



**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta strojní**

**Ústav technologie obrábění, projektování**

**a metrologie**

## **Bakalářská práce**

**Sjednocení rezných kapalin ve ŠKODA AUTO a. s.**

Vypracoval: **ANDRONOV Vladislav**

Místo: **Praha**

Rok: **2016**

Vysoká škola: ČVUT v Praze  
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Fakulta: strojní  
Akademický rok: 2015/2016

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Vladislava Andronova

obor Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Sjedenocení řezných kapalin ve Škoda Auto a.s.

Název anglicky: Unification of cutting liquids in Skoda Auto a.s.

Zásady pro vypracování:

1. Řezné kapaliny a jejich účinky.
2. Hodnocení vlastností řezných kapalin.
3. Analýza stavu ve Škoda Auto a.s.
4. Návrh experimentů pro hodnocení ve Škoda auto a.s.
5. Vyhodnocení a závěry.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Tomíček, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 1. 7. 2016

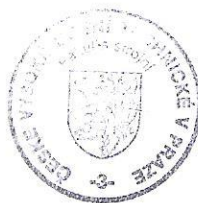
Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

*Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.*

Zadání bakalářské práce převzal dne: 21. 4. 2016

.....  
Diplomant

.....  
Vedoucí ústavu



.....  
Děkan

V Praze

dne 25. 4. 2016

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze 27. 6. 2016

Andronov Vladislav

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Tomíčkoví, Ph.D., mému vedoucímu bakalářské práce, který byl velice ochoten, poskytoval mi odborné rady, věnoval mi svůj čas a konzultoval danou problematiku po celou dobu řešení bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Martinu Pelcovi, mému konzultantovi ze společnosti ŠKODA AUTO, přes kterého jsem získával cenné informace ze společnosti pro zpracování této bakalářské práce.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou řezných kapalin s cílem vytvoření návrhu na sjednocení, či redukci počtu řezných kapalin ve společnosti ŠKODA AUTO. Byla provedená analýza stavu všech řezných kapalin používaných momentálně ve společnosti.

V experimentální části bylo porovnáno 5 řezných kapalin, které se specializují na obrábění hliníku. Při experimentu se vrtalo konstantní posuvovou silou a zaznamenával se čas vrtání, hodnota řezné síly a hodnota krouticího momentu. Po vrtání bylo provedeno měření jakosti povrchu jednotlivých děr. Na závěr byla uvedena nejlepší a nejhorší řezná kapalina z hlediska doby trvání vrtání, velikosti řezných sil, velikosti krouticího momentu a kvality povrchové vrstvy.

**Klíčová slova:** řezné kapaliny, procesní kapaliny, vrtání, sjednocení řezných kapalin, obrábění hliníku

## **Annotation**

This Bachelor's thesis deals with issues related to cutting fluids, with the goal of developing a proposal for unifying or reducing the number of cutting fluids for SKODA AUTO Ltd. To do this, the cutting fluids currently used by the company were analyzed. The experimental section consists of a comparison of five different cutting fluids, all of which are specialized for aluminium machining. During the experiment, a constant feed force drilled and recorded the time of drilling, the value of cutting force, and the value of the torque. After drilling, the surface quality of the individual holes was measured. The conclusion discusses the best and the worst cutting fluids in terms of duration of drilling, value of cutting force, value of torque, and quality of the surface layer.

**Keywords:** cutting fluids, process fluids, drilling, unification of cutting fluids, aluminium machining

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Řezné kapaliny a jejich účinky .....	10
2.1 Mazací účinek.....	13
2.2 Chladící účinek.....	16
2.3 Čisticí účinek.....	18
2.4 Další požadavky na řezné kapaliny .....	19
3. Rozdělení řezných kapalin.....	20
3.1 Řezné oleje .....	22
3.2 Olejové emulze.....	23
3.3 Syntetické a polosyntetické řezné kapaliny.....	24
4. Hodnocení vlastností řezných kapalin .....	25
4.1 Hodnocení řezných olejů.....	25
4.2 Hodnocení řezných kapalin na bázi vody.....	26
5. Vliv řezné kapaliny.....	27
5.1 Vliv na drsnost povrchu.....	27
5.2 Zpevnění obrobeného povrchu a tvrdost třísky.....	28
5.3 Pěchování třísky .....	28
5.4 Řezný odpor.....	29
5.5 Teplota řezání .....	30
5.6 Trvanlivost nástroje .....	30
6. Analýza stavu ve ŠKODA AUTO .....	31
6.1 PKT – Technický servis .....	32
6.2 PSW – Výroba nářadí a přípravků .....	35
6.3 PSZ/3 - Interní opravy.....	36
6.4 SE/6 - Střední odborné učiliště.....	36
7. Experimentální část.....	38



7.1	Návrh experimentu pro hodnocení ve ŠKODA AUTO.....	38
7.2	Vybrané řezné kapaliny .....	38
7.3	Obráběný materiál .....	39
7.4	Nástroj .....	40
7.5	Stroj .....	41
7.6	Zařízení pro měření sil.....	42
7.7	Drsnoměr .....	44
7.8	Měření časů vrtání, řezných sil a krouticího momentu .....	45
7.9	Měření drsnosti .....	52
8.	Vyhodnocení a závěr.....	55
8.1	Vyhodnocení experimentální části .....	55
8.2	Závěr.....	56
	Seznam použité literatury .....	58
	Seznam příloh.....	60

