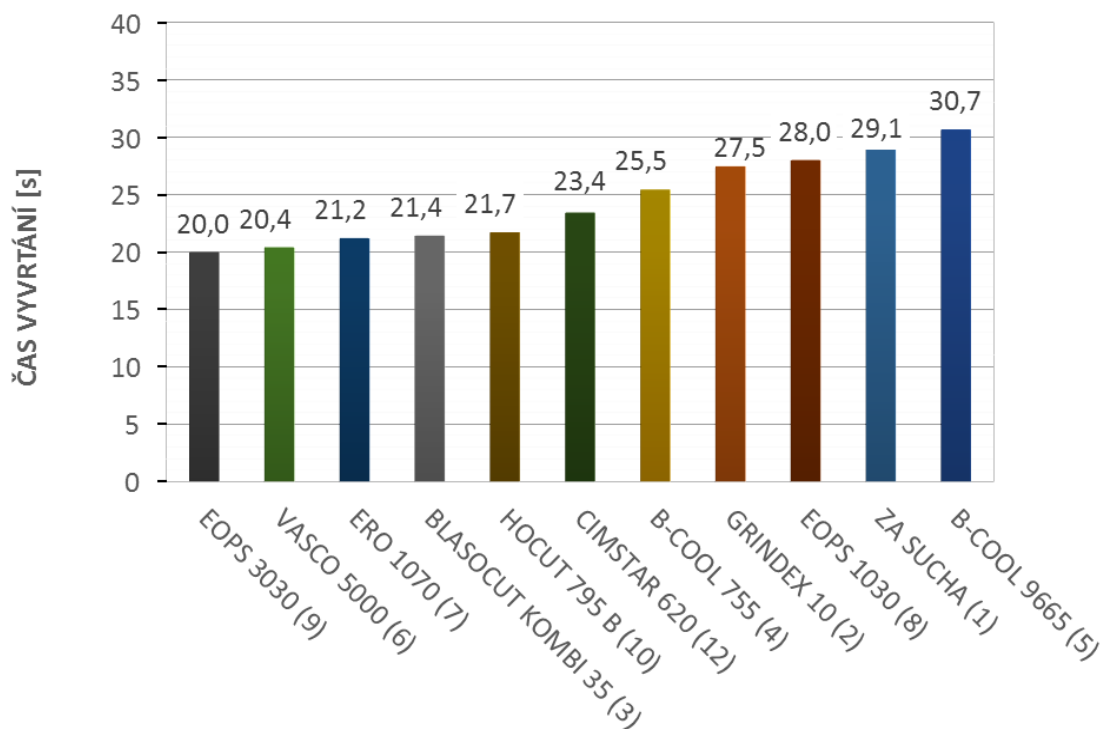
Ve vaničce byl přišroubován zkušební polotovar o rozměrech 100x100, hloubky 50 mm. Polotovar byl z korozi-vzdorné oceli 17 240 a konstrukční oceli 14 220.3. V každém polotovaru byla předem předvrtána náběhová část pro šroubovitý vrták, aby nedošlo ke zkreslování výsledků. Hloubka vrtání byla 10 mm + náběhová část.

Při zpracování měření se u výsledné hodnoty s použitím statistických metod určí interval spolehlivosti a porovná se statistická významnost rozdílů naměřených hodnot pro porovnávací vzorky procesních kapalin, respektive se provede srovnání s obráběním za sucha.

Pro každou procesní kapalinu byl vždy použit nový šroubovitý vrták o průměru 8 mm. Aby bylo možno tento experiment statisticky vyhodnotit, tak zkouška byla opakována 7xkrát tzn., bylo vyvrtáno více otvorů. Ze souboru naměřených hodnot byla odstraněna extrémní nejmenší a největší hodnota.

6.6.2. Analýzy výsledků

- **Vrtání konstantní silou u vybraných kapalin - konstrukční oceli 14 220.3**



Obr. 6.36 Vrtání konstantní silou u vybraných kapalin - konstrukční ocel 14 220.3



Obr. 6.37. Ukázka třísek při vrtání do oceli 14 220.3



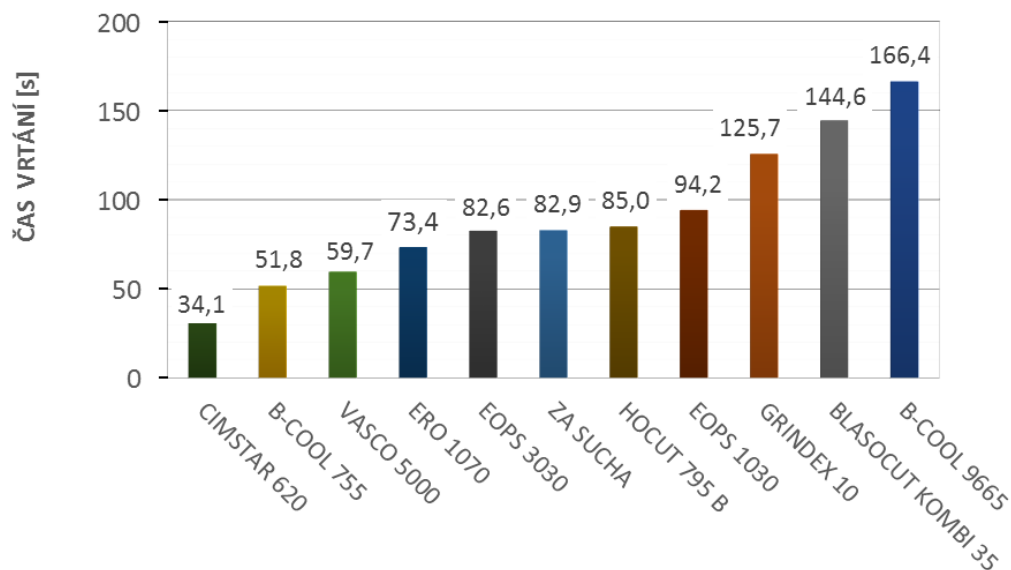
Obr. 6.38 Ukázka šroubovitého vrtáku při vrtání do konstrukční oceli 14 220.3, výběrové PK

U vrtání konstantní silou při použití různých procesních kapalin do konstrukční oceli lze z výsledků této metody navrhnout jako nejlepší PK od Paramo EOPS 3030, BLASER VASCO 5000, Paramo ERO 1070, Blaser BLASOCUT 35 KOMBI, HOCUT 795 B.

Prvních pět kapalin dosáhlo podobného výsledku. Rychlost při vyvrtání otvorů, tedy čas se u nich pohyboval v rozmezí od 20,0 - 21,7 sekund. Bez procesní kapaliny byl naměřen čas přibližně 29 sekund. Z obr. 6.36 je vidět, výrazné zrychlení vyvrtání otvorů. Experimentem bylo zjištěno, že při použití procesní kapaliny došlo k rychlejšímu vyvrtání otvoru, až o 45 % v porovnání bez použití procesní kapaliny (za sucha).

Tyto kapaliny mají dobrý mazací účinek a odvádí teplo z místa řezu.

- **Výsledky experimentu při vrtání do korozivzdorné oceli 17 240**



Obr. 6.39 Vrtání konstantní silou u vybraných kapalin- korozivzdorná ocel 17 240

U metody vrtání konstantní silou u různých kapalin do korozivzdorné oceli 17 240 grafu plyne, že nejlepší čas rychlosti vyvrtání otvorů byl prokázán u kapaliny CIMSTAR 620 viz obr 6.39.



Obr. 6.40 Změna tvaru třísek v závislosti na použití různých PK, korozivzdorná ocel 17 240



6.6.3. Závěr výzkumu

U vrtání konstantní silou u vybraných procesních kapalin do konstrukční oceli 14 220.3 lze z výsledků metody navrhnout jako nejlepší procesní kapalinu od Paramo EOPS 3030, BLASER VASCO 5000, Paramo ERO 1070, Blaser BLASOCUT 35 KOMBI, HOCUT 795 B.

U vrtání do korozi-vzdorné oceli 17 240 z grafu výše plyne, že nejlepší čas rychlosti vrtání otvorů byl prokázán u kapalin CIMSTAR 620, BLASER B-COOL 755, BLASER VASCO 5000, ERO 1070 viz obr. 6.39.

Tyto výše vyjmenované kapaliny mají pravděpodobně dobrý mazací účinek a ovlivňují tření tím, že snižují koeficient tření dvou navzájem působících povrchů, což vede ke snížení řezné síly např. v porovnání s obráběním bez použití PK viz obr. 6.36 a 6.39.

Výše uvedené procesní kapaliny pomáhají odcházení třísky z místa řezu, čímž se uplatňuje jejich čistící účinek při odstraňování třísek, zabraňující nárůstu řezné síly, který je způsobený zhoršujícím se odvodem třísky.

6.7. METODIKA ZKOUŠKY ANTIADHEZNÍ SCHOPNOSTI PROCESNÍ KAPALINY

Navrhovaná metoda vychází z hypotézy, že adheze procesní kapaliny na břitu řezného nástroje konvenuje s opotřebením na jeho čele a to tak, že s rostoucí adhezí kapaliny roste opotřebení na čele nástroje [46].

Metodika hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin byla vyvinuta na pracovišti katedry obrábění a montáže na Fakultě strojní Technické univerzity v Liberci.

Tato metodika byla vytvořena v rámci řešení výzkumného úkolu „Ekologické obráběcí kapaliny nové generace“ podporovaného Technologickou agenturou České republiky a evidovaného pod číslem TA2-1332, [46].

Část naměřených výsledků této metody byla převzata z výzkumu viz výše, který probíhal na katedře obrábění a montáže v letech 2011-2015. Proto je v této práci použito z deseti procesních kapalin pět různých.

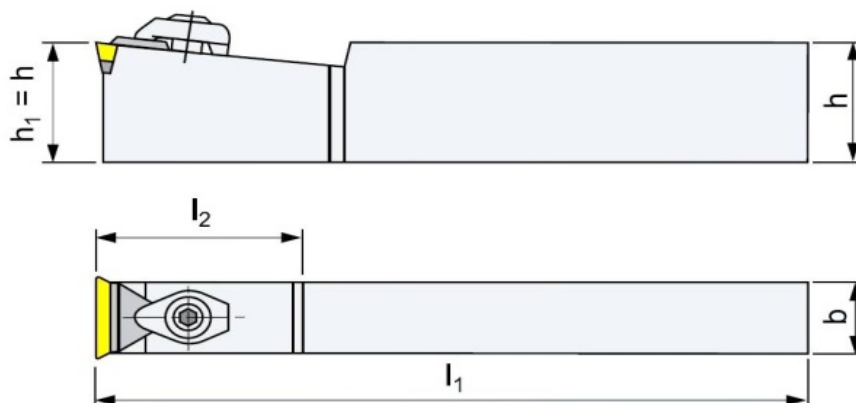
6.7.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení

Hodnocení antiadhezní schopnosti PK se provádí při volném ortogonálním řezání, kdy je rychlost pohybu třísky po celé délce ostří a na čele řezného nástroje konstantní. Ortogonální řezání se realizuje při technologii hoblování zápichem. Pro experimenty nejsou podmínky obrábění (stroj, nástroj, obrobek, řezné podmínky, ap.) přesně stanoveny. Tím je dána možnost aplikovat metodiku pro konkrétní podmínky dle potřeby. Je ovšem důležité, aby během hodnocení antiadhezní schopnosti různých PK byly podmínky obrábění vždy konstantní. Experimenty hoblování lze provést např. na svislé konzolové frézce (frézka TOS Olomouc, typ FA4A-V), viz obr. 6.41, [46].



Obr. 6.41 Frézka FA4A-V, [46]

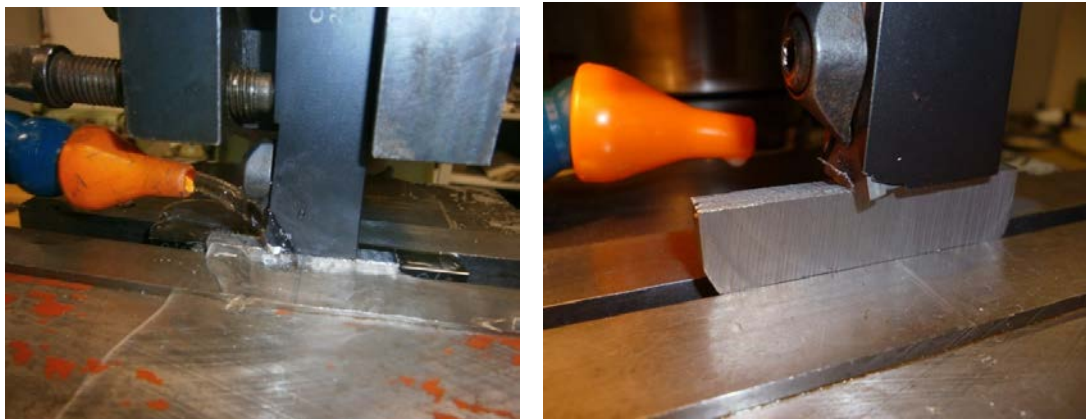
- **Nástroj** - soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16 (obr. 6.42)
s vyměnitelnou břitovou destičkou TPUN 160304, S26
- rozměry a geometrie nástroje: $h = h_1 = 25$ mm, $b = 13,8$ mm, $l_1 = 150$ mm, $l_2 = 34$ mm, $\gamma_o = 0^\circ$, $\lambda_s = +5^\circ$.



Obr. 6.42 Soustružnický nůž Pramet CTCPN 2514 M16

- **Zkušební vzorky**
Pro provedení experimentů byla použita korozivzdorná ocel ČSN 17 021. Polotovár byl frézován na rozměry, které následně vyhověly pro účel hoblování, šířka $b = 6$ mm, délka $l = 60$ mm a výška $h = 25$ mm.

- **Přívod procesní kapaliny do místa řezu (obr. 6.43)**



Obr. 6.43 Přívod kapaliny- stroj-nástroj-obrobek-chlazení, [46]

Při zjišťování antiadhezní schopnosti PK je velmi důležité, aby teplota na čele nástroje byla malá. Teplota nesmí překročit hodnotu 650 °C, čímž je zajištěno, že výsledky experimentu nebudou ovlivněny difuzním opotřebením, k němuž může docházet při teplotách nad 680°C [4]. Při hodnocení jednotlivých PK musí být zachovány stejné řezné podmínky. Jedinou proměnnou je druh posuzované procesní kapaliny.

Pro dosažení spolehlivých výsledků je třeba experimenty pro danou procesní kapalinu provádět opakovaně a výsledky statisticky zpracovat. Pro každou procesní kapalinu bylo měření opakováno 5x.

- **Řezné podmínky:**

Poté, co je za stálé dodávky kapaliny proveden stanovený počet hoblovacích dvojzdvihů (např. 100), vždy s hloubkou záběru 0,1 mm (celkový přírůstek na obrábění 10 mm), vznikne na čelní ploše nástroje opotřebení. Schéma plochy opotřebení je uvedeno na obr. 6.44.

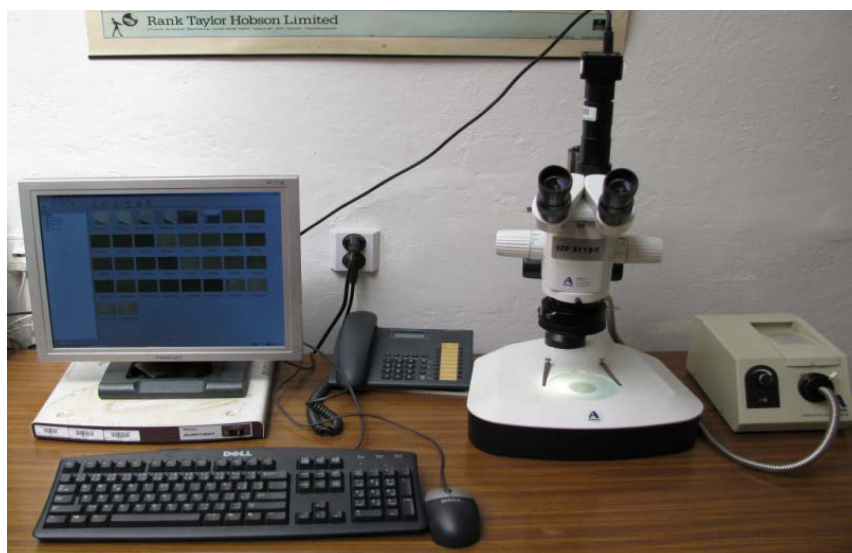
Celková plocha opotřebení S [mm²] se stanoví jako součet všech dílčích ploch opotřebení, které hraničí s ostřím.



Obr. 6.44 Schéma dílčích ploch opotřebení na čele řezného nástroje, [46]

- **Mikroskop Arsenal SZP 3112-T s kameru LABO 3MP (obr 6.45)**

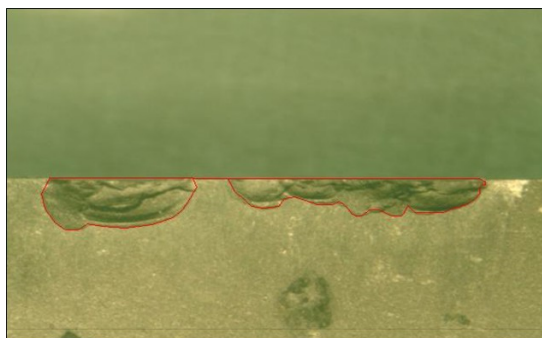
Pro měření opotřebení na čele řezného nástroje byl použit mikroskop Arsenal SZP 3112-T, který je vybavený laboratorní kamerou LABO 3MP (obr. 6.45). Kameru lze spojit s PC, kde se snímek plochy opotřebení zobrazí na monitoru a následně jej lze uložit do paměti PC s použitím software Mini-see. Rozměr snímku musí být takový, aby byla zaznamenána část břitu větší, než je šířka záběru nástroje (záběr ostří ve směru příčného posuvu).



Obr. 6.45 Mikroskop Arsenal SZP 3112-T s kameru LABO 3MP

Všechny hodnocené snímky musí mít stejné zvětšení. U každého snímku byla vyznačena hranice všech opotřebovaných ploch v oblasti záběru nástroje, jak je zřejmé z obr. 6.46 (hranice vyznačeny červenou čarou).

Dále se ze snímků určí skutečná výsledná velikost plochy opotřebení na čele nástroje S [mm²].



Obr. 6.46 Hranice opotřebení plochy na čele nástroje, [46]

Pro vyhodnocení plochy opotřebení na snímku byl použit software Autodesk AutoCAD 2012.

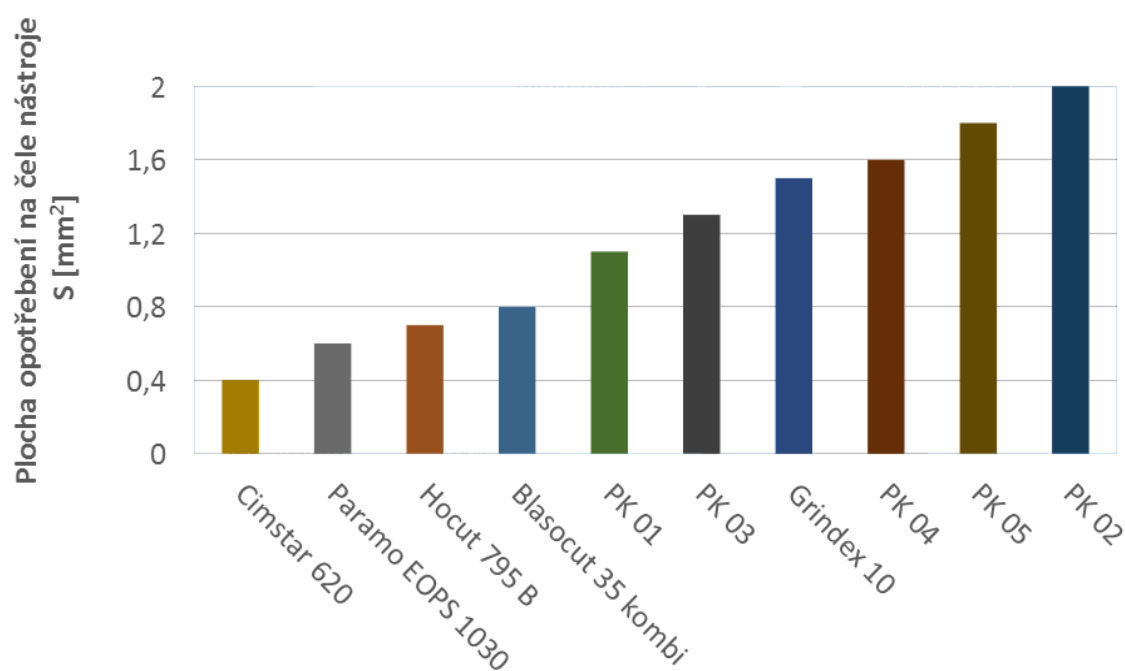
Ten nám umožnil importovat pořízené snímky tohoto kreslicího softwaru a stanovit tak pomocí speciální funkce suma ploch vyznačenou hranici opotřebení.

6.7.2 Analýza výsledků

Tab 6.18 Plocha opotřebení na čele nástroje, [46]

Druh PK	Plocha opotřebení na čele nástroje S [mm ²]	Statistický interval spolehlivosti
Blasocut 35 kombi	0,8	$\pm 0,13$
Hocut 795 B	0,7	$\pm 0,25$
Paramo EOPS 1030	0,6	$\pm 0,21$
Cimstar 620	0,4	$\pm 0,27$

Grindex 10	1,5	$\pm 0,19$
PK 01	1,1	$\pm 0,22$
PK 02	2,1	$\pm 0,18$
PK 03	1,3	$\pm 0,14$
PK 04	1,6	$\pm 0,17$
PK 05	1,8	$\pm 0,12$



Obr. 6.47 Plocha opotřebení na čele nástroje pro vybrané kapaliny

6.7.3 Závěr výzkumu

Hodnocení antiadhezní schopnosti procesních kapalin je zřejmé z obr. 6.47, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty plochy opotřebení.