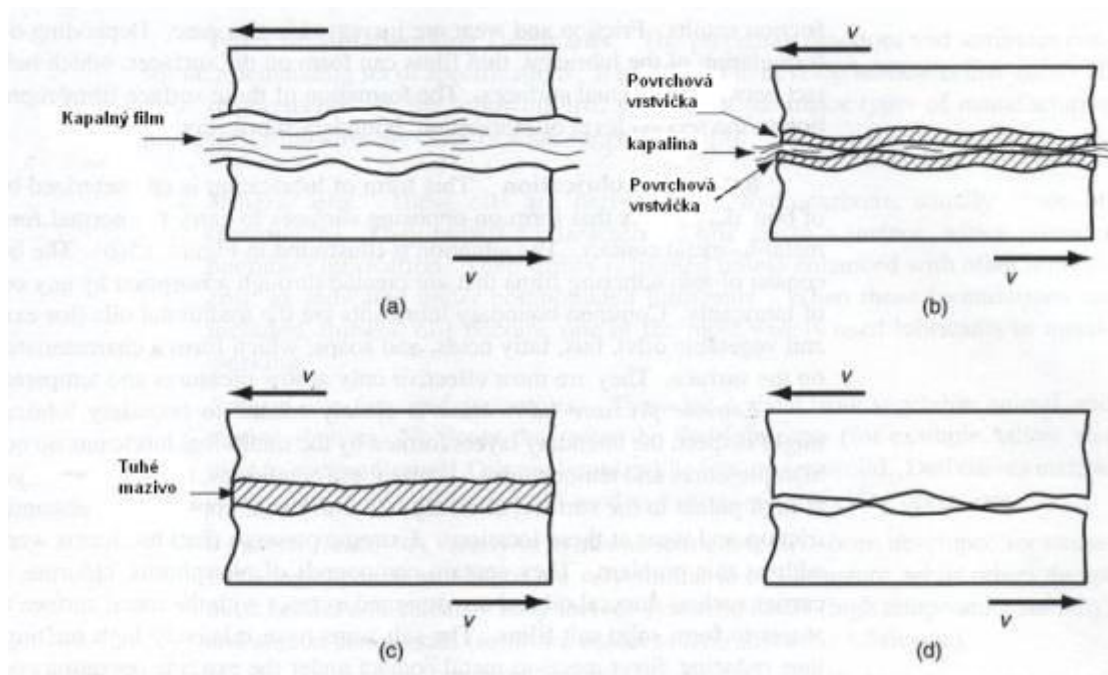
## 1. Úvod

Každý obráběcí proces na světě je hodně specifický. Liší se strojem, nástrojem, použitou technologií a v neposlední řadě i řezným prostředím. Procesní kapaliny do tohoto prostředí bezpochybně patří, jelikož značnou částí ovlivňují jeho průběh a koneckonců i výsledek. Ať se bavíme o deformaci řezného nástroje či řezaného materiálu, tření, které mezi těmito předměty vzniká, teplotě řezání, které ovlivňuje veškerý průběh obráběcího procesu, trvanlivosti nástroje a spousty jiných důležitých záležitosti, tak na všechny tyto parametry mají řezné kapaliny obrovský vliv. Proto byly, jsou, a věřím, že i do budoucna budou nezbytnou součástí obráběcího procesu. Proto je velice důležité věnovat tomuto tématu nesmírnou pozornost a neponechat ho náhodě. Cílem této práce by nemělo být kompletní sjednocení řezných kapalin, ale nastínění cesty a prostředků, jak vyselektovat nějaké kapaliny a případně je nahradit jinou.

## 2. Řezné kapaliny a jejich účinky

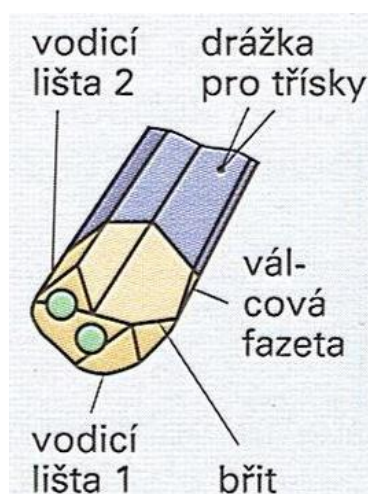
V řezném prostředí při obrábění se můžeme potkat s mnoha problémy. Jedním z největších problémů je bez pochyb teplo. Vlivem tření nástroje o obrobek, a za působení řezných sil, vznikají v obráběcím prostředí vysoké teploty. Nebýt právě řezných kapalin, tak ve většině případů by to mohlo nést až fatální následky na výsledek obrábění. Proto je velice důležité zajistit, aby do kritického místa byla neustále přiváděná chladicí kapalina, v potřebné koncentraci a v dostačujícím množství. Z tohoto tvrzení vyplývá skutečnost, že nejdůležitějšími vlastnostmi jsou chlazení a mazání. Další důležitou vlastností, bez které by se například technologie hlubokého vrtání jen těžko obešla, je vyplachování a transport třísek. [1]

Dojde-li ke kontaktu dvou ploch bez mazání, tak se tyto plochy začnou navzájem třít vystupujícími částmi o sebe. Pro ukázkou se můžeme podívat na situaci d), která je znázorněná na obrázku č. 1.



Obr. 1 Tření mezi plochami: a) hydrodynamické, b) pomocí absorbovaných tenkých vrstviček, c) pomocí tuhých maziv, d) suché tření (popsané v kapitole 2.1) [5]

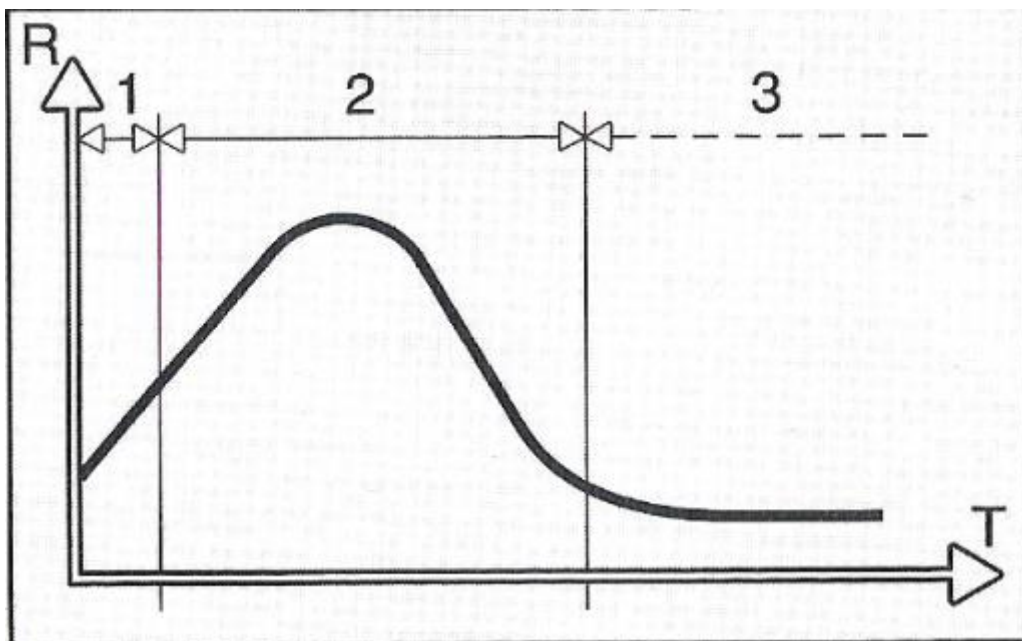
Výsledkem toho je skutečnost, že se materiál třením zahřívá a jeho částice se vlivem tření uvolňují z povrchové plochy. Mazací schopnost řezných kapalin snižuje opotřebení nástroje tím, že mezi plochami nástroje a obrobku vytváří film, který uvedené dvě plochy odděluje od sebe. Takto popsané situace a), b) a c) jsou vidět také na obrázku č. 1. Mimo samotné opotřebení břitu nástroje je neméně důležité snižovat tření i na opěrných nebo vodicích lištách (viz obrázek č. 2.), například u hlubokého vrtání, kde tyto plochy jsou v neustálém kontaktu s plochou obrobku. [1]



Obr. 2 Ukázka vodicích lišt na dělovém vrtáku[13]

Energie, která je strojem vynaložena pro překonání odporu obráběného materiálu při utváření třísky, vyvolává vysoké teploty v zóně řezání. Proto je opotřebení břitu v určité míře určováno teplotou, což znamená, že musí být zajištěno dostatečné chlazení. Pokud tuto teplotu dokážeme udržet v určité mezi, která je pro nás přijatelná, tak tím značně prodloužíme jak dobu trvanlivosti břitu nástroje, tak i životnost opěrných a vodících lišt. [1]

Jednou z dalších negativních vlastností, se kterou se můžeme setkat při obrábění, je tvorba nárůstku. Vytvořený nárůstek nejen, že znehodnotí geometrii nástroje, ale také zanechá své stopy na výsledné jakosti povrchu.



Obr. 3 Drsnost povrchu  $R$  jako funkce teploty  $T$  [1]

Při silném vytváření nárůstku, oblast 2 na obrázku č. 3, dochází k silnému zhoršení jakosti povrchu. Při nízkých teplotách, jako například při použití technologie vystružování, je oblast vzniku nárůstku pod znázorněnou hranicí oblasti 1 (obr. č. 3). Povrch je v tomto případě rovnoměrnější. Nejlepší jakosti povrchu se ovšem dosahuje tehdy, když nevzniká žádný nárůstek. To můžeme vidět v oblasti 3 (obr. č. 3), kde při obrábění vznikají vysoké teploty. Je-li nutné se obávat vzniku nárůstku, nebo když už nárůstek vzniká, je několik možností, jak teplotu na břitu změnit. Jedna z účinných metod je změna řezných podmínek, ovšem někdy je to v praxi problematické, jelikož můžeme například narazit na výkonové možnosti stroje. [1]

V případě nízkých teplot je jednou z možností řešení použití řezné kapaliny, která sníží teplotu v místě řezu pod hranici vzniku nárůstku. Pokud chladicí kapalina je použita pro oblast 3

(obr. č. 3), tak si musíme dát pozor na skutečnost, že právě chladicí kapalina by se mohla stát negativním činitelem pro vznik nárůstku.