Experimentálně bylo zjištěno, že nejlepší schopnost adheze má procesní kapalina Cimstar 620, tato procesní kapalina ovlivňuje adhezivní otěr na čele řezného nástroje, [46].



Z tabulky 6.18 a grafu 6.47 je zřejmé, jak dobrou má kapalina antiadhezní schopnost. Čím menší je plocha opotřebení na čele nástroje S, tím lepší má daná procesní kapalina antiadhezní schopnost.

7. METODIKA OVĚŘOVÁNÍ ZKOUŠEK

Pro stanovení míry závislosti naměřených hodnot byla u všech experimentů použita souhrnná hodnota výběrového koeficientu korelace dle konzultace s docentem Ing. Lubomírem Mocem, CSc. Tato metoda byla použita z důvodu, že se při jednotlivých experimentech současně mění všechny zkoumané veličiny.

V tomto případě bylo potřeba vyhodnotit dvojice zkoušek trvanlivosti bříty nástroje při soustružení a frézování se zkouškami krátkodobými laboratorními a tribologickými. Čili porovnává se míra závislosti jednotlivých laboratorních zkoušek (ball-on-disc, Reichert test, ale také zkoušky vrtání konstantní silou, též antiadhezní zkouška) se zkouškami dlouhodobými (vliv trvanlivosti bříty nástroje při soustružení a frézování).

Míru závislosti naměřených hodnot vyjadřuje souhrnná hodnota výběrového koeficientu korelace.

7.1 Popis koeficientu korelace

Posuzuje vzájemné vztahy pomocí různých měr závislosti, většinou pomocí různých korelačních koeficientů. Nejpoužívanější mírou těsnosti vztahu dvou spojitých znaků je Pearsonův korelační koeficient [48, 50, 51]. Standardním výstupem korelační analýzy je koeficient popisující míru závislosti – nejčastěji korelační koeficient. Korelační koeficienty slouží jako míry vyjádření „těsnosti lineární vazby“, [48, 50, 51].

Pearsonův korelační koeficient se značí r a vzorec pro přesný výpočet jen uveden níže. Je nezávislý na jednotkách původních proměnných, bezrozměrný.

Pro hodnoty r platí: $-1 \leq r \leq 1$. Hodnoty ± 1 nabývá tehdy, když veličiny jsou absolutně závislé, tzn. pokud sestrojíme bodový graf dvojice zkoumaných veličin, všechny body leží na přímce [48, 50, 51].

Pokud $r = 0$ (nebo nabývá hodnoty blízké nule), veličiny jsou nezávislé.

Kladné hodnoty korelačního koeficientu znamenají pozitivní závislost, obě veličiny zároveň rostou nebo klesají.

Záporné hodnoty korelačního koeficientu znamenají negativní závislost, jedna veličina roste, zatímco druhá klesá.

Jestliže se při vyhodnocování korelační závislosti mezi jednou nezávisle proměnnou a jednou závisle proměnnou pohybuje absolutní hodnota korelačního koeficientu v rozsahu hodnot 0 do 1, pak lze v jednotlivých případech vyslovit následující závěry [48, 50, 51]:

$0,0 \leq r < 0,3$	velmi nízký stupeň závislosti,
$0,4 \leq r < 0,6$	střední stupeň závislosti,
$0,7 \leq r < 0,8$	silný významný stupeň závislosti,
$0,9 \leq r$	velmi silný stupeň závislosti.

V případě přímky $r = 1$ by nešlo o korelaci ale o funkci ($y=f(x)$) a to lineární.

7.2 Výpočet koeficientu korelace

V případě, že náhodné veličiny x a y jsou kvantitativní náhodné veličiny se společným dvourozměrným normálním rozdělením, je pro konkrétní hodnoty $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots (x_n, y_n)$ výběrový korelační koeficient dán vztahem [48, 50, 51]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (7.1)$$

kde r - Pearsonův korelační koeficient

Součty čtverců ve jmenovateli jsou $n-1$ násobkem výběrových rozptylů. Proto se často setkáváme s jednodušším vyjádřením Pearsonova korelačního koeficientu

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y}, \quad (7.2)$$

kde s_x je směrodatná odchylka proměnné X , s_y směrodatná odchylka proměnné Y a s_{xy} takzvaná kovariance proměnných X a Y

$$s_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \quad (7.3)$$

Správná interpretace Pearsonova koeficientu korelace předpokládá, že obě proměnné jsou náhodné veličiny a mají společné dvourozměrné normální rozdělení. Potom nulový korelační koeficient znamená, že veličiny jsou nezávislé.

Při současném zpracování n proměnných hodnotíme korelační koeficienty $n(n-1)/2$ dvojic proměnných, které sestavujeme do korelační matice, jejíž řádky i sloupce jsou věnovány postupně první až n -té proměnné.

7.3 Analýza výsledků

- **Výsledky výpočtu koeficientu korelace dle vztahu (7.1) u oceli 14 220.3 jsou shrnuty v tab. 7.1:**

Tab. 7.1 Porovnání koeficientu korelace u použitých experimentálních metod zkoušení u oceli 14 220.3

	VRTÁNÍ KONST. SILOU	BALL ON DISC	REICHERT TEST
TRVANLIVOST SOUSTRUŽENÍ	-0,15	-0,64	0,06
TRVANLIVOST FRÉZOVÁNÍ	-0,24	-0,64	0,17

Z výsledků koeficientu korelace vyplývá, že mezi metodou ball on disk a trvanlivostí bříty nástroje při frézování a soustružení existuje střední závislost. Koeficient korelace dle Pearsonova vztahu byl vypočten $r = -0,64$, jedná se o negativní závislost, což znamená, že jedna veličina roste, zatímco druhá klesá.

Dle tabulky 7.1 též vyplývá, že mezi metodou Reichert test a trvanlivostí břitu nástroje při soustružení existuje nulová závislost, koeficient korelace byl $r = 0,06$.

U metody vrtání konstantní silou a trvanlivosti břitu nástroje při soustružení byl vypočten koeficient $r = -0,15$, což značí velice slabou závislost.

- **Výsledky výpočtu koeficientu korelace dle vztahu (7.1) u oceli 17 240 jsou shrnuty v tab. 7.2:**

Tab. 7.2 Porovnání koeficientu korelace u použitých experimentálních metod zkoušení u oceli 17 240

	VRTÁNÍ KONST. SILOU	BALL ON DISC	REICHERT TEST	ANTIADHEZNÍ SCHOPNOST
TRVANLIVOST SOUSTRUŽENÍ	-0,32	0,29	- 0,04	-0,55
TRVANLIVOST FRÉZOVÁNÍ	-0,01	-0,09	0,73	0,43

Z výsledků výpočtu viz tab 7.2 pro porovnání metod u korozivzdorné oceli koeficientu korelace vyplývá:

U metody antiadhezní zkoušky bylo dosaženo koeficientu korelace pro trvanlivost břitu nástroje při soustružení $r = -0,55$, což podle zvolené metodiky znamená, že mezi oběma soubory údajů existuje střední závislost.

Dále bylo dosaženo u vrtání konstantní silou nízkého stupně závislosti a to $r = -0,32$.

U metody ball on disc a trvanlivostí břitu nástroje při soustružení bylo dosaženo nízkého stupně závislosti, $r = 0,29$.

Porovnáním metody Reichert test a trvanlivosti břitu nástroje při soustružení bylo dosaženo stupně závislosti $r = -0,04$.

Mezi metodou Reichert test a trvanlivosti břitu nástroje při frézování byla vypočtena velice silná závislost koeficientu korelace $r = 0,73$.

Dle tab. 7.2 u antiadhezní zkoušky a trvanlivosti bříty nástroje při frézování byl vypočten koeficient $r = 0,43$, což značí střední závislost mezi těmito dvěma metodami.

U metody vrtání konstantní silou je závislost korelace v porovnání s trvanlivostí bříty nástroje při frézování nulová, tedy $r = -0,04$.

U metody ball on disc v porovnání s trvanlivostí bříty nástroje při frézování je závislost nulová, tedy $r = -0,09$.

7.4 Závěr výzkumu

Jak již bylo uvedeno výše, cílem sedmé kapitoly bylo zjistit, do jaké míry si vzájemně odpovídají hodnoty při provedených experimentech dlouhodobé zkoušky trvanlivosti nástroje při frézování a soustružení se zkouškami krátkodobými laboratorními a tribologickými při obrábění dvou materiálů. Souhrn výsledků výpočtu matematické metody koeficientu korelace je prezentován v tab. 7.1 a 7.2.

Pro Reichert test vychází velikost tohoto koeficientu $r = (0,73)$ v porovnání s dlouhodobou zkouškou trvanlivosti bříty nástroje při frézování u korozivzdorné oceli. To znamená, že mezi naměřenými veličinami existuje silná závislost.

U zkoušky antiadhezní schopnosti bylo dosaženo koeficientu korelace ($r = -0,55$) v porovnání s dlouhodobou zkouškou trvanlivosti bříty nástroje při soustružení, což podle zvolené metodiky znamená, že mezi oběma soubory údajů existuje střední závislost. Tuto zkoušku doporučuji používat.

Míra závislosti tribologické zkoušky Ball on disc při použití metody výběrového koeficientu korelace je střední. U této zkoušky byl vypočten koeficient korelace ($r = -0,64$), což značí střední negativní závislost v porovnání s dlouhodobou zkouškou trvanlivosti bříty nástroje při soustružení a frézování u oceli 14 220.3.

8. ZÁVĚRY

1. V současnosti neexistuje žádná krátkodobá laboratorní zkouška, která by zaručila spolehlivé výsledky v porovnání s dlouhodobými zkouškami trvanlivosti bříty nástroje.
2. Z tribologických zkoušek je nejlepší, jako náhrada, při zjišťování trvanlivosti bříty nástroje u soustružení a frézování metoda Ball on disc u oceli 14 220.3. U oceli 14 220.3 byl vypočten koeficient korelace ($r = -0,64$), což potvrzuje skutečnost, že mezi oběma soubory údajů (metodami) existuje střední závislost.
U oceli 17 240 při soustružení byla závislost velice slabá ($r = 0,29$), při frézování prakticky nulová ($r = -0,09$).
3. Korelace met. dlouhodobou zkouškou trvanlivosti bříty nástroje při frézování a Reichert testem u oceli 17 240 je silná ($r = 0,73$), ale při soustružení je nulová.

Naopak při porovnání koeficientu korelace Reichert testu s metodou dlouhodobé zkoušky trvanlivosti bříty nástroje při soustružení u oceli 14 220.3 a oceli 17 240 je závislost korelace nulová.

4. U metody vrtání konstantní silou v porovnání s dlouhodobou zkouškou trvanlivosti u soustružení a frézování u oceli 14 220.3 byla pomocí koeficientu korelace zjištěna velice slabá závislost korelace, tedy u soustružení ($r = -0,15$) a u frézování ($r = -0,24$).

U oceli 17 240 byl vypočten koeficient korelace v porovnání se soustružením ($r = -0,32$), což značí velice slabou závislost. Závislost koeficientu korelace mezi frézováním u oceli 17 240 a metodou vrtání konstantní silou je nulová, tedy ($r = -0,01$).

5. U antiadhezní zkoušky oceli 17 240 v porovnání s metodou soustružení byla zjištěna závislost korelace ($r = -0,55$) a u frézování oceli 17 240 byl koeficient ($r = 0,43$), obě tyto korelace značí střední závislost.
6. Pro zkrácení nákladů při testování nově vyvinutých kapalin doporučuji:
 - U oceli 14 220.3 doporučuji používat zkoušku Ball on disc, jak při dlouhodobé zkoušce trvanlivost bříty nástroje u soustružení, tak i u frézování. Koeficient korelace byl u obou zkoušek ($r = 0,64$).
 - U oceli 17 240 používat zkoušku Reichert test, ale pouze místo dlouhodobé zkoušky trvanlivosti nástroje při frézování, zde byl korelační koeficient ($r = 0,73$).

Antiadhezní zkoušku doporučuji používat u dlouhodobé zkoušky trvanlivosti nástroje při soustružení. Byla zde vypočtena střední závislost koeficientu korelace ($r = -0,55$).

7. Výzkumem bylo zjištěno, že u tribologické zkoušky Reichert test je ponořen prstenec v jedné třetině kapaliny a váleček (zkušební vzorek) je zde přitlačován k prstenci konstantní silou. Z následujícího experimentu lze vyvodit závěr, že pokud dostatečné množství procesní kapaliny ulpívá na prstenci, který se dostával do kontaktu s testovacím válečkem, tak tato procesní kapalina má dobré mazací schopnosti.

Při použití tribologické zkoušky „ball on disk“ je po celou dobu vzorek ponořen celým svým objemem v kapalině. Na rozdíl od zkoušky „Reichert test“, je zde vždy dostatečné množství procesní kapaliny, což může mít vliv na přesnost metod při porovnání.



Doporučení směrů dalšího výzkumu studované problematiky

1. Stanovit koeficienty tření u zmíněných procesních kapalin tribologickými zkouškami při zvýšené teplotě procesní kapaliny (300 – 600) °C.
2. Aplikovat tribologické zkoušky na další obráběcí procesy. Tyto zkoušky jsou poměrně, časově nenáročné. Právě tribologické zkoušky jsou současným laboratorním směrem. Najít odpovídající zkoušku procesu obrábění je velice náročné, protože každý proces obrábění je svým způsobem specifický.



9. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LIEMERT, G., DRÁBEK, F., ONDRA, O., VAVŘÍK I., *Obrábění*, Praha 1974, 352 s., ISBN 04-231-74.
- [2] KREMANOVÁ, B., MÁDL, J., RÁZEK, V., KOUTNÝ, V. Vývoj nových technologických kapalin na bázi přírodních surovin. *Strojírenská technologie*. Rec. I. Kvasnička. roč. 12, červen 2007, č. 2. s. 18 - 23. ISSN 1211-4162.
- [3] MEČIAROVÁ, J., JERSÁK, J. Humánní aspekty používání procesních kapalin. *Strojírenská technologie*. Rec. J. Mádl. roč. XI, prosinec 2006, č. 4. s. 4 - 8. ISSN 1211-4162.
- [4] NECKÁŘ, F., KVASNIČKA, I. *Vybrané statě z úběru materiálu*. Rec. J. Gazda. 1. vyd. Praha: ES ČVUT, 1991. 88 s. ISBN 80-01-00696-4.
- [5] RÁZEK, V., MÁDL, J., KOUTNÝ, V. Metody zkoušení vlastností řezných kapalin. *Strojírenská technologie*. Rec. I. Kvasnička. roč. 8, září 2003, č. 3. s. 21 - 24. ISSN 1211-4162.
- [6] REJZEK, M. *Účinek procesní kapaliny na technologii soustružení a kvalitu obroběných součástí. [Bakalářská práce]*. Liberec: TU v Liberci, 2009. 55 s.
- [7] SANDVIK Coromant, Sandviken: Příručka obrábění - kniha pro praktiky. Překlad M. Kudela. -. vyd. 1997. 800 s. ISBN 91-972299-4-6.
- [8] LICEK, R., POPOV, A., Evaluation of Selected Parameters of Quality Structural Steel Turning. *Manufacturing and industrial engineering, 2012, č 2, s. 16-19, 2012, ISSN 1338-6549*.
- [9] JERSÁK, J., REJZEK, M., Účinek procesní kapaliny na proces soustružení a vybrané parametry integrity povrchu. *Strojírenská technologie*. Rec. K. Vasilko. roč. 12, duben 2011, č. 2. s.17 - 23. ISSN 1211-4162.
- [10] Čubán, J., Kovalčík J., Comparison of coated carbide cutting tool inserts used in machining of cylinder liners made of grey cast iron. *Manufacturing Technology, Volume IX, December 2009, s.23-31, ISSN 1213248-9*.
- [11] LICEK, R., POPOV, A. The influence of process fluids from PARAMO a.s. on the surface roughness in turning. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Mádl, prof. Vasilko. roč. XVII, aj, 2012, č. 1, 2. s. 60 - 64. ISSN 1211-4162.
- [12] VASILKO, K., *Teória a praxe trieskového obrábania*, vyd. Fakulta výrobných technológií Technicke univerzity v Košiciach, so sídlom v Prešove, 2009, 532 s, ISBN: 978-80-553-0152-5
- [13] NOVÁK, M., HOLEŠOVSKÝ F., Study of Ground Surface Integrity. *Manufacturing Engineering/Výrobné inžinierstvo*, roč. 7, 2008, č. 2. s. 11 – 13, ISSN 1335-7972.
- [14] HUMÁR, A., *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ- Studijní opory pro*



magisterskou formu Studia VUT- 1. Část

- [15] Paramo, a.s., *Katalog výrobků Paramo*. [online]. 2010. [cit. 1. listopad 2011]. Dostupné na: <http://www.paramo.cz/>.
- [16] Bulánek, J. *Teorie třískového obrábění kovů [Bakalářská práce]*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2008. 74 s.
- [17] BRENNER, O. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. MM Průmyslové spektrum. Duben 2003, č. 4, s. 84. ISSN 1212-2572.
- [18] BUMBÁLEK, B. *Obrábění s chlazením nebo za sucha?*. Ústí nad Labem: UJEP Ústí nad Labem, 2000. 98 s. Knihovnička Strojírenská technologie, sv. 1. ISBN 80-7044-328-6.
- [19] STŘELCOVÁ, R. *Řezné kapaliny a jejich uplatnění v moderní výrobě [Bakalářská práce]*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 48s
- [20] SANDVIK Coromant, Sandviken: Příručka obrábění - kniha pro praktiky. Překlad M. Kudela. -. vyd. 1997. 800 s. ISBN 91-972299-4-6.
- [21] BENEŠ, P., *Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění*. [Diplomová práce]. TUL Liberec, 2009. 78 s.
- [22] KOČMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek: Svazek 7. Obrábění*. Praha, Dashöfer, 2001. ISBN 80-902247-2-5
- [23] TVAROH, J. ZJIŠTĚNÍ DÍLČÍCH VLASTNOSTÍ PROCESNÍCH KAPALIN OD FIRMY PARAMO, a. s. *[Bakalářská práce]*. TU Liberec, 2013.
- [24] ČILLIKOVÁ, M., PILC, J., MÁDL, J. Top trendy v obrábění VI. Časť- Procesné médiá, rok 2008,
- [25] <http://www.machinerylubrication.com/Read/28598/biodegradable-lubricants-farm-equipment>
- [26] MOLNAR, A. *Procesní kapaliny pro obrábění a způsoby jejich přívodu. [Bakalářská práce]*, Brno, 2008.
- [27] NESLUŠAN, M. aj.: *Experimentálne metódy v triskovom obrábaní*, Vydavateľstvo ŽU 2007, ISBN 978-80-8070-711-8
- [28] BERGERHOF, J., Analýza vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při soustružení nerezových ocelí pro firmu PARAMO, a. s. *[Bakalářská práce]*. TU Liberec, 2013.
- [29] RAK, J., Analýza vlivu procesních kapalin na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí pro firmu PARAMO, a.s. *[Bakalářská práce]*. TU Liberec, 2013
- [30] LICEK, R., POPOV, A., Bergerhof, J., Návrh řezných podmínek a hodnocení vlivu procesních kapalin na tvorbu nárůstku u antikoročních ocelí. *Strojírenská technologie*. Rev. prof. Ing. Lukovics, CSc., prof. Dr. Ing. Holešovský. Vol. XVII, čj, 2012, number 5-6, page 317 - 326. ISSN 1211-4162.
- [31] Garant příručka obrábění <http://www.garant-tools.com/>



- [32] STOLARSKI, T., A. Tribology in Machine Design Handbook. Amsterdam: Elsevier
- [33] Butterworth- Heinemann, 1995, 311 s. ISBN 0-7506- 3623-8.
- [34] MACHADO, A.R., WALLBANK, J. (1997). The effect of extremely low lubricant volumes in machining. *Wear* 210:76–82.
- [35] SKLENIČKA J., Vliv geometrie břitu produktivních vrtacích nástrojů na velikost řezných sil, Diplomová práce, ZČU 2009
- [36] BAKALOVA, T., LOUDA, P., VOLESKÝ, L., and KŘIKLAVOVÁ, L. (2014). The impact of natural nanoadditive on the tribological and chemical properties of process fluids. In: *Proceedings: 8th International Conference on Tribology, 30thOct.-1stNov.2014*. Ploesti: Petroleum-Gas University of Ploiesti Publishing House, p. 143-148. ISBN 978-973-719-570-8, Sinaia, Romania.
- [37] BAKALOVA, T., aj. Nanoadditives SiO₂ and TiO₂ in Process Fluids. *Manufacturing technology*. 1. vyd. Ústí n. L.: J. E. Purkyne University in Usti nad Labem, 2015, roč. 15, č. 4. S. 502 – 508. ISSN 1213-2489.
- [38] STACHOWIAK, G. a A. BATCHELOR. *Engineering tribology*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, 801 s. ISBN 0- 7506 - 7836 - 4.
- [39] BAKALOVA, T., VOLESKÝ, L., LOUDA, P. a ANDRŠOVÁ, Z. The Use of Optical Microscopy to Evaluate the Tribological Properties. *Manufacturing technology*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Faculty of Production Technology and Management, 2014, roč. 14, č. 3. S. 256 – 261. ISSN 1213-2489.
- [40] NEALE, M., J. *The Tribology Handbook*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, 1995, 582 s. ISBN 07 – 7506 – 1198 - 7.
- [41] Dugin, A., Jersak, J., Popov, A. Method for determining of the anti-adhesion ability of cutting fluids. *Manufacturing Technology*. 2014, 14 (2), pp. 145-149
- [42] BEČKA, J. *Tribologie*. Praha: ČVUT , 1997. 212 s. ISBN 80-01-01621-8
- [43] KLIMEŠ, P. *Části a mechanismy strojů II*. Brno: VUT Brno, 2002. 69 s.
- [44] *Materiálový výzkum ATeam: Zkoušky trvanlivosti ostří řezných nástrojů* [online]. [cit. 2006-01-09]. Dostupný z WWW: <http://www.ateam.zcu.cz/trvanlivost.html>
- [45] Stefan Joksche. Evaluating the performance of water-misciblecutting fluids in tribotests and actual machining processes. Oemeta Chemische Werke GmbH, Uetersen, Germany. https://www.tapping-torque-test.com/files/5514/1233/8682/OEMETA_Evaluating_the_performance_of_water-miscible_cutting_fluid.pdf
- [46] Jersák, J., Popov, A., *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace*. Technická univerzita v Liberci, 88 s., 2014, ISBN 978-80-7494-142-9.
- [47] Krejčík, L., Pschera, J. *Kapaliny pro obrábění*. Vyšlo v MM: 2011/7, 28.