Obrobená plocha v některých případech může být poškozována třískami, nebo částicemi, které se v průběhu obrábění uvolňují. Ty se následně mohou dostat do samotné kapaliny a kolovat při procesu její distribuce při obrábění. Proto je důležité o chladicí kapaliny pečovat a filtrovat je přes dostatečně jemné filtry. Pokud bychom tak neučinili, tak při některých operacích, jako je například již zmíněné hluboké vrtání, může dojít k zatlačování třísek a uvolněných částic materiálu do povrchu obrobku pomocí opěrných a vodicích lišt. [1]

Ze souhrnu této problematiky vyplývá, že chladicí kapaliny mají následující úkoly:

- mazáním snížit tření (mazací účinek)
- chlazením odvádět teplo (chladicí účinek)
- zajistit vyplavování a odvod třísek z místa řezu (čisticí účinek)
- zvyšovat trvanlivost nástroje
- zlepšovat kvalitu povrchu součásti
- zamezovat vzniku nárůstku a zhoršení řezné geometrie nástroje

## 2.1 Mazací účinek

Nejdůležitějším úkolem mazání je snížení tření na funkčních plochách řezného břitu (vnější mazací účinek), dále je potřeba usnadnit průběh plastické deformace, zvýšit křehkost povrchových vrstev a zmenšit práci vnitřního tření. [2]

Proto pro mazání jsou rozhodující tyto vlastnosti:

- povrchové napětí
- smáčivost
- pevnost vytvořeného filmu
- chemická aktivita vůči materiálu obrobku. [2]

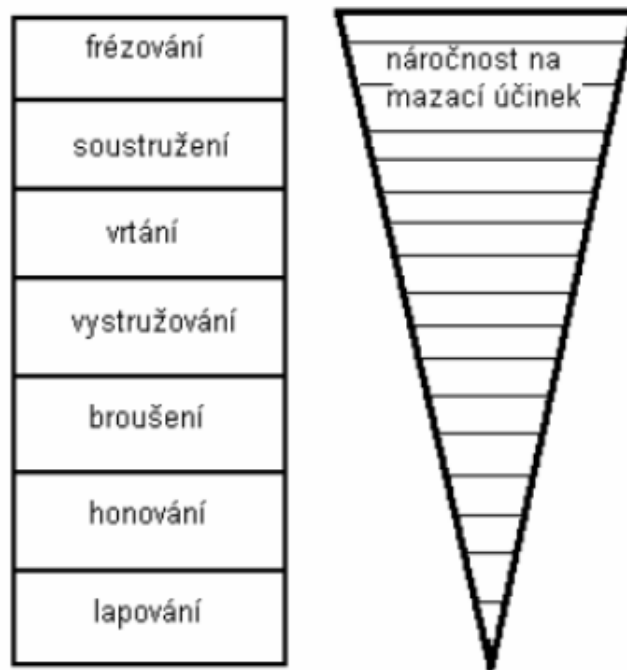
Jak můžeme vidět na obrázku č. 1 (na straně 9.), tak snížit tření pomocí mazání můžeme několika způsoby:

- a) mazání pomocí tenkého filmu (hydrodynamické) – obě třecí plochy jsou od sebe oddělené tenkou vrstvičkou vhodné kapaliny, koeficient tření je v tomto případě dan vlastnostmi mazací kapaliny, zejména její viskozitou.
- b) mazání pomocí vytvoření povrchové vrstvičky – princip spočívá ve vytvoření povrchových vrstviček na obou třecích plochách tak, aby nedošlo ke vzájemnému kontaktu kovů. Vrstvičky jsou vytvořené pomocí adsorpce různých maziv (oleje, tuky, mastné kyseliny apod.). Tento způsob se používá při nízkých teplotách a tlacích. V případě, že potřebujeme tyto vrstvičky vytvořit za vysokých teplot, či tlaků, musíme použít různá aditiva, která se přidávají do olejů (fosfor, chlor nebo síra). Tak vzniknou pevné vrstvy soli, které mají vysokou teplotu tání a brání přímému kontaktu obou kovů mezi sebou.
- c) mazání pomocí tuhých maziv – mezi tuhá maziva řadíme např. grafit, sirník molybdenu nebo teflon. Tyto látky používáme v práškové formě. Prášek přilne k oběma třecím plochám a chemicky s nimi reaguje. Vízí těchto maziv je oddělit od sebe obě třecí plochy prostředím s malým koeficientem tření. Tento způsob mazání se využívá při vysokých tlacích a teplotách, a ve vysoce agresivním prostředí, kde jiné způsoby mazání nejsou tak efektivní. [5]

Podstatou snižování tření jsou adsorpční vrstvy, vytvářené molekulami řezné kapaliny mezi plochami dotyku. Teplota a tlak na styčné ploše je překážkou vytváření pevných mazacích filmů, takže je občas nutno počítat pouze se suchým nebo polosuchým třením. Povrchové adsorpční filmy zabrání bezprostřednímu kovovému dotyku třecích se navzájem kovových těles, a tím se předchází vzájemnému ulpívání a navařování částic. Zároveň se snižuje možnost jejich vzájemné adheze a difúze. [2]

Vytvářením těchto filmů se dosahuje chemickými přísadami, které mají molekuly s polární vazbou. Mezi ně patří mastné kyseliny, alifatické uhlovodíky, sloučeniny síry apod. Řezné kapaliny, které obsahují přísady aktivní s materiálem (např. sloučeniny chlóru, fosforu, síry nebo mastné kyseliny), vytvářejí na povrchu kovů vrstvu kysličníků, chloridu, fosfidů, sirníků a s obsahem mastných kyselin vytvářejí kovová mýdla. Pomocí difúze se zvyšuje křehkost povrchové vrstvy, jelikož molekuly řezné kapaliny se rozkládají a vnikají do mřížky kovu. Kov se stává křehčím a na oddělení třísky stačí menší síla. [2]

Řezná kapalina v průběh obrábění proniká do trhlin a mezi roviny skluzu kovu, ve kterém se vytvářejí mazací filmy a snižuje se práce vnitřního tření (vnitřní mazací účinek). Kladný vliv řezných kapalin na zmenšování součinitele tření se projevuje i na nárůstku. Mazací účinek bez aktivních přísad se projevuje asi do řezné rychlosti 40 až 50 m/min. U kapalin s aktivními přísadami se tato hranice posouvá, konkrétně do hodnot mezi 60 až 80 m/min. Při obrábění na čisto je mazací účinek řezné kapaliny důležitý, neboť se projevuje snižováním intenzity nástrojové otěru a tím udržuje dobrou jakost obrobeného povrchu. [2]



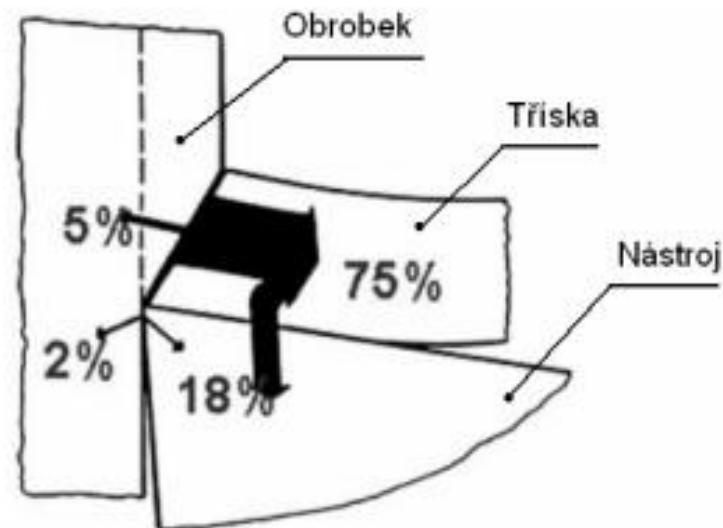
*Obr. 4 Náročnost jednotlivých technologií na mazací účinek [6]*

Jak můžeme vidět na obrázku č. 4. tak největší nároky na mazací účinek jsou u nejběžnějších technologií obrábění, tzn. frézování, soustružení a vrtání. Pro dokončovací operace náročnost na mazání rapidně klesá. [6]

## 2.2 Chladící účinek

Je charakteristický schopnosti odvádět teplo z místa řezání. Čím větší je teplota v místě řezu (zvyšující se řezná rychlost, tloušťka třísky, houževnatost materiálu), tím větší jsou požadavky na odvod tepla, a to i u nástrojů, které jsou vyrobené z materiálu, kterým nehrozí zhoršení řezných vlastností následkem popouštění vysokými teplotami (např. slinuté karbidy). Naakumulované teplo v obrobku může vést k nepřesnosti při obrábění. Nejdůležitějším je však chladící účinek řezných kapalin pro trvanlivost nástroje z nástrojových a rychlořezných ocelí. [2]

Odvod tepla vzniklého při řezání se dosahuje tím, že proud kapaliny oplachuje nástroj, třísku i obrobek v oblasti řezání a přejímá odtud vyvinuté teplo. Tento proces můžeme vidět na obrázku č. 5, který reprezentuje odvod tepla při soustružení.



Obr. 5 Odvod tepla z místa řezání při soustružení [7]

Jak můžeme vidět, tak největší část tepla je odváděno pomocí třísky, potom je to právě nástroj, přes který se odvádí přibližně 1/5 celkového tepla. Část kapaliny se přitom odpaří vlivem nadměrného místního zahřátí, zbytek pak proudí zpět do nádrže. Při zpětném toku se kapalina ochlazuje, a to buď samovolně předáváním tepla vzduchu a částem stroje, nebo se může ochladit za pomoci chladícího agregátu. Výparné teplo zvětšuje chladící účinek kapaliny, avšak odpařování je nežádoucí. Z důvodu dodržení čistoty, zdravotní nezávadnosti a požární bezpečnosti pracoviště je nutné tyto páry odsávat a nechat je kondenzovat. [4]

U třísky velké tloušťky se teplota břitů nemůže snížit přímým ochlazením místa řezu, pouze se snižuje teplota pracovní části nástroje, což urychlí odvod tepla a sníží teplotu stykových



míst bříty. Musíme také vycházet z předpokladu, že rychlost vedení tepla je menší než rychlost, kterou má tříska odcházející po čele nože. Teplota stykových míst se může snížit ochlazením vnější strany třísky při malých řezných rychlostech a při malých tloušťkách třísek. Chladicí účinek řezné kapaliny snižuje otěr nástroje, avšak v některých případech může působit i záporně. [2]

Smáčivost řezné kapaliny zlepšuje její chladicí schopnost. Pěnivost je nežádoucí, neboť s růstem pěnivosti chladicí schopnost kapaliny klesá.

Chladicí schopnost se dá zvyšovat také rychlostí proudění kapaliny, jelikož čím větší je rychlost proudění kapaliny, tím větší je součinitel přestupu tepla. [2]