06. 2011 v rubrice Trendy/ Průmyslové kapaliny, strana 22.

- [48] Petr Hebák, Jiří Hustopecký, *Vícerozměrné statistické metody s aplikacemi*, nakladatelství SNTL, 1987, 452 stran, ISBN 04-323-87
- [49] Petroleum Test Instruments - Product Range. <http://www.anton-paar.com/corp-en/>
- [50] Petr Hebák, Jiří Hustopecký, Eva Jarošová, Iva Pecáková, *Vícerozměrné statistické metody 1*, 1. vydání, nakladatelství INFORMATORIUM spol. s r. o., 2004, 239 stran, ISBN 80-7333-025-3
- [51] Petr Hebák, Jiří Hustopecký, Iva Malá, *Vícerozměrné statistické metody 2*, 1. vydání, nakladatelství INFORMATORIUM spol. s r. o., 2005, 239 stran, ISBN 80-7333-030-9

10. PŘEHLED AKTIVIT DOKTORANDA

Publikační činnost:

1. LICEK, R., Evaluation of tribological properties by using different process fluid by test ball on disc. *Manufacturing technology*. Ústí n. L.: J. E. Purkyne University in Usti nad Labem, 2017, roč. xx, č. xx. S. xx – xx. ISSN 1213-2489. (v recenzi)
2. LICEK, R., LEDVINA, M. Comparison of the effect of process fluid using the test by drilling a constant force. *Manufacturing technology*. Ústí n. L.: J. E. Purkyne University in Usti nad Labem, 2017, roč. xx, č. xx. S. xx – xx. ISSN 1213-2489. (v recenzi)
3. LICEK, R. The Effect of Process Liquids on Tool Life during Milling. *Workshop pro doktorandy fakulty textilní a fakulty strojní Technické univerzity v Liberci*, Rokytnice nad Jizerou 2014, AJ, 2014, page 203 - 207. ISBN 978-80-7494-100-9.
4. LICEK, R., POPOV, A. The influence of process fluids from PARAMO a.s. on the surface roughness in turning. *Strojírenská technologie*. Rev. prof. Mádl, prof. Vasilko. Vol. XVII, aj, 2012, number 1, 2. Page 60 – 64. ISSN 1211-4162.
5. LICEK, R., POPOV, A., Bergerhof, J., Návrh řezných podmínek a hodnocení vlivu procesních kapalin na tvorbu nárůstku u antikoročních ocelí. *Strojírenská technologie*. Rev. prof. Ing. Lukovics, CSc., prof. Dr. Ing. Holešovský. Vol. XVII, čj, 2012, number 5-6, page 317 - 326. ISSN 1211-4162.
6. LICEK, R., POPOV, A., Evaluation of Selected Parameters of Quality Structural Steel Turning. *Manufacturing and industrial engineering*, 2012, number 2, page 16-19, 2012, ISSN 1338-6549.
7. LICEK, R., POPOV, A., Methodology for selecting optimal cutting conditions to evaluate the effect of process fluids to the surface roughness in turning. *Manufacturing Engineering*. Rev. not available, Vol. 10, 2011, number 4, page 05 – 07, ISSN 1335-7972.
8. LICEK, R., Using cutting edge inserts for turning of construction steel. *Transfer inovací*, Rev. not available, 2011, number 21, page 125 – 127, ISSN 1337-7094.



9. LICEK, R., POPOV, A. Modern fluids and tool materials for turning of construction steel. *Manufacturing Engineering. Rev. M. Havrila*, Vol. 10, June 2011, number 2, page 42 - 44. ISSN 1335-7972.

Účast na seminářích a stážích

1. Studijní stáž v Portugalsku na University of Minho, za účelem získání znalostí z oboru tribologie, 17. 9. 2012 až 31. 5. 2013.
2. Aktivní účast na konferenci – ICTKI 2012. Čtvrtá mezinárodní konference Nové poznatky v technologiích a technologické informace byla pořádána Katedrou technologií a materiálového inženýrství Fakulty výrobních technologií a managementu Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 24. – 26. ledna 2012.
3. Účast na odborném semináři IET Academic skills dne 6. 9. 2011 konané ČVUT v Praze.
4. Aktivní účast a zaštitění organizace konference Technologie obrábění ku příležitosti oslavy 80-ti let od narození doc. Ing. Jaromíra Gazdy, CSc. konané 18. 10. 2011 na TUL.



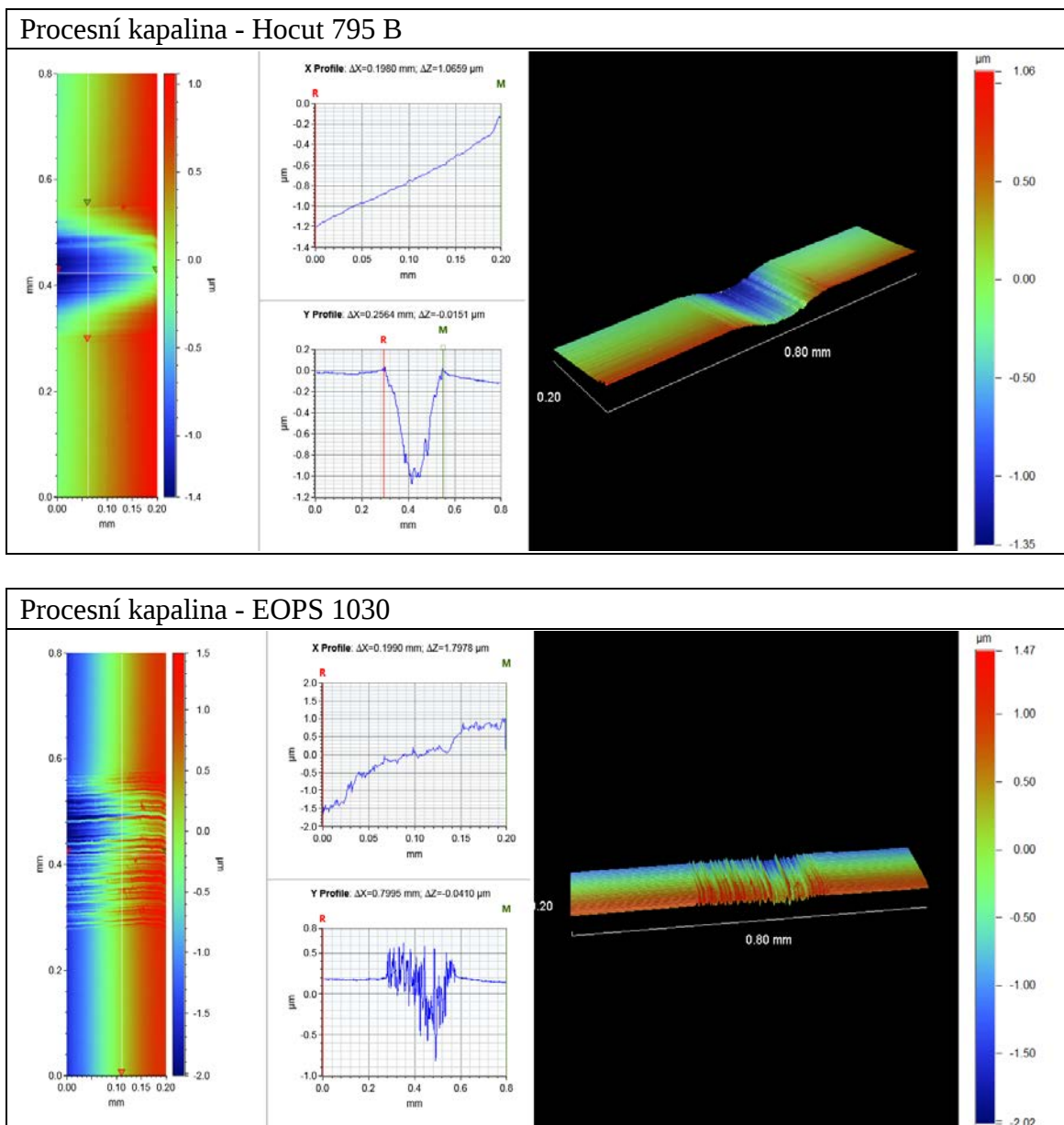
11. SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1	Hodnocení drážky po tribologické zkoušce ball on disc při použití různých PK pro disk z konstrukční oceli - optickým mikroskopem, mechanickým profilometrem.....	101
PŘÍLOHA 2	Hodnocení drážky po tribologické zkoušce ball on disc při použití různých PK pro disk z korozivzdorné oceli - optickým mikroskopem, mechanickým profilometrem.....	106
PŘÍLOHA 3	Vlastnosti procesních kapalin.....	111
PŘÍLOHA 4	CNC program pro soustruh Chevalier.....	120
PŘÍLOHA 5	Protokol o měření zkoušky Reichert test.....	124
PŘÍLOHA 6	Konstrukce tribometru v rámci stáže.....	126
PŘÍLOHA 7	Křivky vlivu trvanlivosti bříty nástroje při frézování	128
PŘÍLOHA 8	Hodnoty pro výpočet koeficientu korelace.....	135
PŘÍLOHA 9	Technické parametry frézky FA4A-V.....	136

PŘÍLOHA 1

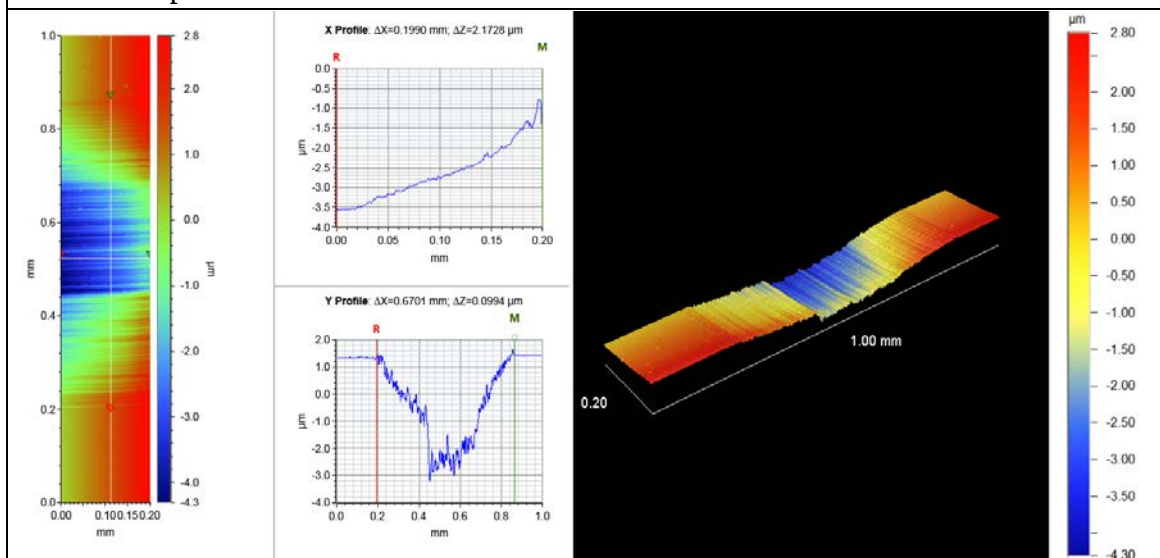
Hodnocení drážky po tribologické zkoušce ball on disc při použití různých PK pro disk z oceli 14 220.3 – optickým mikroskopem, mechanickým profilometrem u výběrových procesních kapalin.

Na obrázku jsou pro znázornění uvedeny grafy opotřebení disku pro vybrané kapaliny. Hodnota S_1 byla odečtena na počítači.

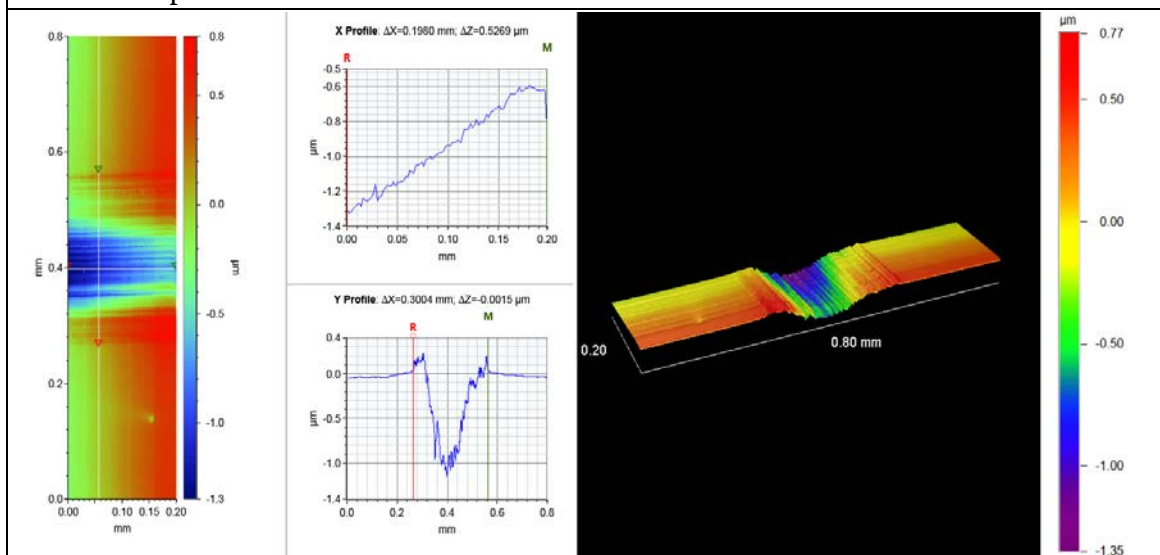




Procesní kapalina - GRINDEX 10

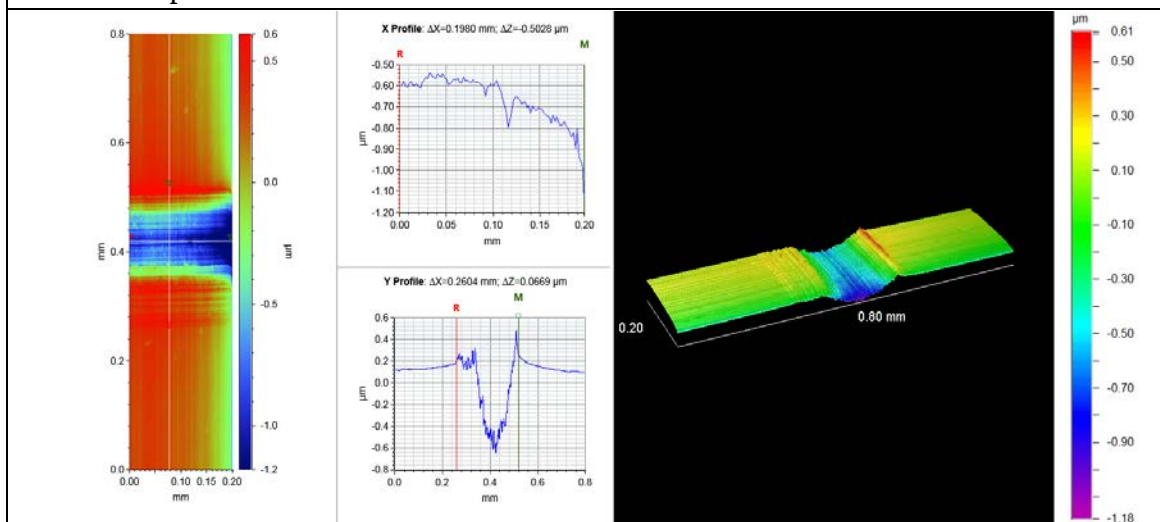


Procesní kapalina - CIMSTAR 620

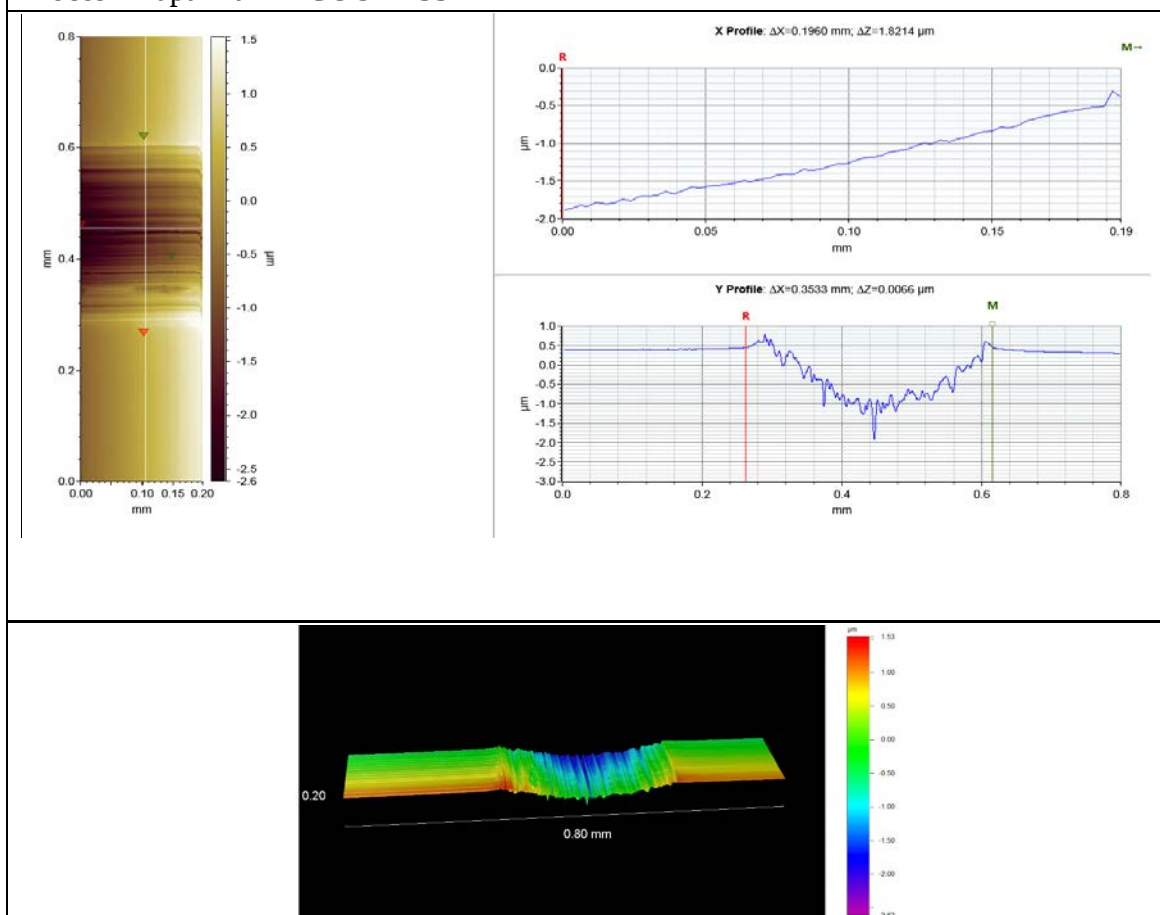




Procesní kapalina - BLASOCUT 35 KOMBI

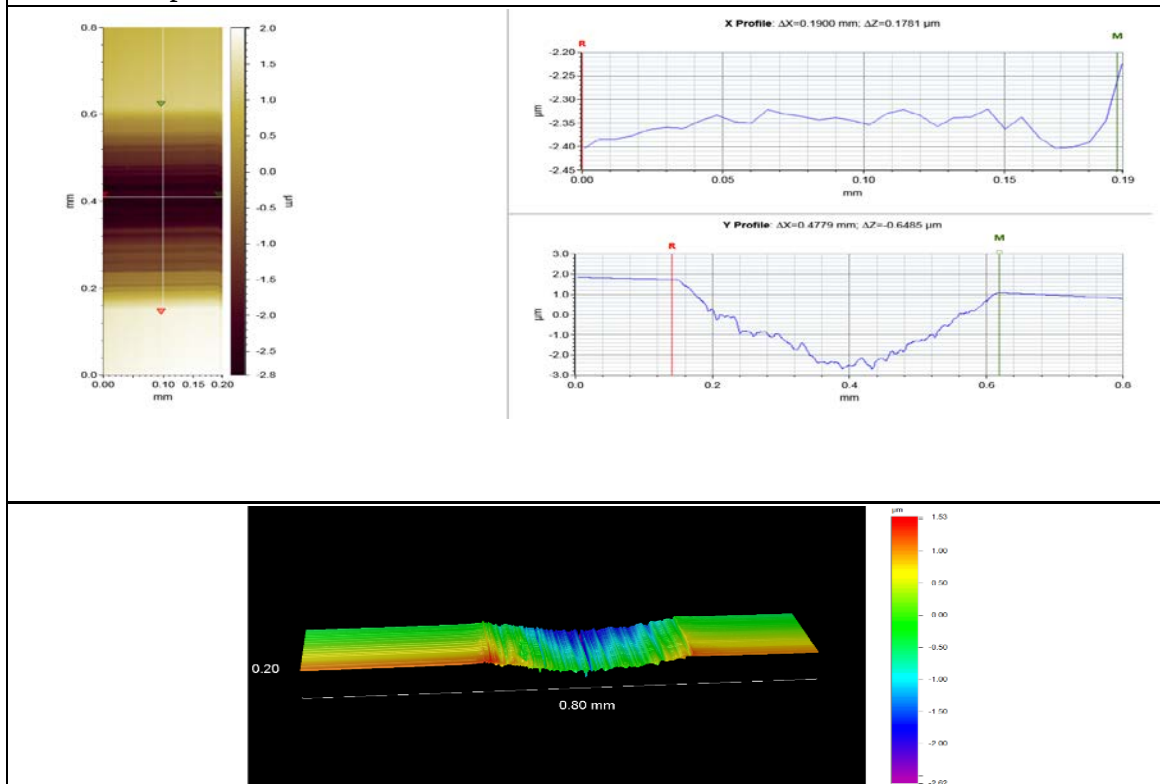


Procesní kapalina - B-COOL 755

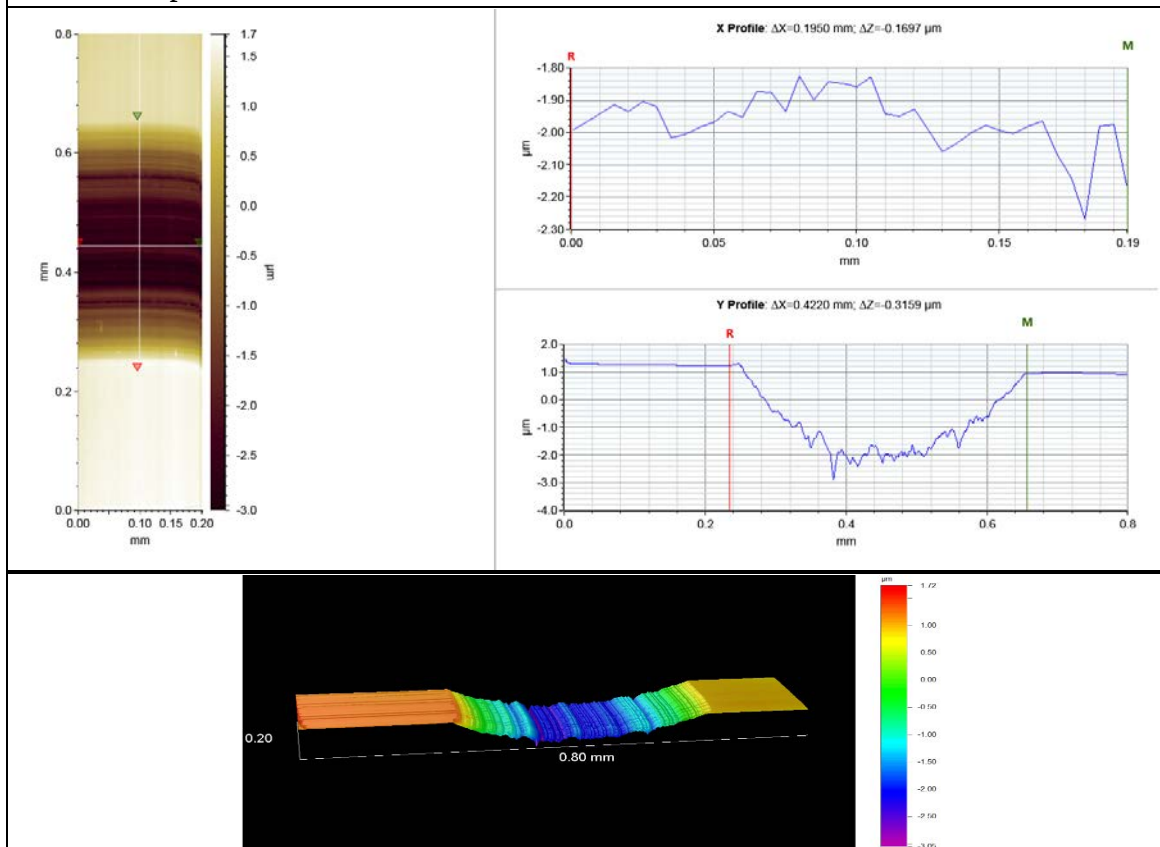




Procesní kapalina - B-COOL 9665

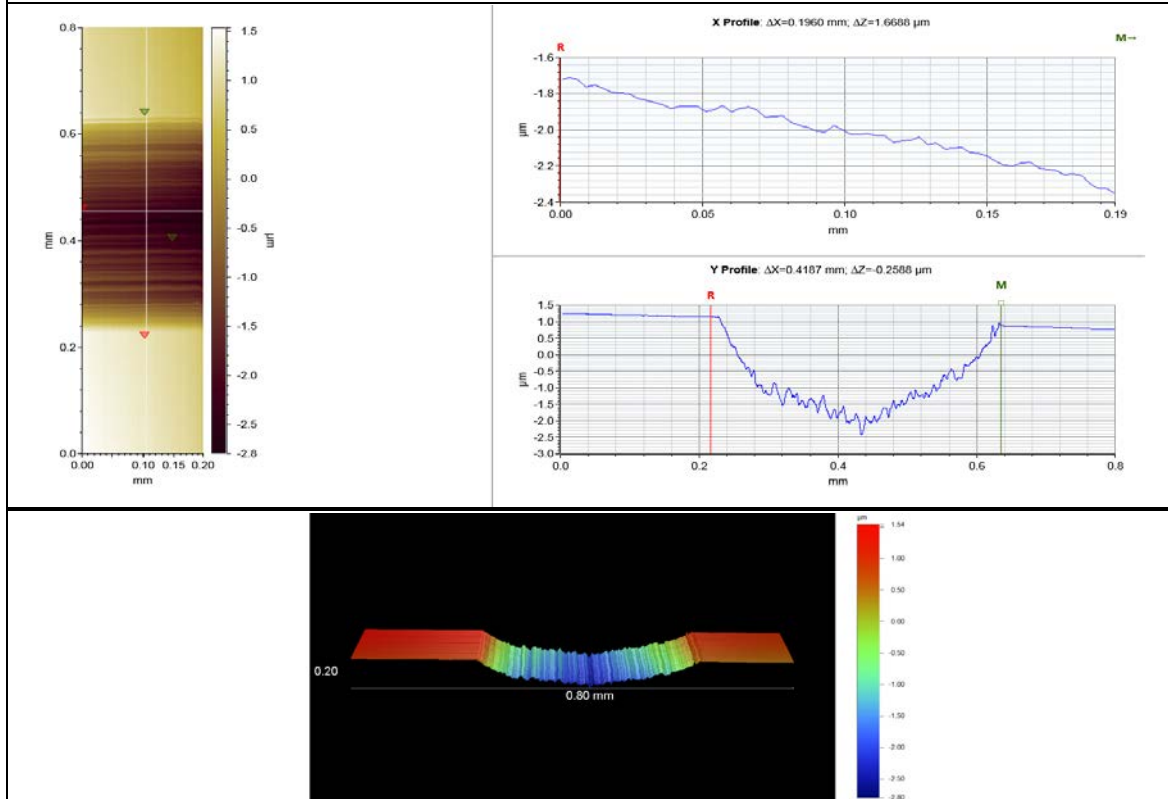


Procesní kapalina - ERO 1070

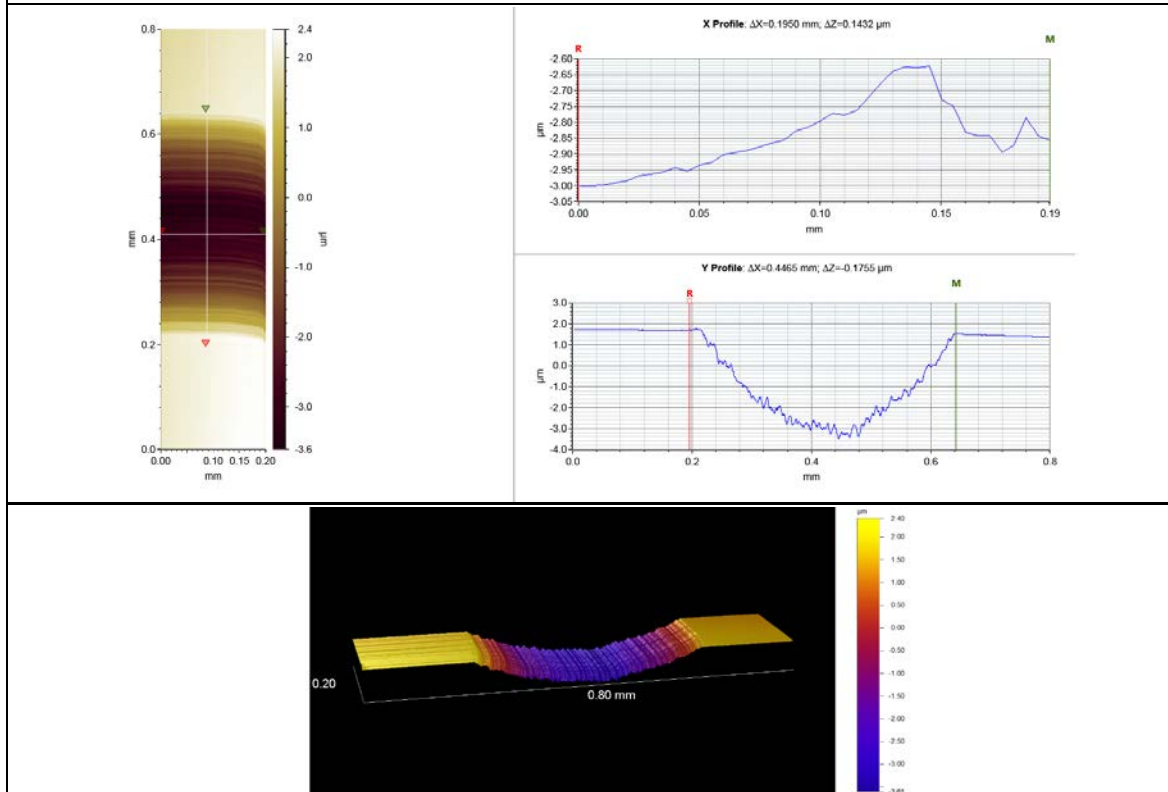




Procesní kapalina – VASCO 5000



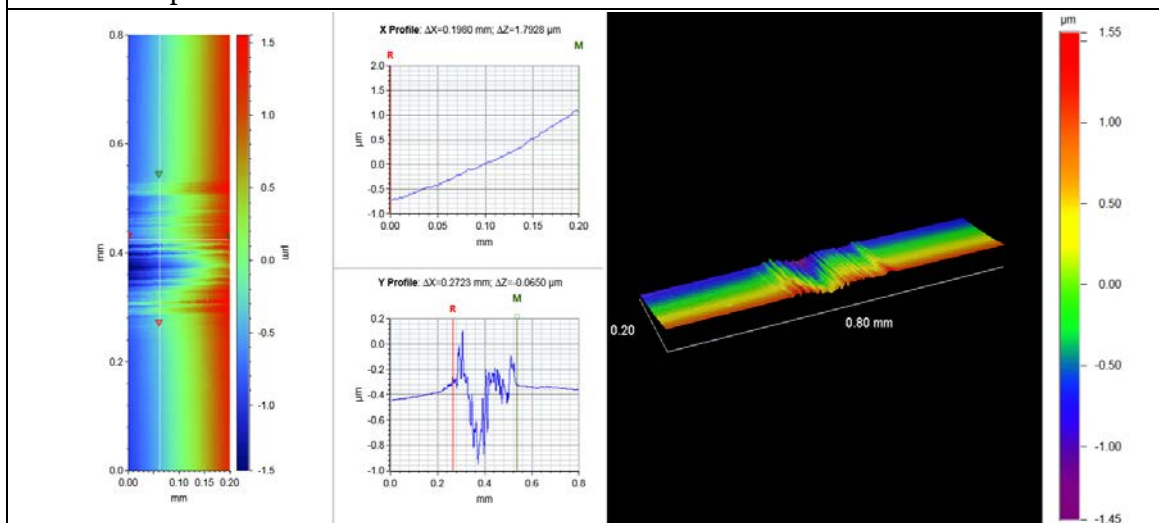
Procesní kapalina – EOPS 3030



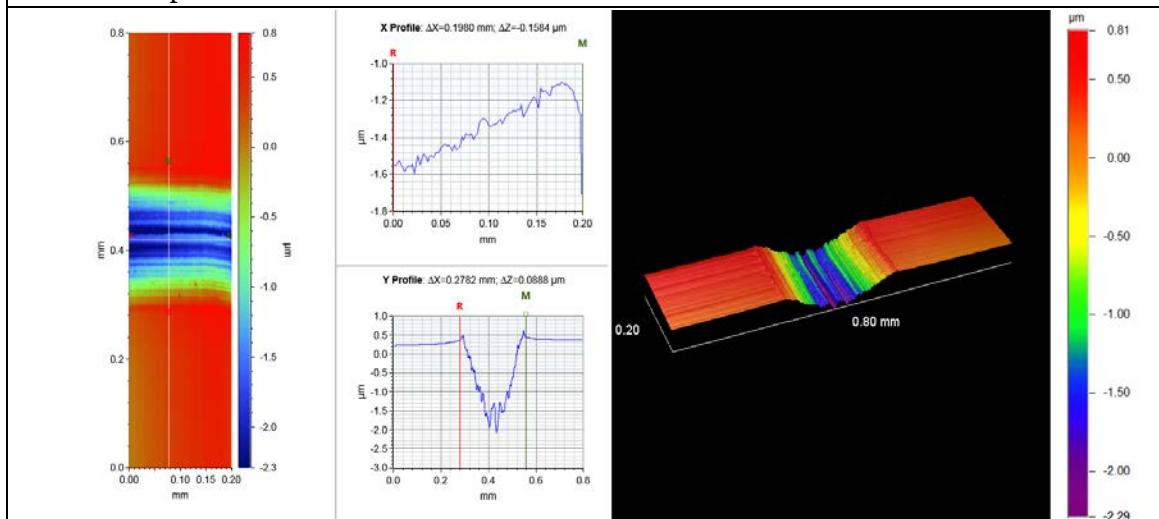
PŘÍLOHA 2

Hodnocení drážky po tribologické zkoušce ball on disc při použití různých PK pro disk z korozi-vzdorné oceli – optickým mikroskopem, mechanickým profilometrem.