*Obr. 6 Náročnost jednotlivých technologií na chladicí účinek [6]*

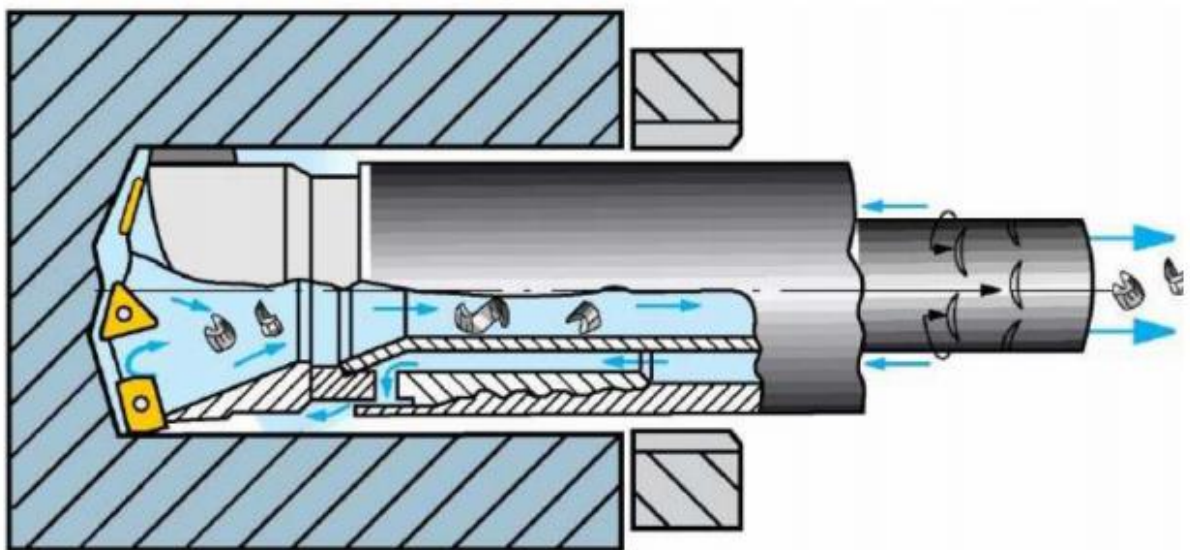
Jak můžeme vidět na obrázku č. 6. tak na rozdíl od náročnosti mazacího účinku, je pořadí náročnosti na chladicí účinek přesně obrácené. Největší potřebu chladicího účinku vyžadují dokončovací operace.

### 2.3 Čisticí účinek

Proud řezných kapalin použitých při obrábění má za úkol odstranit z místa řezání třísky, kovové a také brusné částice, čímž se usnadní tvorba nových třísek a obrobený povrch se vyhne poškození otěrem těchto třísek o již hotový (finální povrch).

Čištění samotného nástroje a ochrana již obrobeného povrchu je obzvláště důležitá při dokončovacích operacích, jako jsou broušení, honování nebo superfinišování. Při použití kapalin tam, kde se vytváří drobná tříška, je nutné, aby řezná kapalina měla nízkou viskozitu a nevyvolávala ulpívání třísek na nástroji a obrobku. [2]

Největší význam čisticího účinku můžeme spatřit u technologie hlubokého vrtání. Tam řezná kapalina musí vytvářené třísky odnášet z místa řezu, jelikož samotná geometrie nástroje to moc dobře nezvládne (z důvodu velké hloubky otvoru). Jedním ze způsobů vyplavování třísek při hlubokém vrtání můžeme vidět na obrázku č. 7. Tento nástroj je speciálně dimenzován tak, aby vytvořené třísky byly odplaveny středem nástroje. Z toho také vyplývá, že třísky v žádném případě nepřijdou do styku s obrobeným povrchem, tudíž nemají žádný vliv na jeho vlastnosti.[8]



Obr. 7 Vyplavování třísek při technologii hlubokého vrtání [16]

## 2.4 Další požadavky na řezné kapaliny

V kapitolách 2.1 a 2.2 jsem uvedl hlavní požadavky (chlazení a mazání), které jsou kladeny na řezné kapaliny v praxi. Do procesu obrábění ovšem vstupuje řada dalších hledisek, na které musíme při volbě řezné kapaliny brát ohled:

- pro ochranu pracovníka nesmí řezná kapalina vyvolávat žádné vedlejší efekty, jako například alergické reakce na pokožce, neměla by páchnout nebo vyvolávat zvracení,
- při použití vysokotlakého chlazení kapalina nesmí pěnit,
- při styku se strojem, nástrojem, nebo částmi obrobku, které se v danou chvíli neobrábí, kapalina nesmí rozpouštět barvy nebo jinak nepříznivě narušovat povrchovou vrstvu. Rovněž by neměla narušovat těsnění, jelikož při jeho porušení by mohlo dojít až ke zničení stroje,
- nesmí na obráběném materiálu vyvolávat korozi. Na některých pracovištích, hlavně v kusové výrobě, je velice obtížné vybrat kapalinu, která tomu vyhovuje. Jelikož se na jednom obráběcím stroji opracovávají výrobky z různých materiálů, měla by řezná kapalina vyhovovat všem těmto obráběným materiálům, hlavně proto, aby nebylo nutné v krátkých časových intervalech provádět její výměnu,
- měla by mít takové vlastnosti, které zamezí nalepování nebo přilnutí třísek a částic obráběného materiálu k samotnému obrobku, nebo filtrační nádobě,
- u některých obráběcích strojů, především staršího provedení, může docházet k úniku např. mazacího oleje. V případě úniku tohoto oleje do chladicí kapaliny je dnes výhodou, když tato kapalina pohltí unikající olej, aniž by tím došlo k negativnímu ovlivnění jejích funkčních schopností. [1]

### 3. Rozdělení řezných kapalin

Řezné kapaliny se primárně dělí do dvou hlavních skupin:

- řezné oleje
- emulze

Jejich využití v praxi se hlavně řídí tím, co pro náš konkrétní výrobní proces potřebujeme. V případě, že potřebujeme dobré chladicí vlastnosti, musí řezná kapalina vykazovat vysoký stupeň tepelné vodivosti. Tyto požadavky splňuje voda, jejíž mazací schopnosti jsou ovšem mizerné a navíc vyvolává u kovů korozi. Oproti tomu máme olej, který má vynikající mazací schopnosti a chrání kovy proti korozi. Na rozdíl od vody má pouze nízký stupeň tepelné vodivosti a tepelné kapacity, tudíž chladicí vlastnosti oleje mají podřadný význam. [1]

Vzhledem k tomu, že voda je běžně dostupným prostředkem a je k dispozici téměř všude, byly chladicí schopnosti vody použity při vývoji různých řezných kapalin. Tyto kapaliny dělíme na:

- olejové emulze
- syntetické nebo chemické chladicí kapaliny

Používání olejových emulzí je klasickým způsobem využití chladících vlastností vody, spojených s mazacími a antikorozními účinky oleje. Označení řezné kapaliny jako vodou rozpustné není zcela správné, jelikož olej ve vodě rozpustit nelze. Olej se ve vodě rozptýlí ve formě malých kapiček a pomocí aditiv, které se též nazývají emulgátory, je stabilizován.

Syntetické chladicí kapaliny neobsahují olej. Jsou složeny z rozpouštědel (například glykolů), které ve vodě emulgují, nebo se zcela rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, tudíž oproti emulzím, které jsou mléčného vzhledu, umožňují sledovat průběh obrábění. Pokud přidáme do olejové emulze syntetickou chladicí kapalinu, vznikne polosyntetická kapalina, která spojuje výhody syntetických kapalin s výrazně zlepšenými mazacími vlastnostmi emulze. [1]

Jak se postupně technika vyvíjí, tak se vyvíjí i nové možnosti chlazení a mazání při obrábění. Jednou z novinek je použití různých plynů, které by mohli v některých případech i nahradit kapaliny zmíněné v předešlých odstavcích. Plyn se aplikuje pod vysokým tlakem a transportuje třísky, včetně uvolněných částic obráběného materiálu, pryč z místa řezu. Nejběžnějším plynným médiem je vzduch. Dále se používá freon, kysličník uhličitý, kapalný argon a kapalný dusík. [1]

Kryogenní chlazení, nebo také chlazení kapalným dusíkem, bylo novinkou veletrhu zpracování kovu EMO, prováděného v roce 2014 v Hannoveru. Je to velice atraktivní metoda chlazení, jelikož kapalný dusík může mít teplotu až  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Je to ale dost náročné na realizaci, protože pro využití kapalného dusíku musíme zajistit speciální systém přívodů, izolované nádoby pro skladování, vakuem izolované hadice, speciálně dimenzované rozvody uvnitř stroje a v neposlední řadě systém rozvodů v samotném nástroji musí být vyřešen do posledního detailu. Méně nákladnou variantou kryogenního chlazení je chlazení paprskem  $\text{CO}_2$  s teplotou od  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Největší potenciál využití kryogenního chlazení je při obrábění slitin titanu a niklu nebo duplexních ocelí, kde vysoké termické zatížení břitu vede k jeho extra rychlému opotřebení až destrukci. Tento způsob chlazení tak umožňuje značné zvýšení řezných parametrů obrábění a životnosti nástroje. [9]



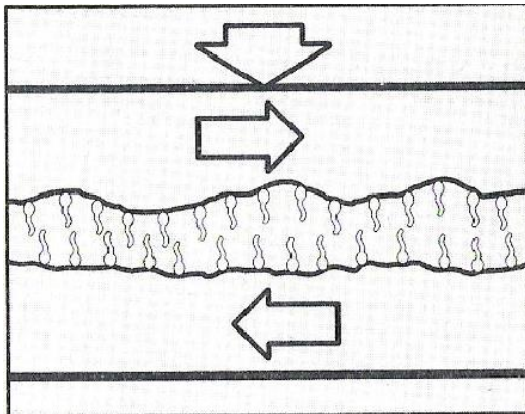
*Obr. 8 Aplikace kryogenního chlazení [9]*

### 3.1 Řezné oleje

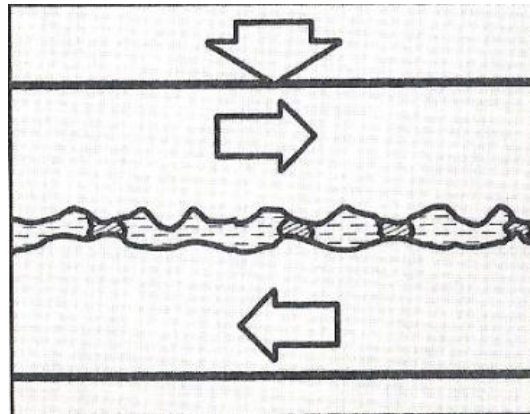
Čisté řezné oleje – to znamená řezné kapaliny, které nejsou smíšeny s vodou – lze rozdělit do těchto skupin:

- minerální oleje,
- mastné oleje,
- olejové směsi na bázi minerálních a mastných olejů,
- oleje s vysokotlakými přísadami.

Základní složkou mastných olejů jsou zvířecí nebo rostlinné tuky. Mezi rostlinné tuky patří zejména řepkové oleje. Tyto oleje jsou mastné, mají dobrou mazací schopnost, ovšem vytváří jen tenkou vrstvu olejového filmu. Tento fakt svědčí o tom, že mezi obrobkem a nástrojem může dojít k adhezivnímu spojení, takzvanému „sváření“. Tento jev je zobrazen na obrázku č. 9.