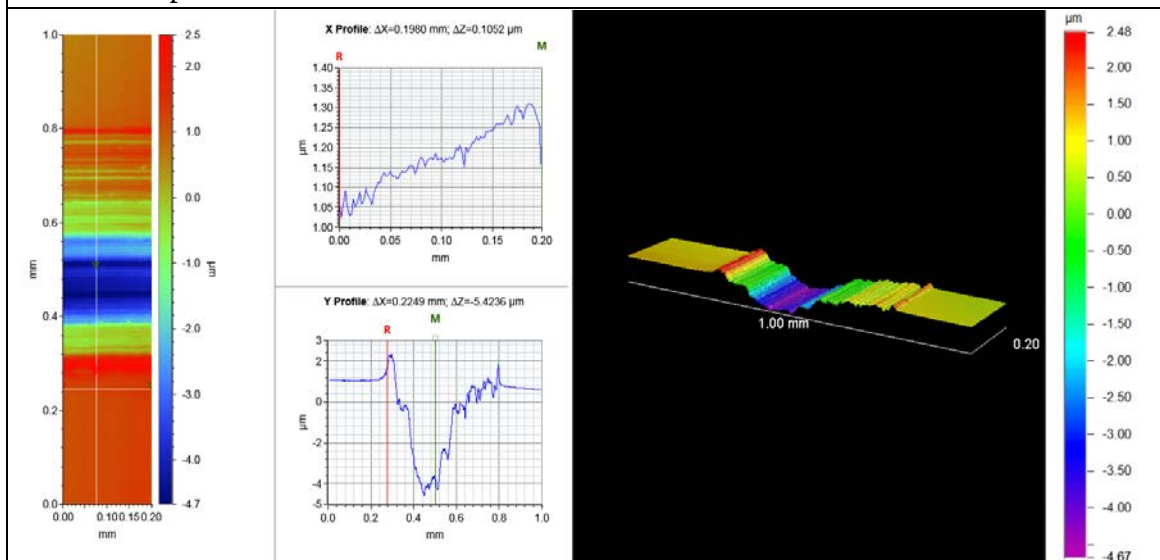
Procesní kapalina - Hocut 795 B



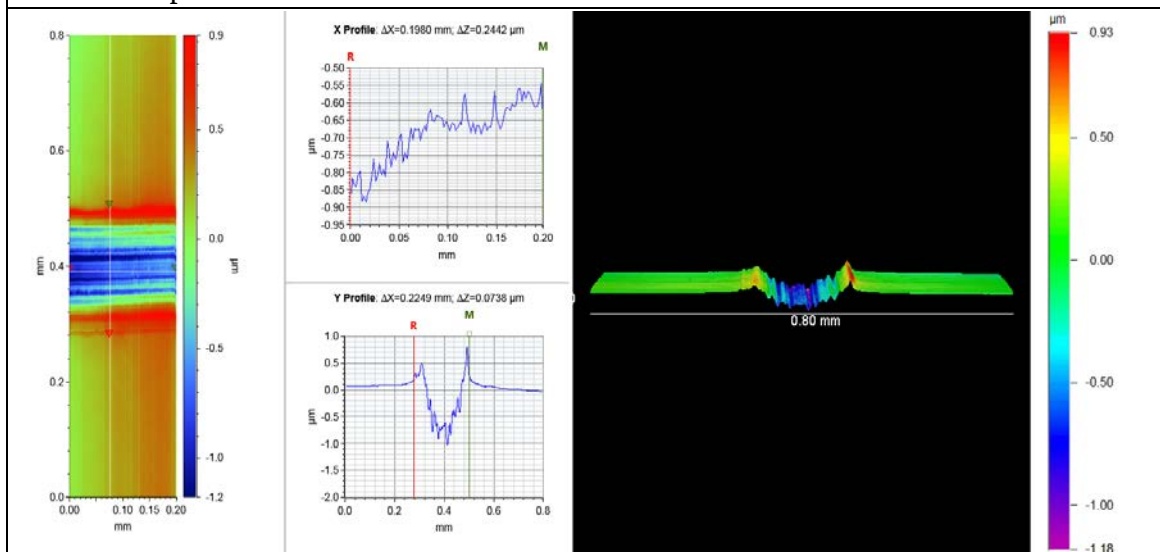
Procesní kapalina - EOPS 1030



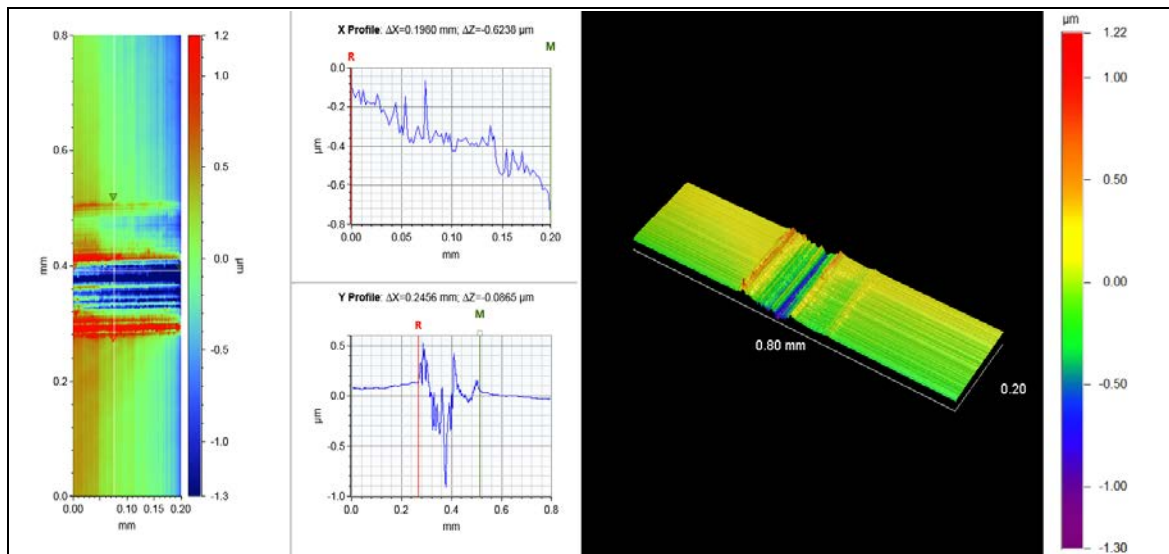
Procesní kapalina - GRINDEX 10



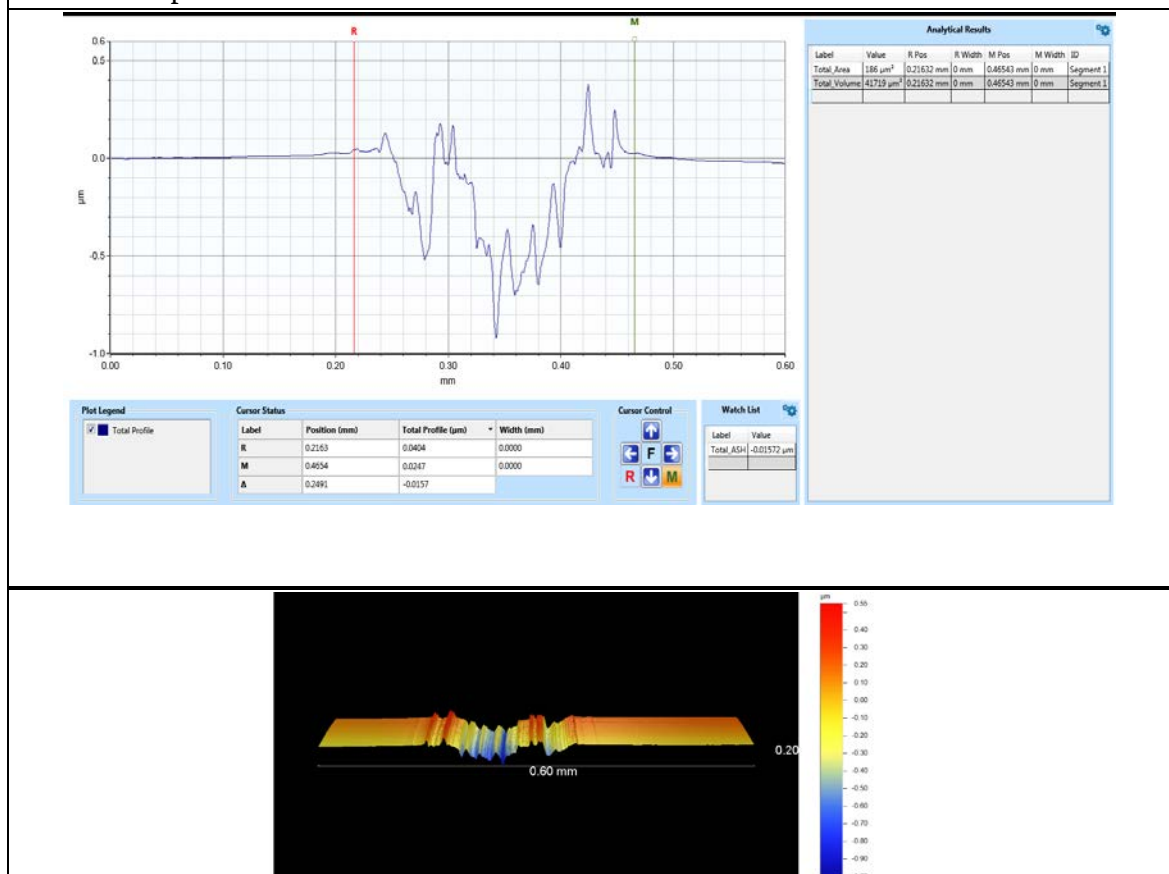
Procesní kapalina - CIMSTAR 620



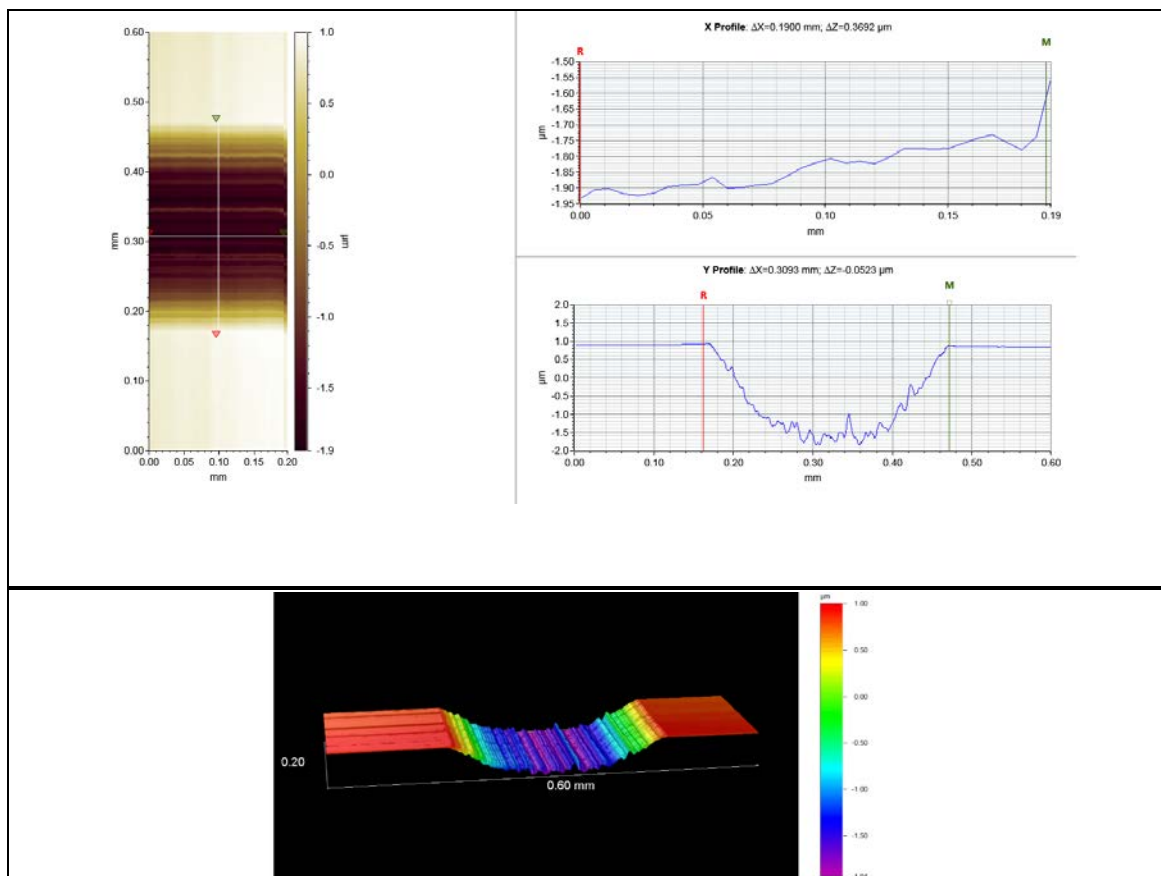
Procesní kapalina - BLASOCUT 35 KOMBI



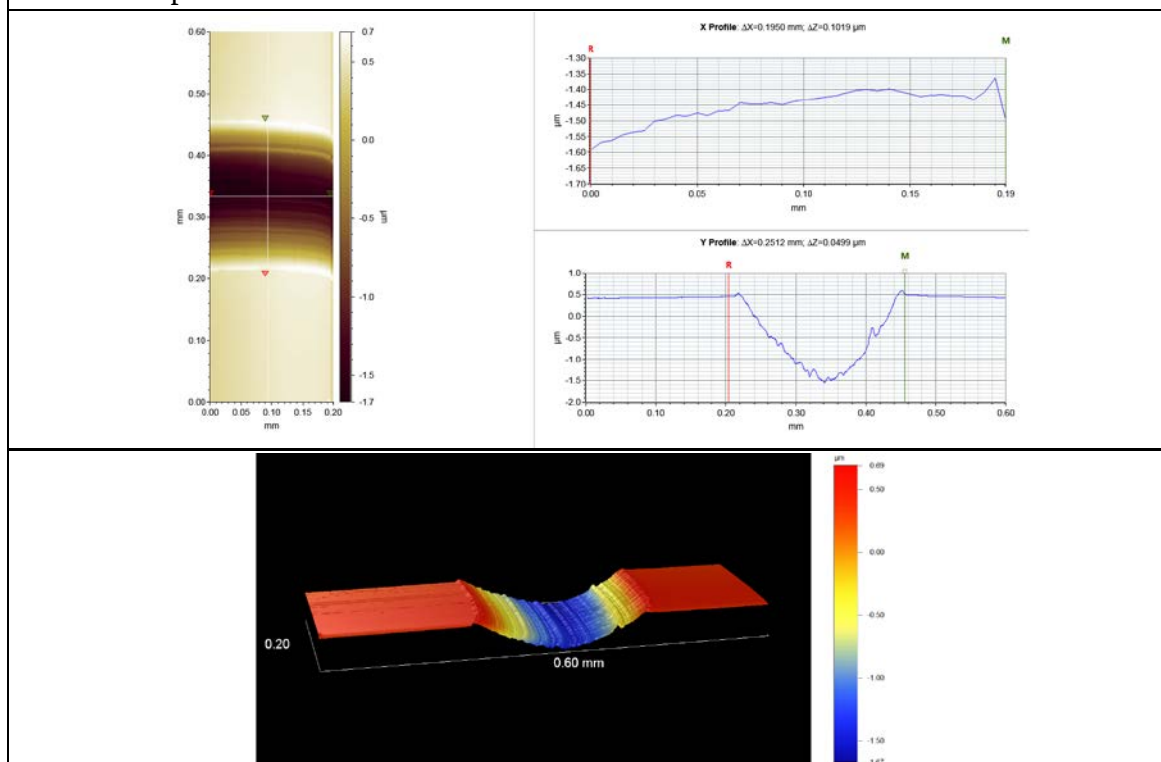
Procesní kapalina - B-COOL 755



Procesní kapalina - B-COOL 9665

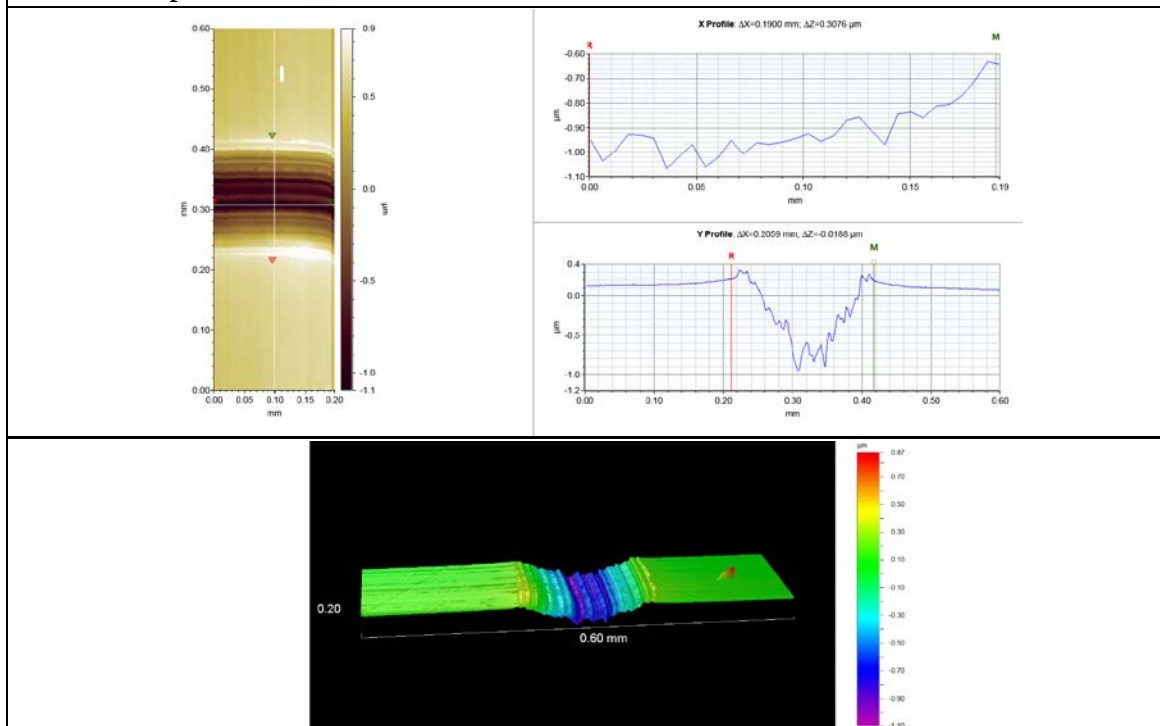


Procesní kapalina - ERO 1070

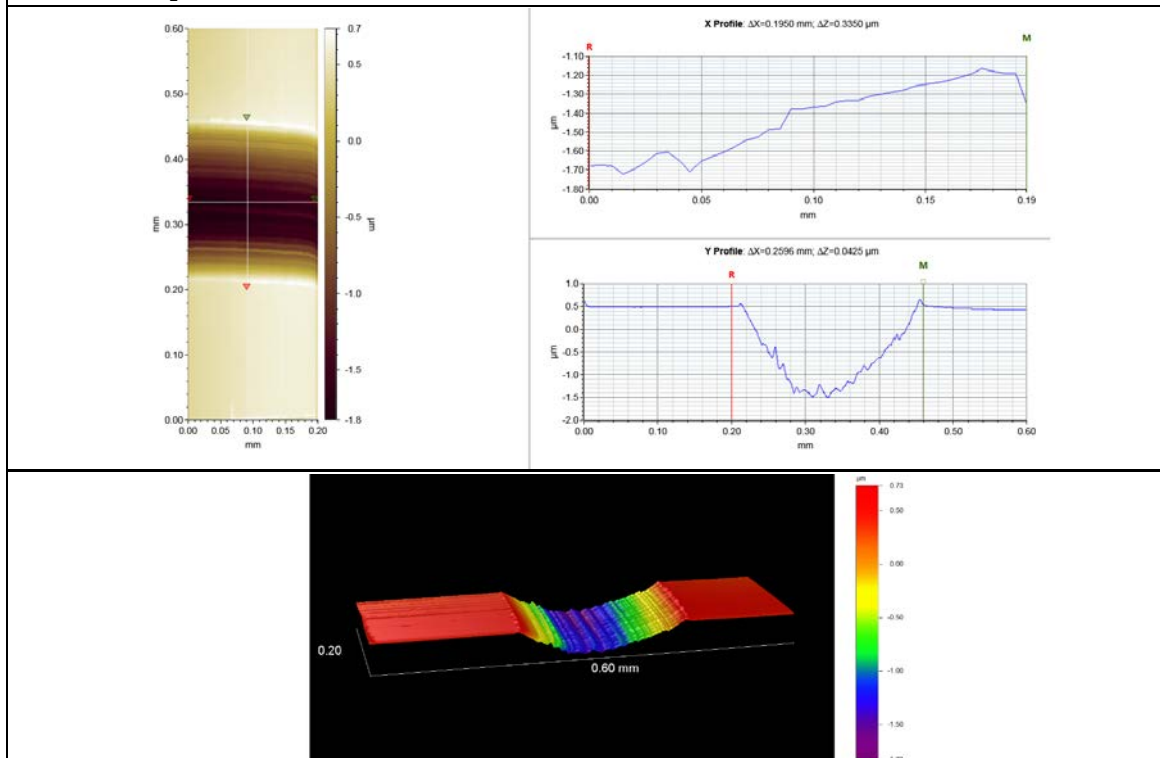




Procesní kapalina – VASCO 5000



Procesní kapalina – EOPS 3030





PŘÍLOHA 3:

Vlastnosti procesních kapalin



Art. Nr.11755- 01

B-Cool 755

Popis	B-Cool 755 je s vodou mísitelná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi minerálních olejů. Vyznačuje se nízkým sklonem k pění při použití v tvrdé a měkké vodě, dobrou stabilitou, dobrými protikorozními vlastnostmi u ocelí a sníženou spotřebou.
Oblast použití	B-Cool 755 je vhodný pro obrábění slitin hliníku, titanu niklových slitin, žárupevných ocelí a INOXU

Vlastnosti produktu	Výhody
Velmi vysoká stabilita emulze	dlouhá životnost snížené náklady na likvidaci
Nízký sklon k pění v tvrdé i měkké vodě	ideální pro vysoké řezné rychlosti a vysoké tlaky
Vynikající oplachovací a smáčecí schopnosti	mimořádně nízká spotřeba

Fyzikálně chemické údaje	Koncentrát	Emulze
Barva	bezbarvý, nažloutlý	bílá, transparentní
Obsah minerálního oleje	52 %	
Obsah vody	4 %	
Hustota při 20 °C	0,96g / cm ³	
Viskozita při 40 °C	133 mm ² / s	
Bod vzplanutí	138 °C	
hodnota pH		8,8 – 9,8
Faktor refraktometru		1.0

Poznámka	V produktu nejsou obsaženy: chlor, těžké kovy, bor, silikon, baktericid, formaldehyd, nitrosamin, glykolether	
Doporučená koncentrace	Variabilní koncentrace	7 % - max.15 %
	Nellepší výsledky při běžném obrábění	7% - 10 %
	Ve velmi měkké vodě je možné odpění pomocí dodatečného přitvrzení o 5° dH,(90 ppm). V případě potřeby je možné také použít odpěňovač art. 29106, nebo 29108.	
Velikost balení	10/25/200 litrů	

Údaje uvedené v tomto katalogovém listu jsou založeny na námi známých vlastnostech a možnostech použití produktu.
Na základě těchto údajů nemohou být všeobecně vzneseny žádné právní nároky



Art. Nr.19665 - 05

B-Cool 9665

Popis	B-Cool 9665 je s vodou mísitelná, polosyntetická chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru, s nízkým obsahem minerálního oleje. Vyznačuje se vysokým řezným výkonem, nízkým sklonem k pění při použití v tvrdé a měkké vodě, dobrou stabilitou a sníženou spotřebou.	
Oblast použití	B-Cool 9665 je vhodný pro lehké, až těžké obrábění slitin titanu, nerezových ocelí, uhlíkatých ocelí a litin. Je možné použít pro jednotlivé stroje a rovněž tak pro centrální zařízení.	
	Vlastnosti produktu	Výhody
	Vysoký řezný výkon	zvýšené řezné parametry prodloužená životnost nástroje
	Velmi vysoká stabilita emulze	dlouhá životnost, biol. stabilní snížené náklady na likvidaci
	Nízký sklon k pění při měkké vodě a vysokotlakém chlazení	ideální pro vysoké řezné rychlosti a vysoké tlaky
	Vynikající oplachovací a smáčecí schopnosti	mimofádně nízká spotřeba
	Výborná ochrana proti korozi	chrání stroje a obrobky již při nízkých koncentracích
Fyzikálně chemické údaje	Koncentrát	Emulze
Barva	žlutý, čirý	mléčná, transparentní
Obsah minerálního oleje	6 %	
Hustota při 20 °C	1,02 g / cm ³	
Viskozita při 40 °C	14 mm ² / s	
Bod vzplanutí	>130 °C	
hodnota pH (čerstvá emulze)		9,2 – 9,6
hodnota pH (použitá emulze)		8,8 - 9,2
Faktor refraktometru		1.8
Poznámka	V produktu nejsou obsaženy: dusitany, štěpné produkty dusitanů, diethanolamin, NDELA a nitrosaminy, bor, estery kys. borité, aktivní síra, silikony, PCP, PCB, PCT, TCDD nebo jiné látky obsahující dioxiny.	
Doporučená koncentrace	Variabilní koncentrace 3% - max.10% (hodnota na refraktometru 1,6 - 5,6) Třískové opracování 5% - 10% (hodnota na refraktometru 2,7 - 5,6) Tento produkt vyžaduje velmi nízké hodnoty doplňování. V každém případě musí být ale systém doplňován emulzí o min. koncentraci 0,5%.	
Velikost balení	10/25/200 litrů	

Údaje uvedené v tomto katalogovém listu jsou založeny na námi známých vlastnostech a možnostech použití produktu.
Na základě těchto údajů nemohou být všeobecně vzneseny žádné právní nároky



Art. Nr.1350- 10

Blasocut BC 35 Kombi

Popis	Blasocut BC 35 Kombi je s vodou mísitelná, chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi minerálních olejů. Polární aditiva zaručují zvýšený výkon při třískovém opracování.
Oblast použití	Univerzální výrobek vhodný pro lehké a střední třískové opracování, stejně jako broušení litiny, oceli, slitin hliníku a barevných kovů.

Vlastnosti produktu	Výhody
Vysoký řezný výkon	univerzální použití dlouhá životnost nástrojů
Jemné složení bez baktericidů	šetrný vůči lidské pokožce
Dobré smáčecí a oplachovací schopnosti	čisté stroje a snížená spotřeba díky nízkému výnosu na třískách
Zvýšená stabilita emulze	prodloužená životnost emulze a snížené náklady na likvidaci

Fyzikálně chemické údaje	Koncentrát	Emulze
Barva	hnědá	mléčná, světle béžová
Obsah minerálního oleje	56 %	
Obsah vody	3 %	
Hustota při 20 °C	0,95 g / cm ³	
Viskozita při 40 °C	59 mm ² / s	
Bod vzplanutí	150 °C	
hodnota pH		8,5 – 9,2
Faktor refraktometru		1

Poznámka	V produktu nejsou obsaženy: aditiva obsahující síru, zinek, chlór, fosfor, sloučeniny bóru, dusitaný, štěpné produkty dusitanů, formaldehyd, štěpné produkty formaldehydu, sekundární aminy, dietanolamin, nitrosamin, silikony, těžké kovy, PCP, PCB, PCT, TCDD a další látky obsahující dioxin.
-----------------	--

Doporučená koncentrace	Variabilní koncentrace 3 - 15 % běžné obrábění 5 - 8 % broušení 3 - 5 % Pro přípravu emulze je doporučováno směšovací zařízení (Jetmix).
-------------------------------	---

Velikost balení	10/25/207 L
------------------------	-------------

Údaje uvedené v tomto katalogovém listu jsou založeny na námi známých vlastnostech a možnostech použití produktu.
Na základě těchto údajů nemohou být všeobecně vzneseny žádné právní nároky



Art. Nr.2850- 04

Vasco 5000

Popis Vasco 5000 je s vodou mísitelná vysoce výkonná chladicí a mazací látka bez obsahu chlóru na bázi rostlinných olejů a přírodních esterů.

Oblast použití Vysoce výkonný přípravek, vhodný pro třískové opracování těžkoobrobitelných materiálů, např. titanu, inconelu, rovněž litiny, ocelí a slitin hliníku.

Vlastnosti produktu

Nejvyšší řezný výkon díky vlastnostem rostlinných olejů

Pro tvrdou i měkkou vodu

Rostlinné estery

Dobré smáčecí schopnosti

Výhody

velmi dlouhá životnost nástroje pro nejtěžší operace a materiály nejvyšší kvality povrchy opracovaných materiálů snížený sklon k pění ve všech druzích vody

dorůstající suroviny biologicky odbouratelné

čisté stroje hospodárný díky nízké spotřebě

Fyzikálně chemické údaje	Koncentrát	Emulze
Barva	světle hnědá	mléčná, béžová
Obsah minerálního oleje	0 %	
Obsah rostlinného oleje	52%	
Obsah vody	0,10%	
Hustota při 20 °C	0,96 g / cm ³	
Viskozita při 40 °C	90 mm ² / s	
Bod vzplanutí	180 °C	
hodnota pH		8,5 – 9,4
Faktor refraktometru		1

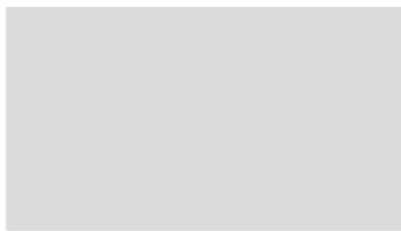
Poznámka Ve výrobku nejsou obsaženy: minerální olej, chlór, dusitany, štěpné produkty dusitanů, formaldehyd, štěpné produkty formaldehydu, triazin (HHT), bor, diethanolamin, NDELA, silikon, PCB, PCT, TCDD, a další látky obsahující dioxin.

Doporučená koncentrace Variabilní koncentrace 5 - 15 %
optimální výsledky jsou dosaženy při koncentraci 8%-12%

Pokud se předpokládá výrazná kumulace solí v emulzi, doporučujeme použití vody o max. tvrdosti 5° dH.

Velikost balení 10/25/200 litrů

Údaje uvedené v tomto katalogovém listu jsou založeny na námi známých vlastnostech a možnostech použití produktu.
Na základě těchto údajů nemohou být všeobecně vzneseny žádné právní nároky



Art.No 1101 - 04

Grindex 10

Description

Grindex 10 is a synthetic, water miscible, mineral oil free cutting fluid for grinding.

Range of application

Grindex 10 is designed for grinding cast iron and steel alloys. It is also suitable for machining glass and ceramic materials.

Product properties

Good rinsing behaviour



Excellent foam behaviour



Efficient corrosion protection



Good settling behaviour



Benefits

keeps grinding wheels and machines clean

suitable for high pressure and high wheel peripheralspeeds

no corrosion even at low concentrations

grit and fines don't remain in suspension

Physical-chemical data

Concentrate

Colour yellow

Mineral oil content 0%

Water content 40%

Density at 20°C 1.12 g/cm³

pH-value

Refractometer factor

Solution

transparent, yellowish

8.7 - 9.2

1.6

Note

The product does not contain:

EP additives containing sulphur, chlorine, zinc or phosphor, boron compounds, nitrite, nitrite releasing substances, secondary amines, diethanolamine, nitrosamines, formaldehyde, formdehyde releasing substances, heavy metals, PCP, PCB, PCT, TCDD or other dioxin-containing substances.

Concentration of use

Variable concentrations from 3% to max. 7% (Refractometer reading: 1.8 - 4.3)

For central systems: 4% (Refractometer reading: 2.5)

Before the first filling of a central system, please contact the customer service of Blaser Swisslube for further support.

Packaging units

4 / 47 Gal.

Information contained in this data sheet is based upon the properties and applications of use as known to us. However, generally no legal liability may be deducted from such information.

0687 09.03.2011 V 09

ISO 9002 Reg.Nr. US96/0693

Blaser Swisslube Inc.

31 Hatfield Lane, Goshen, New York 10924 • Tel. (845) 294-3200 • Fax (845) 294-3102
www.blaser.com

Blaser.
SWISSLUBE



HOCUT 795 B

Vodou ředitelná kapalina na opracování kovů

POPIS

Produkt HOCUT 795 B představuje pokročilou technologii vysoce mazivé emulze, neobsahující bór a formaldehyd, poskytující velmi dlouhou životnost náplně stroje a zvyšující výkon obrábění ve srovnání s běžnými produkty.

POUŽITÍ

Produkt HOCUT 795 B je doporučen pro obtížné obrábění všech materiálů z leteckého průmyslu včetně citlivých slitin hliníků, titanu, inconel a legovaných ocelí a má řadu certifikátů globálního leteckého průmyslu.

Emulze s vysokou mazací schopností poskytuje výborné obráběcí charakteristiky s prodlouženou životností nástroje pro materiály z leteckého průmyslu.

Velmi dlouhá životnost činí produkt vhodný jak pro centralizované systémy, tak i stroje se samostatnou emulzní nádrží, kdy pokročilá technologie neobsahující sloučeniny boru prodlužuje životnost emulze bez nutnosti pravidelného biologického ošetření.

Produkt je navržen hlavně pro měkké vody.

Produkt HOCUT 795B je celosvětově nejprodávější chladicí kapalina v leteckém průmyslu a je schválena společnostmi Rolls Royce, Boeing, BAE Systems, Airbus, United Engines, SNECMA, Bombardier, Goodrich, NASA, Messier Dowty, VIAM.

DOPORUČENO PRO POUŽITÍ

Středně náročné obrábění 5–7 %

Náročné obrábění 8–10 %

Náročné broušení 6–10 %

OBVYKLÉ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

Vzhled koncentrátu	Zamížený jantarový olej
Specifická hmotnost při 20°C	0,94
Faktor refraktometru	1,1
Vzhled emulze	Opalizující
pH při použití	8,7–9,2

VÝHODY

- Vysoká mazací schopnost – propracovaná směs minerálního oleje a polárních aditiv prodlužuje životnost nástroje
- Velmi dlouhá životnost emulze – speciální technologie „795“ prodlužuje intervaly mezi čistěními
- Velmi stabilní emulze – nižší ošetřování aditivity a nižší náklady na používání
- Bez bóru – bez klasifikace SVHC v REACH
- Brání zabarvení hliníku při dlouhých cyklech – kvalitnější součásti a méně zmetků
- Velmi nízká pěnovitost – ideální pro maximální rychlosti a tlaky v měkkých vodách
- Neobsahuje bór, formaldehyd, chlór a fenol. Obsahuje pouze schválené aminy TRGS611 – vynikající profil EHS

SOUVISEJÍCÍ PRODUKT

Vodou rozpustné chladicí kapaliny jsou doplňovány celou řadou vysoce kvalitních, speciálních kapalin, včetně energeticky úsporných mycích chemikálií, málo se zamlžujících řezacích olejů, přípravků proti korozi bez obsahu VOC a kapalin pro tepelné zpracování s dlouhou životností. Služby péče o kapaliny doplňují naše portfolio služeb s přidanou hodnotou řadou odborných služeb a vybavení, které pomáhá snižovat náklady a zlepšuje produktivitu. Pro další informace kontaktujte místního zástupce společnosti Houghton.

SKLADOVÁNÍ

Informace o manipulaci a skladování, včetně skladovací doby, naleznete v části 7 bezpečnostních datových listů. Produkt je nutné skladovat zakrytý v čistém a suchém prostředí a chránit před mrazem. Doporučená teplota pro skladování je obvykle mezi 5 °C a 40 °C, není-li uvedeno jinak. Používejte postup výměny ze skladu po dodání (FIFO).

ZDRAVÍ A BEZPEČNOST

Bezpečnostní datové listy jsou k dispozici v souladu s předpisy (ES) č. 1907/2006 dodatek II, kde látky nebo přípravky splňují kritéria v souladu se směrnicí 67/548/EHS nebo 1999/45/ES.

RF19/09/2012CZ



HOUGHTON™

Tento dokument obsahuje informace založené na údajích, u kterých věříme, že jsou správné. Produkt však nemusí být použitelný ve všech případných situacích a provozních prostředích. K dispozici nejsou žádné vyjádření nebo vyplývající záruky.



CIMCOOL®

METALWORKING FLUIDS

CIMSTAR® 620 NFM

SEMISYNTHETIC, METALWORKING FLUID CONCENTRATE

APPLICATIONS	CIMSTAR® 620 NFM is a clear, amber, water miscible, preformed micro-fine emulsion type cutting fluid concentrate. CIMSTAR® 620 NFM is a general purpose cutting fluid recommended for medium to heavy-duty grinding and machining of all ferrous and most non-ferrous metals. It is especially suitable for aluminum alloys. CIMSTAR® 620 NFM is a product designed for use in individual machines and central systems. CIMSTAR® 620 NFM is specifically designed for use in soft water (< 50 ppm total hardness) Metals: Aluminum alloys, Cast Iron, Nodular Iron, Carbon Steels, High Speed Steel, High Alloy Steels, Stainless Steels Duty Range: For moderate to heavy duty operations
FEATURES & BENEFITS	LONGEVITY - Long fluid life due to special product composition VERSATILE - Suitable for a wide range of materials and operations - Does not stain aluminum and aluminum alloys CLEANLINESS - Clean and mild product, giving a pleasant working environment - will not smoke or burn FOAM - Excellent foam control



RECOMMENDED STARTING DILUTIONS	FOR INDUSTRIAL USE ONLY Recommended Starting Dilution: 5% (1:20) Typical Operating Range: 5% (1:20) to 10% (1:10) For concentrations outside this range contact CIMCOOL® Technical Service at 513-458-8199. CIMSTAR® 620 NFM is to be mixed with water for use (add concentrate to water). Add no other substances to the concentrate or mix unless approved by CIMCOOL® Technical Services. Not recommended for use with magnesium or alloyed magnesium. For concentration analysis, use the MI Titration Procedure, Non-Solvent Titration Procedure, Total Alkalinity Titration Procedure, CIMCHEK™ Test Strip, or Refractometer.
TYPICAL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES	Physical state: Liquid Appearance and odor: Clear/Chemical Colors available: Undyed Solubility in water: 100% Miscible Weight, lb/gal, 60°F (15.6°C): 8.4 Specific gravity, (H₂O = 1): 1.01 Boiling point, °F (°C): 212 (100) Flash point, COC, °F (°C): None, Self Extinguishing Fire point, COC, °F (°C): None, Self Extinguishing Freezing point, °F, (°C): 23 (-5) If frozen, product separates. Thaw completely at room temperature and stir thoroughly. pH, concentrate: 9.4 pH, 5.0% mix, typical operating conditions: 9.0 Total chlorine/chloride, wt%, calculated: 0.00/ < 50 ppm Total sulfur, wt%, calculated: 0.16 Silicones: Yes
PACKAGING	Available in 5-gallon pails, 55-gallon drums, and bulk containers.
REFRACTOMETER FACTOR = 1.4. Multiply the scale reading obtained on your CIMCOOL® Metalworking Fluid or other acceptable refractometer by the Refractometer Factor to obtain the mix concentration in percent. NOTE: Calibrate the refractometer so that it reads 0.0 with water, before testing the sample mix. Remove gross contaminants from the sample mix before testing. For additional information concerning CIMSTAR® 620 NFM, refer to its OSHA MSDS or contact CIMCOOL® Technical Services at 1-513-458-8199. Reprints/Updates of this Product Information Flyer (PIF) can be found on our web site, WWW.CIMCOOL.COM or from your Milacron representative. Minor formulation changes or normal variations in the manufacture of this product may cause slight variances in the data presented on this sheet. Consumable Products Division/ Milacron Marketing Company Cincinnati, Ohio 45209 PC-9998 12/4/06	





Paramo EOPS 3030

Polosyntetická obráběcí kapalina vybavená výkonnou AW a EP přísadou, která kapalinu předurčuje pro operace zejména do materiálů se zhoršenou nebo velice špatnou obrobitelností. V těchto materiálech zvládá i složité obráběcí operace, jako je vnitřní a vnější závitování a vystružování. Při vyšších koncentracích je její výkonnost dostatečná i pro složité obráběcí operace, jako například hluboké vrtání kovů, kde je obráběcí technologie koncipovaná pro obráběcí kapaliny mísitelné s vodou.

Paramo EOPS 1030

Polosyntetická univerzální obráběcí kapalina s vyváženým chladicím a mazacím účinkem. Určená je pro široké spektrum obráběcích operací jak nástroji s přesně definovanou geometrií, tak i s nástroji, kde geometrie břitu není přesně definována. Broušení měkkých ocelí, bezhroté broušení měkkých i tepelně zpracovaných ocelí, soustružení, frézování, obrábění osovými nástroji na obráběcích centrech i univerzálních obráběcích strojích.

Paramo ERO 1070

Velice stabilní plně minerální obráběcí kapalina zejména pro obrábění na univerzálních obráběcích strojích. Při zvýšené péči věnované její údržbě je vhodná i pro provoz v obráběcích centrech. Její výrazný mazací účinek nachází uplatnění při obrábění lehkých slitin, špatně obrobitelných ocelí a slitin barevných kovů. V těchto materiálech zvládá při vyšších koncentracích i velice obtížné obráběcí operace.

TYPICKÉ PARAMETRY	Kinematická viskozita základního oleje při 40 °C (mm ² /s)	pH 5 % emulze v destilované vodě při 20 °C	Hustota při 15 °C (kg/m ³)	Korozní zkouška na filtr. papíře 4% obj. emulze	Faktor pro ruční refraktometr	Doporučené koncentrace	Doporučená tvrdost vody (°N)
PARAMO EOPS 3030	6 5	9,4	9 7	vyhovuje	1, 2	5–10	0–21 (max. 35)
PARAMO EOPS 1030	7 5	9,4	9 7	vyhovuje	1,1	5–10	0–21 (max. 35)
PARAMO ERO 1070	30–50	9,3	9 3	vyhovuje (5 %)	1, 0	5–10	7–21



PŘÍLOHA 4:

CNC PROGRAM – SOUSTRUH CHEVALIER

- Pro polotovary z korozivzdorné oceli 17 240 o průměru 150 mm a délky 500 mm. Program byl napsán tak, aby po každém přejetém úseku soustružnický nůž upnutý v nožové hlavě odjel z místa řezu (tedy od obrobku) a bylo možno změřit opotřebení destičky na hřbetu nástroje, tedy změřit VB. Celkově tedy byl polotovar rozdělen na 9 částí po 50 mm. Toto platilo pro korozivzdornou ocel.

- (P1=0); POČET PRŮCHODŮ
- (P2=-151.5-P1*1.0)); VÝCHOZÍ PRŮMĚR BYL 151.5 mm
- (P3=-455+0,4*P1); CELKOVÁ DÉLKA OBRÁBĚNÍ
- (P4=P2+6.0) ; VÝPOČET BEZPEČNÉHO PRŮMĚRU PRO ODJETÍ
- G71 G18 G90
- G59
- G96 S300 ;M/MIN
- G92 S600
- M3 M8
- G0 X250. Z3. ;BEZPEČNÝ BOD NAJETÍ K OBROBKU
- G1 XP2 F0.8 ;NAJETÍ NA POŽADOVANÝ PRŮMĚR DLE PARAMETRU
P1
- G1 Z-50. F0.1
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00



- M3 M8
- G0 XP4 Z-48.
- G1 XP2
- G1 Z-100.
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00
- M3 M8
- G0 XP4 Z-98.
- G1 XP2
- G1 Z-150.
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00
- M3 M8
- G0 XP4 Z-148.
- G1 XP2
- G1 Z-200.
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00
- M3 M8
- G0 XP4 Z-198.
- G1 XP2
- G1 Z-250.



- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00
- M3 M8
- G0 XP4 Z-248.
- G1 XP2
- G1 Z-300.
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00
- M3 M8
- G0 XP4 Z-298.
- G1 XP2
- G1 Z-350.
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00
- M3 M8
- G0 XP4 Z-348.
- G1 XP2
- G1 Z-400.
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- M05 M9 M00
- M3 M8



- G0 XP4 Z-398.
- G1 XP2
- G1 ZP3
- G1 XP4 ;VYJETÍ NA BEZPEČNÝ PRŮMĚR + ZAROVNÁNÍ
- G0 X380.
- G0 Z2.
- M05 M9
- M30



PŘÍLOHA 5:

Protokol Reichert test



VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE
Fakulta technologie ochrany prostředí
Ústav technologie ropy a alternativních paliv

Ing. Roman Licek
PRECIOSA ORNELA, a.s.
Zásada 317
468 25 ZÁSADA

Ing. Lukáš Matějovský
ÚTRAP
Technická 5
166 28 Praha 6 - Dejvice

V Praze dne 18. července 2016

Mazivost emulzí – Reichert test

Test mazivosti emulzí byl proveden na oceli 14 220 a 17 240. Testovací válečky z těchto dvou materiálů byly zhotoveny a dodány spolu s emulzemi firmou PRECIOSA ORNELA, a.s. Při stanovení byl použit standardní ocelový brusný prstenec s označením 150023, který je dodáván firmou Petrotest. Test byl prováděn za podmínek: chlazení testovací nádoby na 10 °C, rychlost otáčení brusného prstence 1,7 m/s, délce třecí dráhy 100 m a zatížení 0,5 kg. Každá emulze byla měřena minimálně třikrát. V tabulce níže jsou uvedeny průměrné hodnoty.

Ocel 14 220				
Emulze č.	Pevnost mazacího filmu (kp/cm ²)	Plocha elipsy (mm ²)	Úbytek hmotnosti válečku (mg)	Noise meter (m)
1	184	16	11,6	37
2	157	19	14,3	20
3	212	14	8,4	38
4	294	10	3,6	13
5	53	57	153,1	48
6	162	19	13,2	30
7	192	16	9,1	35
8	83	36	59,3	---
9	176	17	10,9	42
10	159	19	12,1	55
11	257	12	4,4	33
Slepý pokus**	49	62	193,6	---

*ztišení hluku nebylo zaznamenáno

**testování provedeno na vodě

Tel.: +420 220 445 069, e-mail: lukas.matejovsky@vscht.cz, www.vscht.cz

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, veřejná vysoká škola zřízená zákonem č. 111/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů, se sídlem Technická 5, 166 28 Praha 6 - Dejvice, IČ: 60461373, DIČ: CZ60461373. Bankovní spojení: ČSOB, číslo účtu: 130197294/0300.



Ocel 17 240*			
Emulze č.	Pevnost mazacího filmu (kp/cm ²)	Plocha elipsy (mm ²)	Úbytek hmotnosti válečku (mg)
1	75	40	93,5
2	70	43	102,9
3	66	46	115,9
4	77	39	88,5
5	99	30	47,9
6	73	41	98,9
7	73	41	101,8
8	100	30	50,5
9	71	42	72,7
10	77	39	87,3
11	75	40	93,8
Slepý pokus**	57	53	147,8

*dráha uražená do poklesu hluku (Noise meter) nebyla zaznamenána

**testování provedeno na vodě

VYSOKÁ ŠKOLA
CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE
Ústav technologie ropy a alternativních paliv
Technická 5, 166 28 Praha 6
215/1

V.2.

prof. Ing. Milan Pospíšil, CSc.
vedoucí ústavu

Tel.: +420 220 445 069, e-mail: lukas.matejovsky@vscht.cz, www.vscht.cz

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, veřejná vysoká škola zřízená zákonem č. 111/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů, se sídlem Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, IČ: 60461373, DIČ: CZ60461373. Bankovní spojení: ČSOB, číslo účtu: 130197294/0300.



PŘÍLOHA 6:

STÁŽ NA UNIVERZITĚ V PORTUGALSKU - KRESLENÍ TRIBOMETRU BALL ON DISC

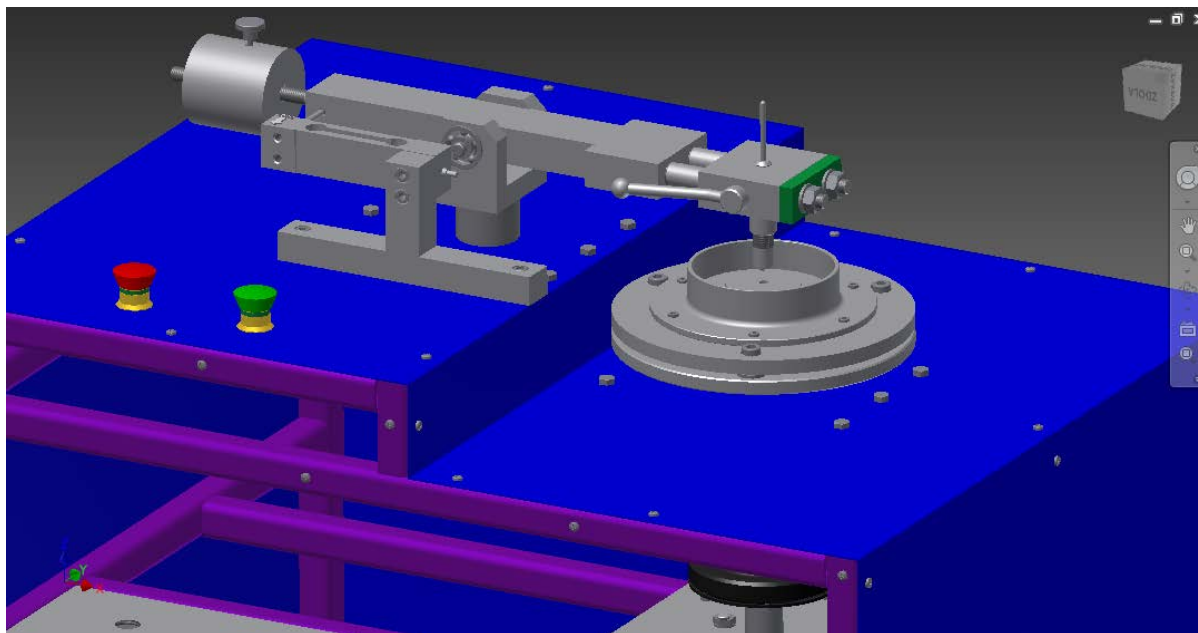
Na univerzitě Minho v Portugalsku jsem získal v prvním semestru studia spoustu informací o vědě, která se nazývá „Tribologie“. Studoval jsem různé odborné články o této vědě, o konstrukci tribometru, měření veličin, atd. K měření tribologických veličin (parametrů) se používají tribometry. Tribometr lze obecně definovat jako laboratorní zařízení, které umožňuje provádět různá tribologická měření. Zejména tedy měření koeficientu tření, míry opotřebení, či tloušťky mazacího filmu a dalších parametrů. Protože v reálných aplikacích se vyskytuje velké množství kombinací třecích kontaktů mezi nejrůznějšími materiály a tvary povrchů provozovaných za různých podmínek, je třeba v laboratořích simulovat co nejvíce těchto případů. Tato zařízení patří mezi základní technologie měření, které se používají v současném tribologickém výzkumu.

Dále jsem se zabýval návrhem konstrukce jednoduchého tribometru, jednalo se o konstrukci PIN (BALL)-ON-DISC. Hlavními prvky tribometru jsou zatěžovací tělísko a vzorek, z nichž vzorek koná rotační nebo reciproční pohyb a zatěžovací tělísko je statické (výjimkou však není ani současný pohyb tělíska a vzorku). Tyto prvky společně realizují třecí kontakt. Důležitou součástí tribometru je také příslušenství, které umožňuje pohyb vzorku, jeho zatěžování, či dodávku maziva do třecího kontaktu. Moderní tribometry jsou dále vybaveny měřicím aparátem v podobě nejrůznějších senzorů a čidel, které umožňují monitorování a kontrolu podmínek měření.

Negativním vlivem jsou vibrace, jenž mohou nastat při testu, což způsobí odchylky v měření třecí síly. Vibrace nastávají např. vlivem špatných ložisek ve stroji či nedokonalým upnutím vzorků. Rám tribometru by proto měl být dostatečně tuhý.

Tribometr byl rýsován pod vedením prof. João Pedro Mendonça Assunção Silva v programu Autodesk Inventor Professional 2012, kde byl navržen 3D model a byly rozkresleny všechny potřebné výkresy pro výrobu tohoto zařízení. Tento tribometr byl narýsován dle konstrukce tribometru na

univerzitě v Coimbre a v Minhu, který však obsahoval mnoho zlepšení, např. servomotor + měnič napětí pro plynulou regulaci otáček. Pohon je řízen měničem pomocí komunikačního rozhraní RS 232, dále lze měnit průměr pinu zkušebního tělíska (více nástavců), také lze použít pro měření procesní kapalinu nebo olej, protože vzorek se umístí do nádoby a miskou lze vyměnit viz obr. 1.

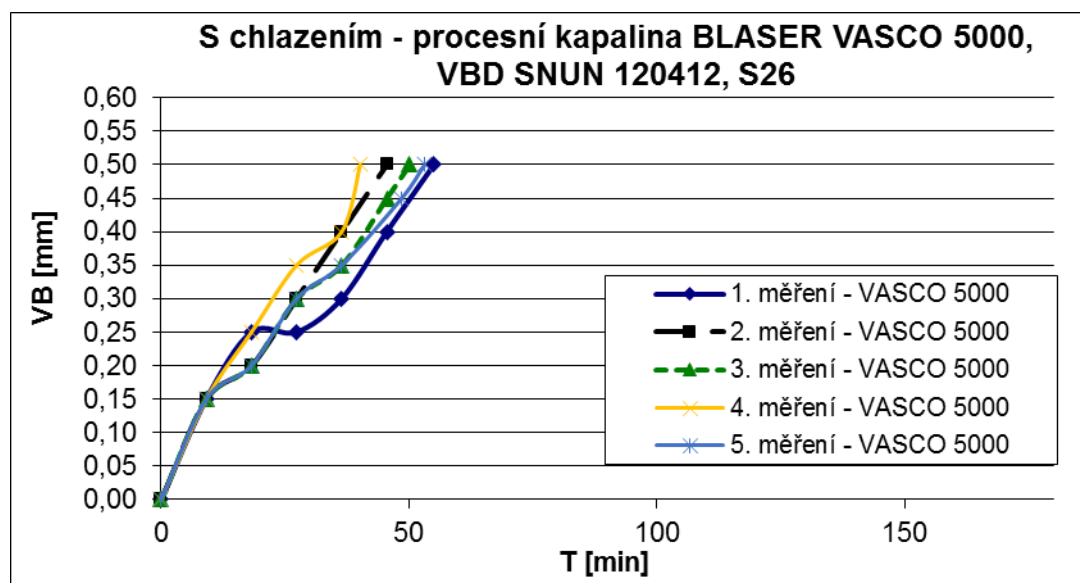
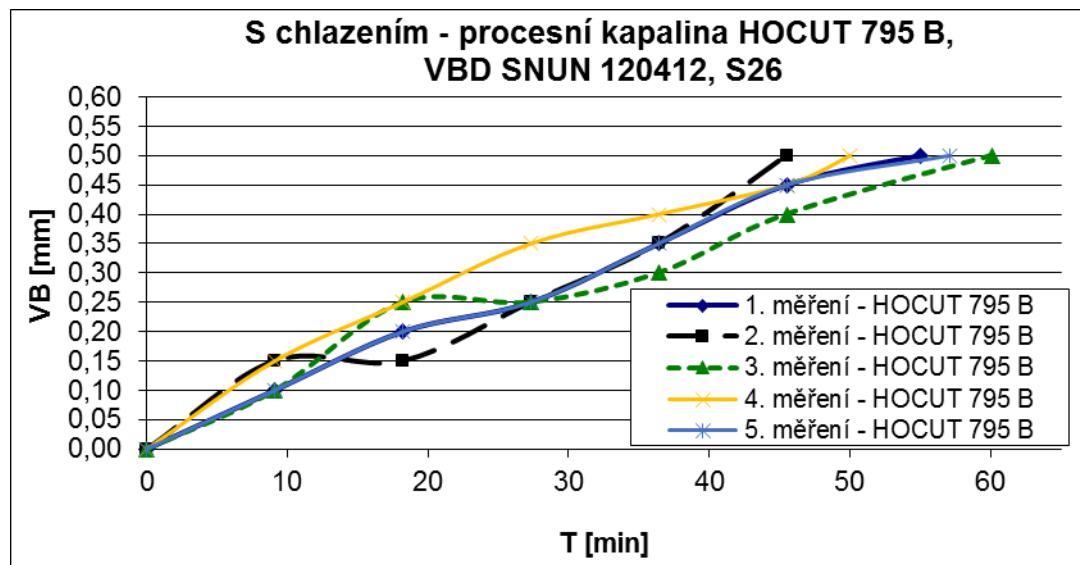


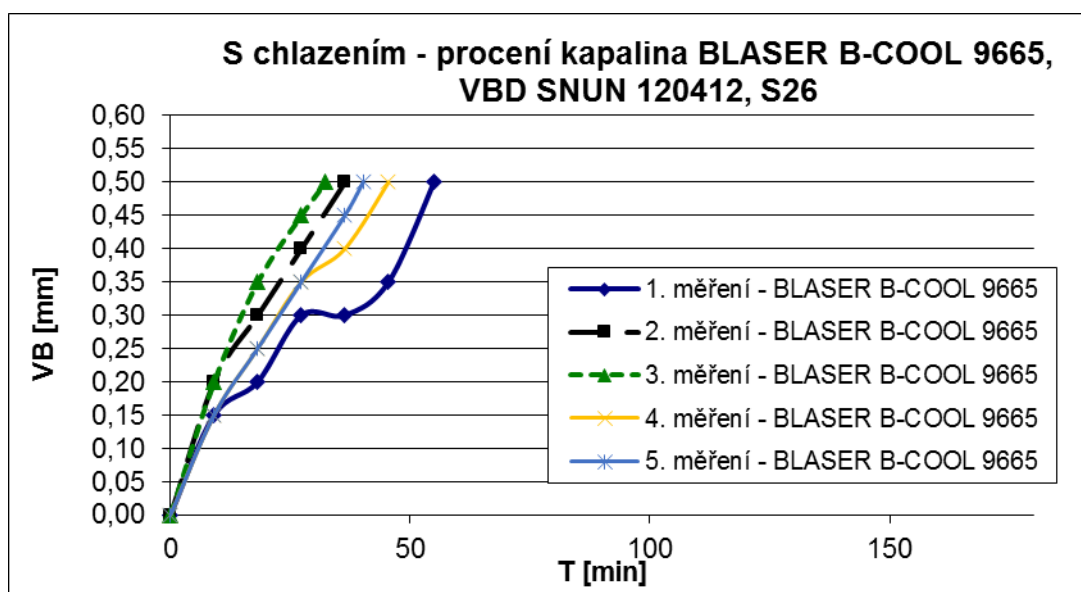
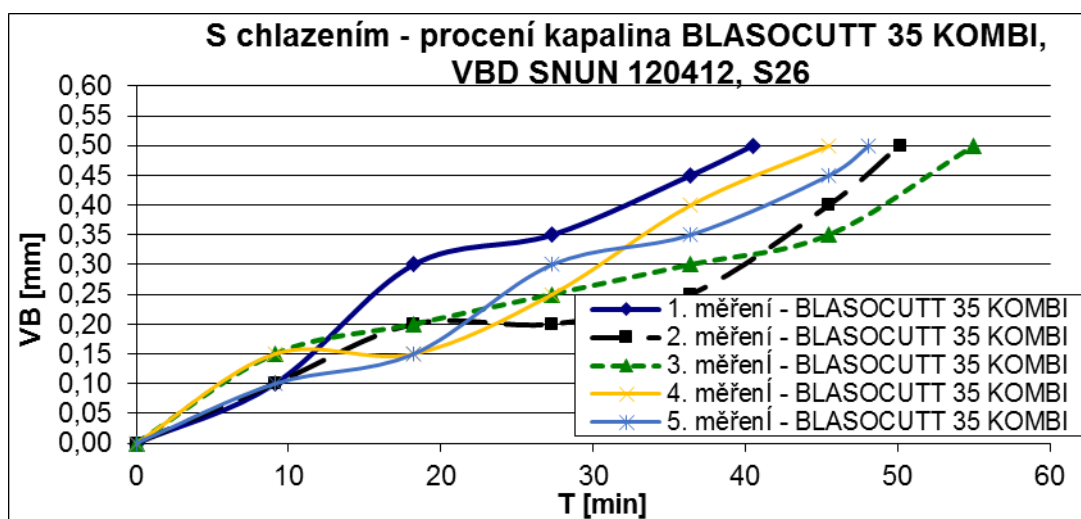
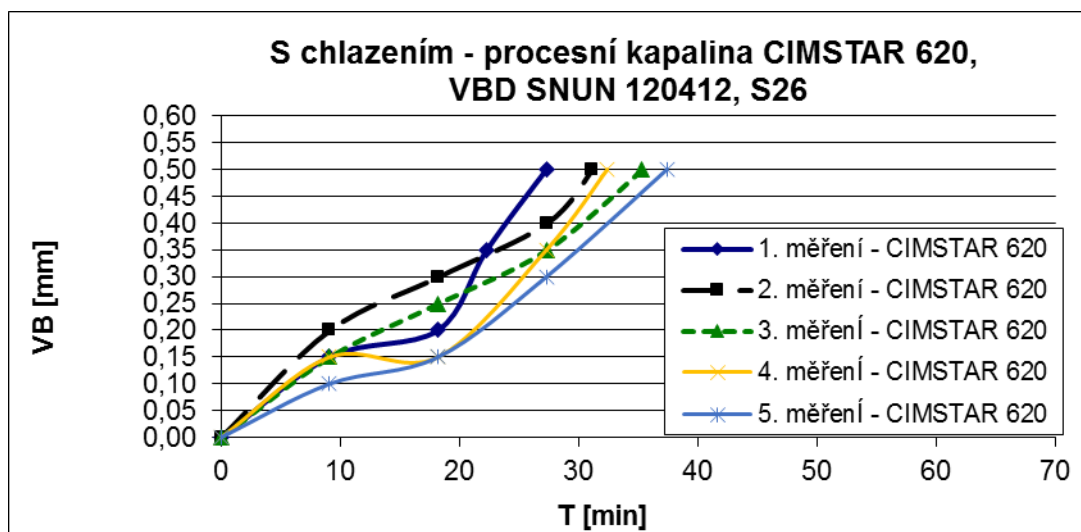
Obr. 1. Inovace tribometru

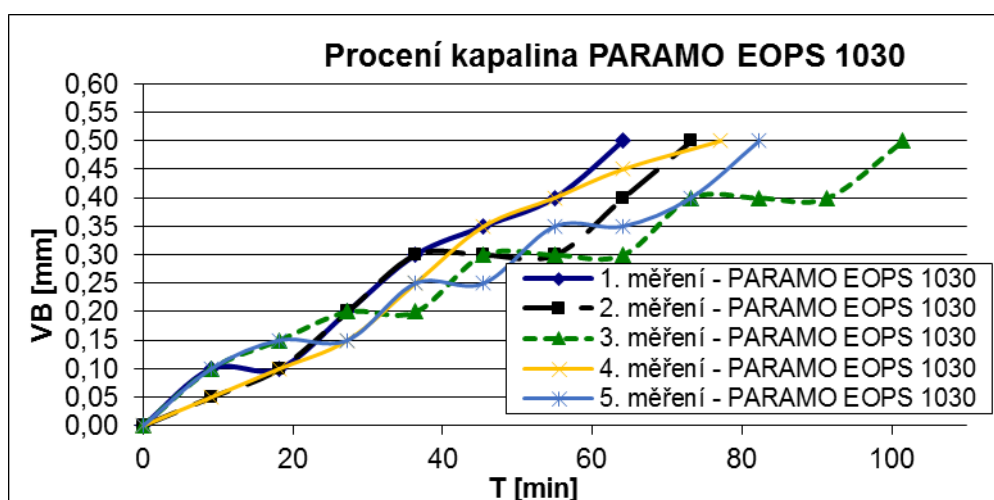
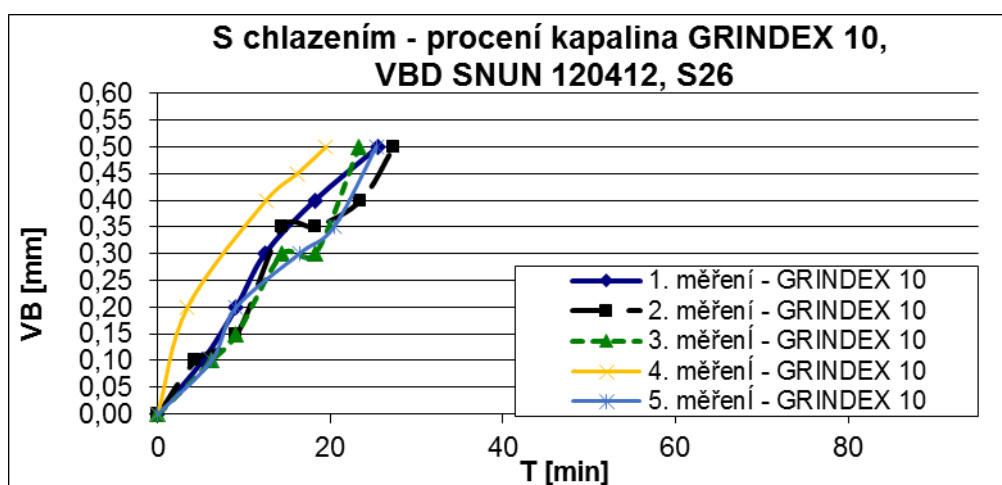
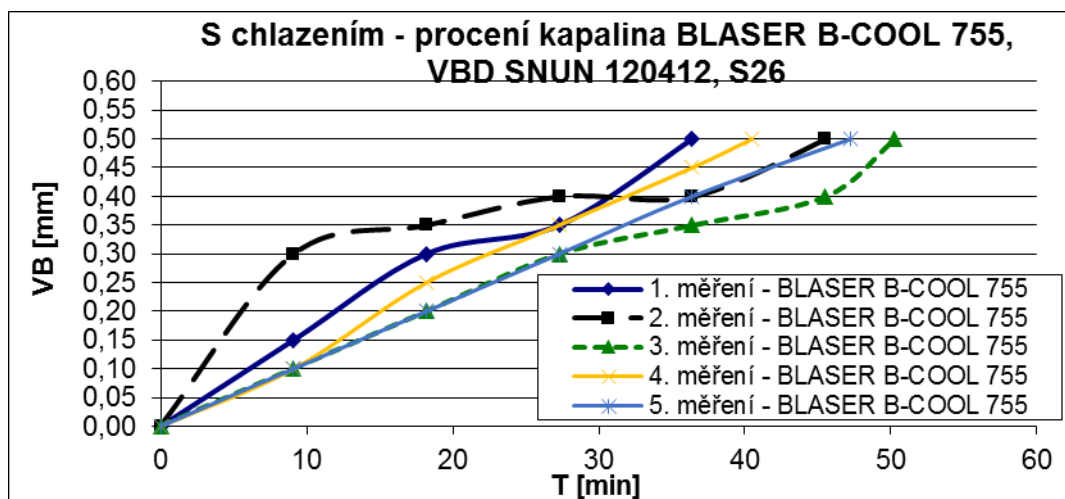
V druhém semestru jsem se zabýval testováním VBD bez povlaku, s povlakem od Sandviku a se speciálními čtyřmi různými povlaky vyrobenými na univerzitě Minho a na univerzitě v Coimbre pod vedením Prof. Carvalho z katedry Phisica. Tyto povlakované destičky byly testovány při soustružení na CNC soustruhu Hawk 150. Destičky byly testovány jak za sucha, tak i s procesní kapalinou na velmi tvrdém materiálu, byla zde sledována trvanlivost, která byla stanovena na 10 min, při stejně zvolených řezných podmínkách. Bylo změřeno opotřebení VBD metodou SEM na univerzitě v Braze. Též byla změřena tvrdost VBD z WC/Co.

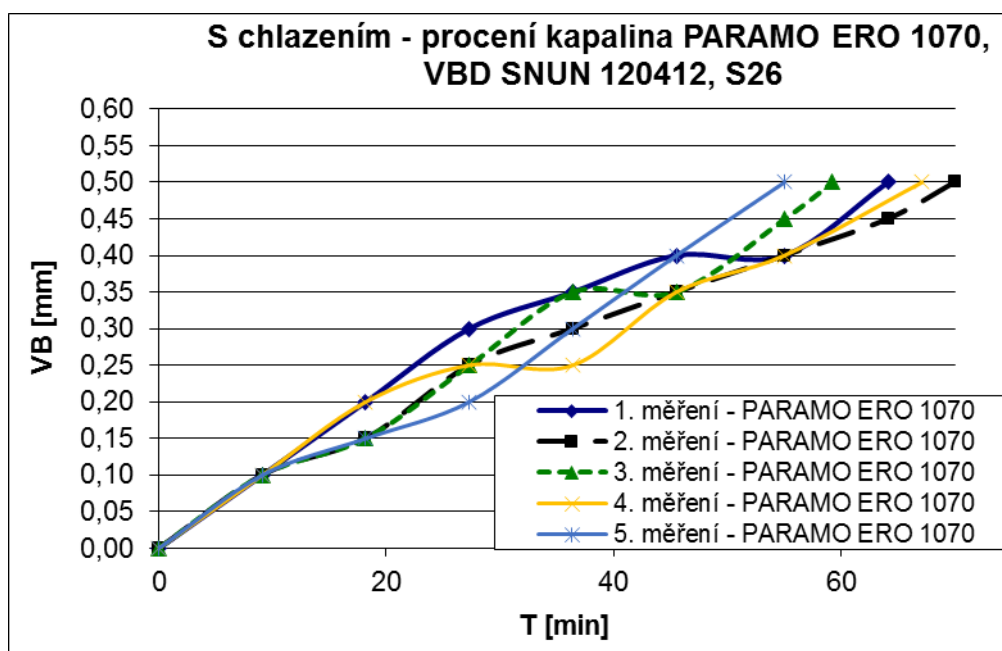
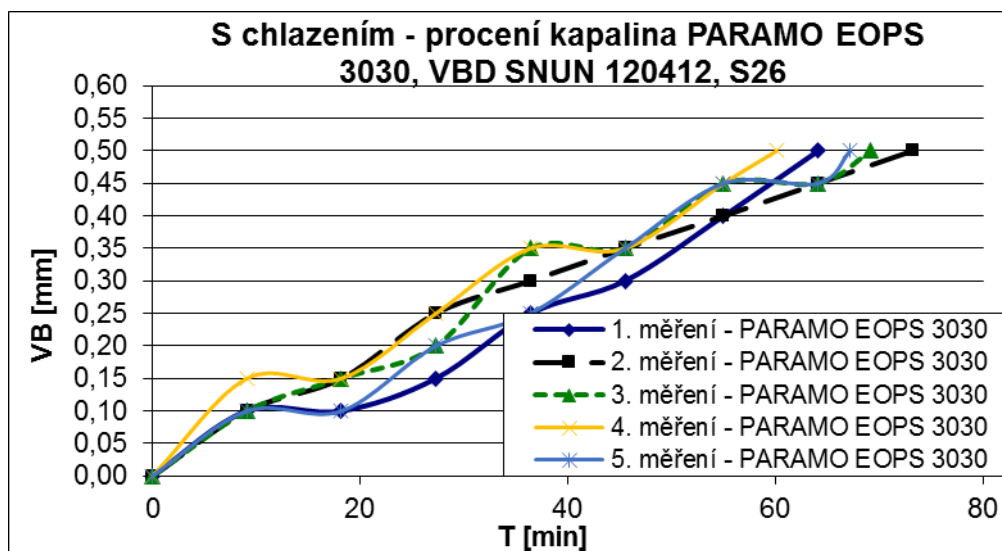
PŘÍLOHA 7:

Křivky vlivu trvanlivosti bříty nástroje při frézování pro opotřebení na hřbetu $VB=0,5$ mm, konstrukční ocel 14 220.3.

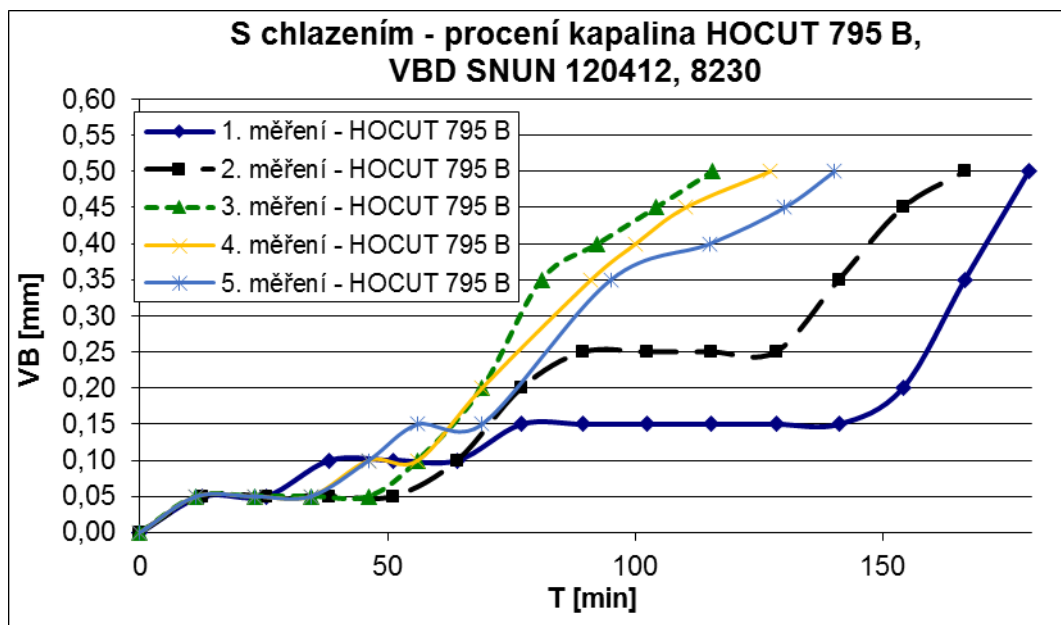
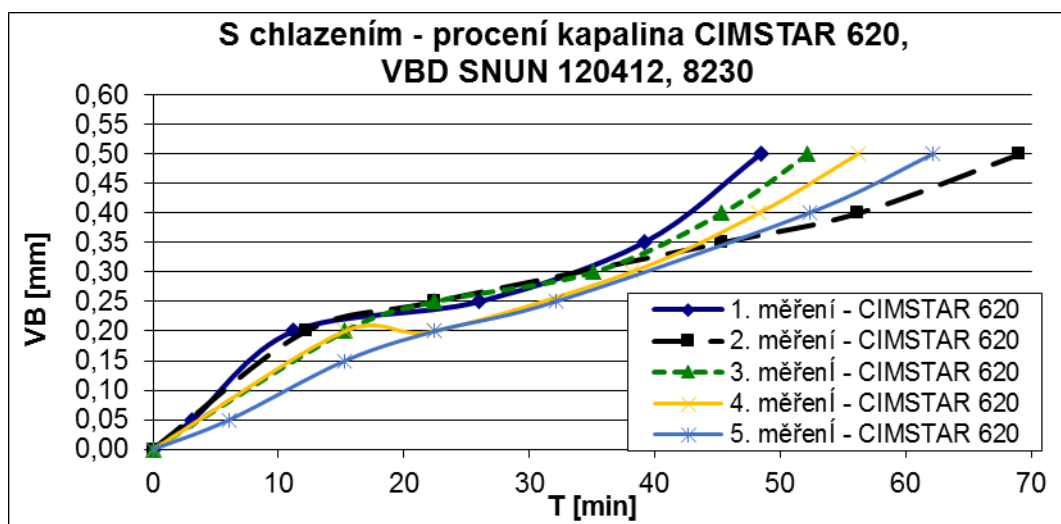
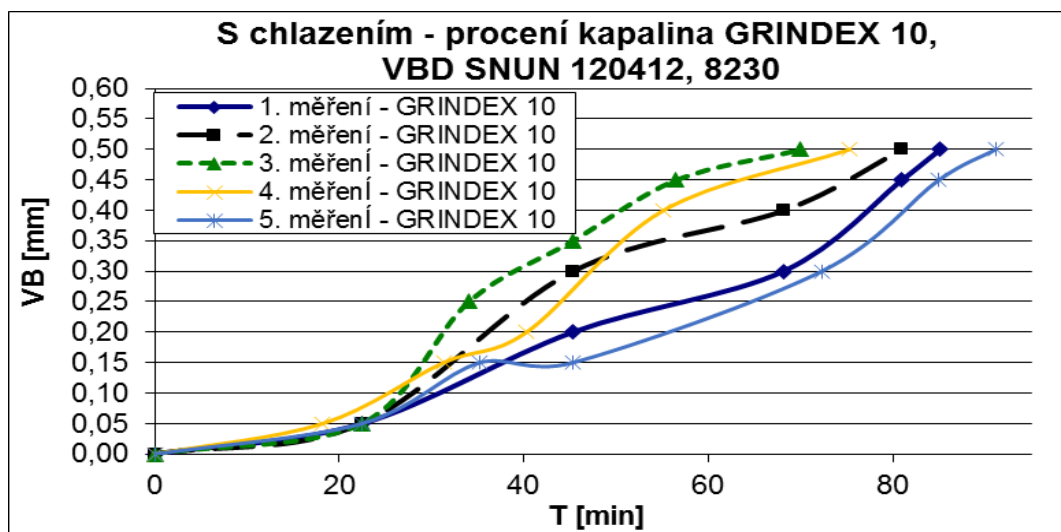


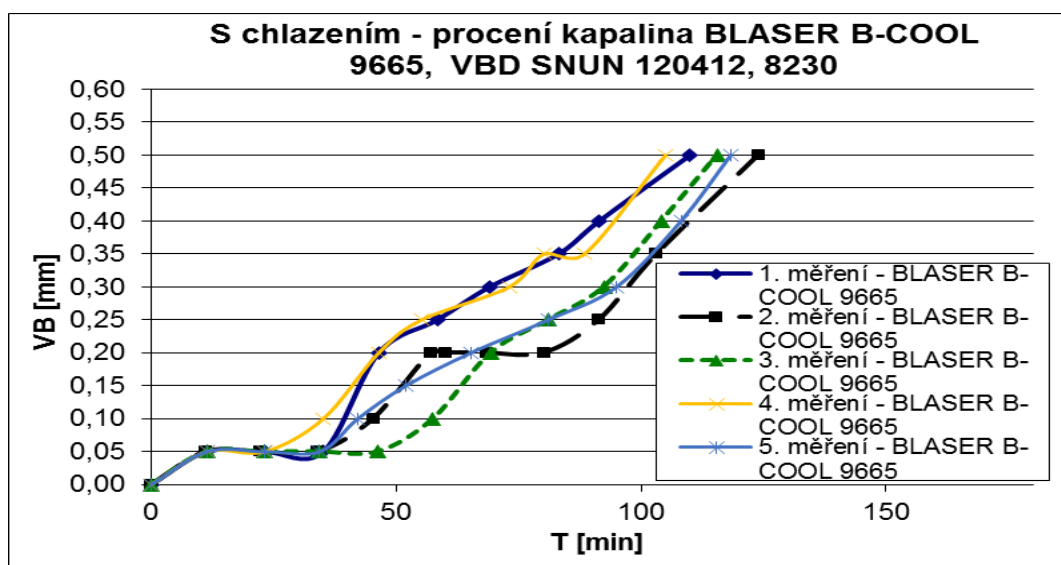
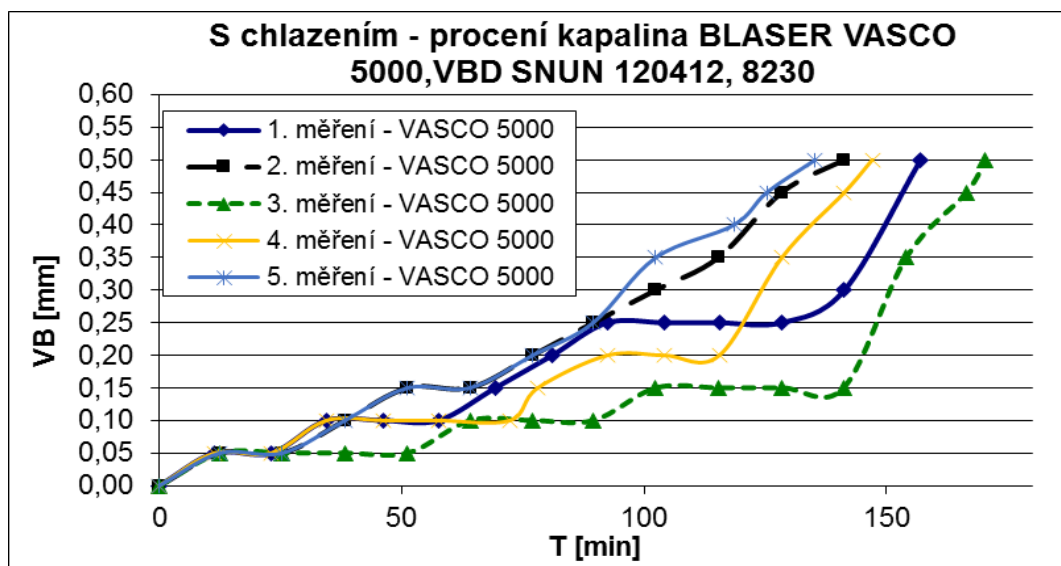
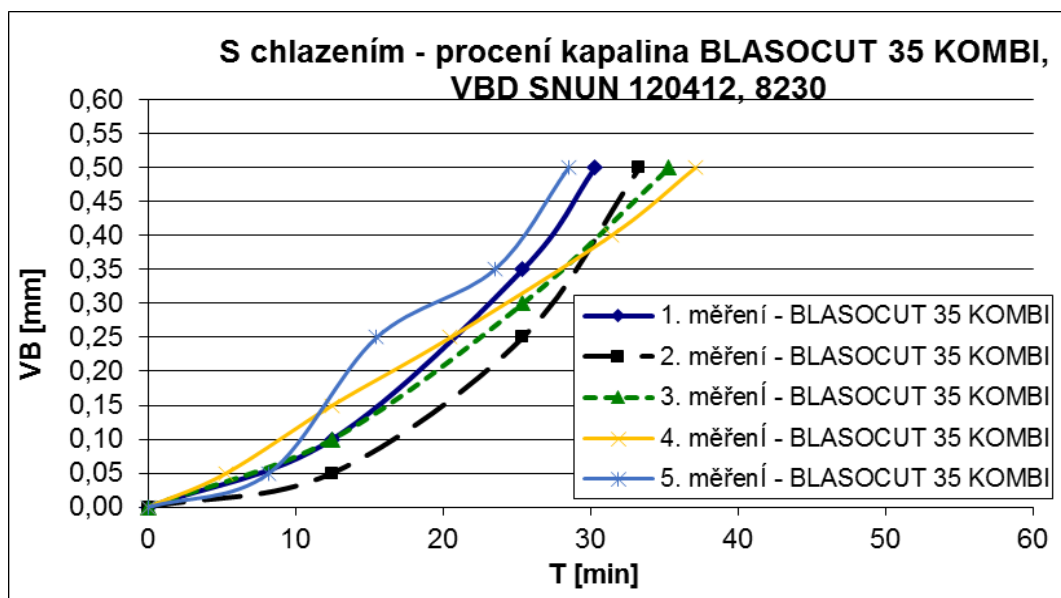


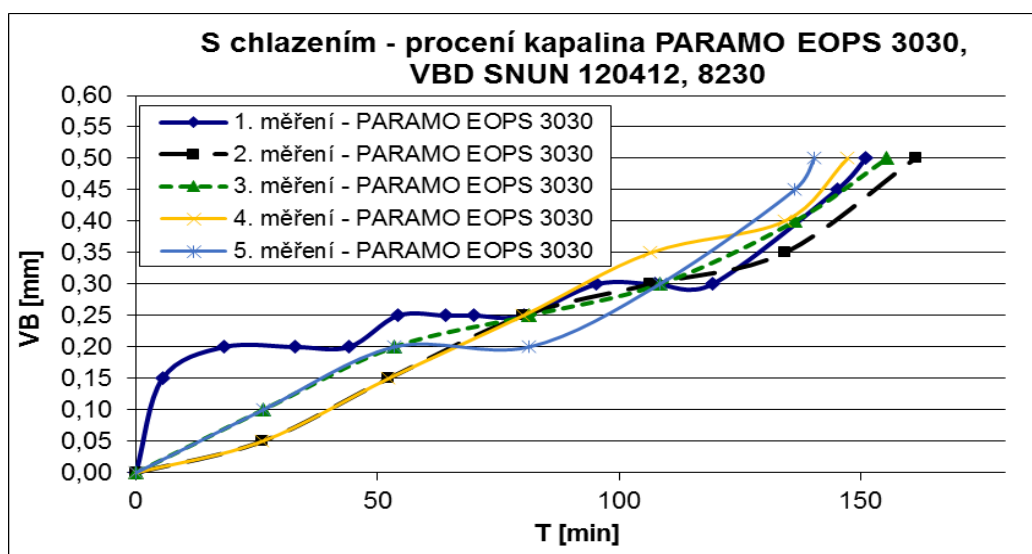
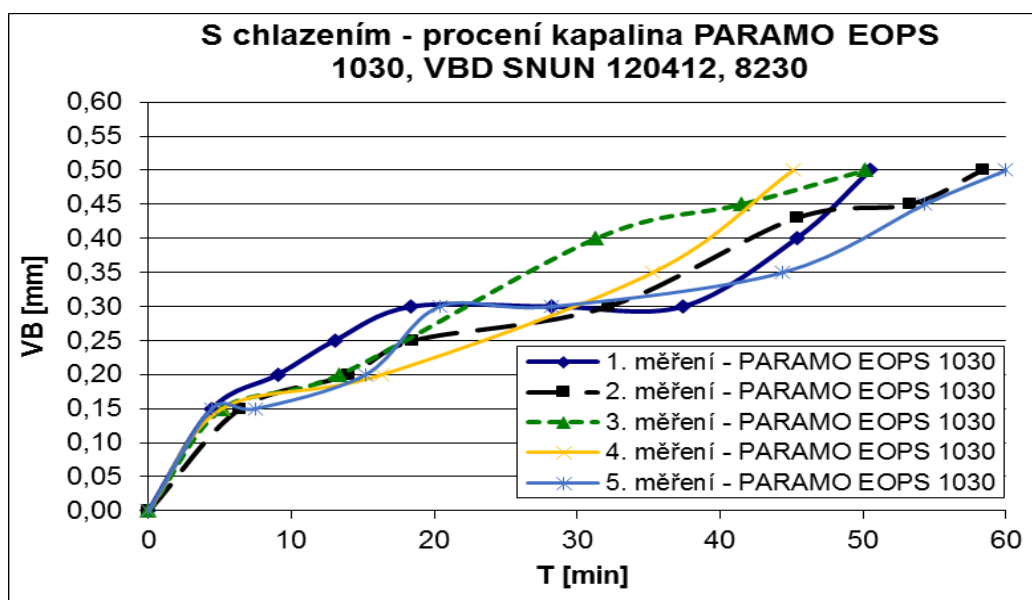
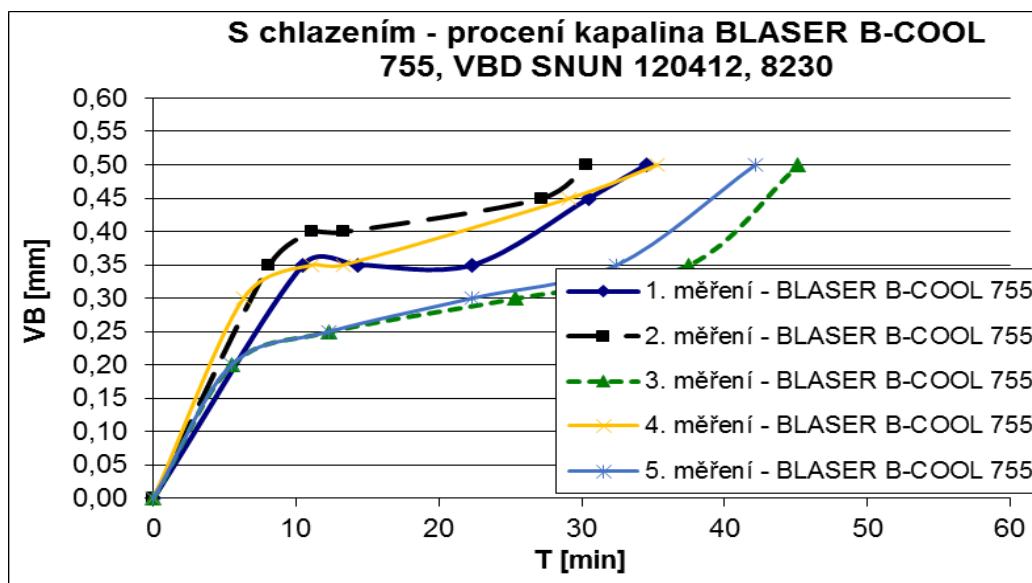




B) Křivky vlivu trvanlivosti bříty nástroje při frézování pro opotřebení na hřbetu VB=0,5 mm, korozivzdorná ocel 17 240









PŘÍLOHA 8:

HODNOTY PRO VÝPOČET KOEFICIENTU KORELACE

Hodnoty použité při výpočtu korelačních koeficientů pro konstrukční a korozivzdornou ocel dle vzorce (7.1) v kapitole 7.2.

Vždy byla posuzována trvanlivost břitu nástroje při soustružení a frézování s krátkodobými laboratorními, tribologickými zkouškami jednotlivě pro každou metodu zvlášť (např. trvanlivost frézování a vrtání konstantní silou).

Tab. 1 Hodnoty pro výpočet korelačních matic u oceli 14 220.3

		TRVANLIVOST FRÉZOVÁNÍ	TRVANLIVOST SOUSTRUŽENÍ	VRTÁNÍ KONST. SILOU	BALL ON DISC	REICHERT TEST
1	B-COOL 755	44	15,3	25,452	0,171	162
2	B-COOL 9665	42	8,9	30,684	0,224	184
3	BLASOCUT 35 KOMBI	48	12	21,432	0,122	192
4	VASCO 5000	49	11,3	20,412	0,109	83
5	GRINDEX 10	24	7,9	27,468	0,299	157
6	HOCUT 795 B	54	11,4	21,724	0,133	53
7	CIMSTAR 620	33	13	23,44	0,116	257
8	EOPS 1030	80	13,7	28,008	0,104	212
9	EOPS 3030	67	10,2	19,968	0,149	294
10	ERO 1070	64	11,2	21,216	0,111	176

Tab. 2 Hodnoty pro výpočet korelačních matic u oceli 17 240

		TRVANLIVOST SOUSTRUŽENÍ	TRVANLIVOST FRÉZOVÁNÍ	VRTÁNÍ KONST. SILOU	BALL ON DISC	REICHERT TEST	ANTIAD- HEZNÍ ZKOUŠKA
1	B-COOL 755	15	37	51,756	0,133	73	1,1
2	B-COOL 9665	12,9	115	166,396	0,165	75	2,1
3	BLASOCUT 35 KOMBI	17	33	144,62	0,118	73	0,8
4	VASCO 5000	12	150	59,652	0,107	100	1,8
5	GRINDEX 10	18	81	125,736	0,309	70	1,5
6	HOCUT 795 B	18	146	85,024	0,123	99	0,7
7	CIMSTAR 620	18	58	34,084	0,112	75	0,4
8	EOPS 1030	12,9	53	94,236	0,15	66	0,6
9	EOPS 3030	13,6	151	82,584	0,125	77	1,3
10	ERO 1070	14,5	73	73,436	0,119	71	1,6



PŘÍLOHA 9:

Technické parametry stroje - svislá konzolová frézka TOS Olomouc typ FA4A-V, která byla použita pro zkoušení antiadhezní schopnosti kapalin.

Základní technické parametry stroje:

Výkon hlavního motoru:	7,5	[kW]
Maximální zatížení stolu:	350	[kg]
Vertikální vřeteno - rozsah otáček:	32-1400	[ot/min]
Pracovní zdvih:		
- podélný (X)	1000	[mm]
- příčný (Y)	355	[mm]
- svislý (Z)	425	[mm]
Posuvy:		
- počet stupňů	15	
- rozsah (X, Y)	10-1250	[mm/min]
- rozsah (Z)	2,5-315	[mm/min]
Hmotnost:	2730	[kg]
Zastavěná plocha:	3010x2230	[mm]
Výška:	2115	[mm]