Obr. 9 Adhezivní spojení – „sváření“ [1]



Obr. 10 Olej s vysokotlakými (EP) přísadami [1]

V dnešní době jsou mastné oleje nahrazovány minerálními oleji. Důvodem je jednak cena, ale i složitost získání těchto olejů. Na druhé straně má zákazník k dispozici minerální oleje s téměř dokonale vyvinutými přísadami, které ve značné míře zlepšují vlastnosti chladicích kapalin.[1]

Minerální oleje jsou dodávány buď bez přísad, nebo ve formě směsných olejů. Minerální oleje bez přísad se využívají převážně pro lehké obrábění, například u mosazi nebo nízkolegovaných ocelí. Tam kde je třeba klást důraz na nosnost olejového filmu, lze minerální olej smíchat s přísadou mastného oleje. Tato přísada vytváří tenkou vrstvu, která má sice vysokou nosnost, ale nízkou pevnost ve stříhu. Tato vrstva zajišťuje mazání a zamezuje tření mezi nástrojem, vytvářenou třískou a obrobkem i tehdy, když se olejový film odtrhne. Při vysoce náročných způsobech obrábění však přísada mastných olejů nezaručí mazací schopnost oleje. Směsný olej na základě mastného oleje se používá především tehdy, má-li být zlepšením mazání dosaženo

dobré jakosti povrchu, jako například při obrábění tvrdších druhů mosazi a mědi, a tam, kde může dojít vlivem agresivních přísad ke korozní degradaci materiálu. [1]

Ve výrobě, kde se vyskytují velké řezné síly, musí řezná kapalina dobře mazat i v případě, kloužou-li po sobě dvě plochy pod vysokým tlakem. U těchto náročných aplikací se přidává do oleje vysokotlaká přísada, v praxi známa pod anglickou zkratkou EP (extreme pressure), která chemicky reaguje s kovovým povrchem, a tím vytváření pevný film zabraňující kontaktu kov na kov, i v případě, že dojde k přerušení olejového filmu. Uvedené chemické přísady tvoří kombinace síry, chlóru a fosforu. Tyto složky při vysokých teplotách reagují s materiálem obrobku a bříty nástroje a vytvářejí sulfidy, chloridy a fosfidy kovů. Tento jev můžeme vidět na obrázku č. 10. [10]

### 3.2 Olejové emulze

V praxi se dodávají v koncentrovaném stavu. Proto záleží na koncovém uživateli, na co konkrétně kapalinu použije a jak si jí připraví. Koncentrát se ve správném poměru rozmíchá s vodou. Použití emulze znamená, že mazací schopnost a ochrana proti korozi řezného oleje se spojí s chladicí schopností vody. Tento koncentrát může obsahovat přísady, které zlepšují vlastnosti řezné kapaliny, jako například [1]:

- emulgátory, které mají především za úkol zabránit separaci koncentrátu,
- prostředky na zvýšenou ochranu proti korozi,
- konzervační prostředky pro zabránění množení bakterií,
- pevné látky pro zlepšení mazacích schopností,
- vysokotlaké přísady pro zlepšení nosnosti olejového filmu.

Pro co nejlepší využití olejových emulzí v praxi musíme pečlivě dbát na to, aby emulze byla připravena přesně podle návodu daného od výrobce. Pokud chceme, aby řezná kapalina plnila svůj účel a měla dlouho živostnost je nutné dodržovat následující pravidla [1]:

- koncentrát se musí přidávat do vody, nikdy ne opačně,
- emulze se připravuje za neustálého promíchávání,
- směšovací poměr koncentrátu a vody musí přesně souhlasit s hodnotami od výrobce,
- nádrž pro uchování řezné kapaliny by měla být dokonalé čistá,
- hodnota pH a tvrdost vody by měla odpovídat doporučeným hodnotám,
- rychlost přidávání koncentrátu by měla být nejvýše taková, aby se stačila tvořit emulze.

Doporučená hodnota pH u olejových emulzí by měla být v rozmezí 8,5 až 9,3. [1]

### 3.3 Syntetické a polosyntetické řezné kapaliny

Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje a dříve se používali výhradně pro broušení. V průběhu vývoje se značně zlepšily mazací a antikorozi vlastnosti, tudíž se i spektrum jejich použití značně rozšířilo. [1]

Aplikace syntetickým řezných kapalin má proti kapalinám na bázi oleje značné ekonomické výhody. Navíc zajišťují rychlé odvádění tepla, mají dobré čisticí vlastnosti, jednoduchou přípravu a účinnou ochranu proti korozi. Další výhodou při aplikaci je to, že jsou průsvitné, což napomáhá obsluze stroje kontrolovat proces obrábění přímo za chodu stroje. U některých operací může jejich mazací schopnost být nedostačující. Tento efekt následně může vést k nalepování třísek na nástroj, nebo rychlejší opotřebení kluzných ploch. [1]

Voda se v syntetických řezných kapalinách úplně rozptýlí. Jelikož má voda tendenci se odpařovat, tak se v průběhu obrábění koncentrace řezné kapaliny postupně zvyšuje. Jelikož tyto kapaliny disponují výraznými čisticími a alkalickými vlastnostmi (pH 9 – 9,5), musí se stupeň koncentrace neustále kontrolovat. V případě extrémního zvýšení hodnoty pH může dojít u obsluhy stroje k alergické reakci v podobě podráždění pokožky.[1]

V syntetických řezných kapalinách je možné rozpustit olej, čímž vzniknou polosyntetické řezné kapaliny. Ty mají v podstatě stejné vlastnosti jako plně syntetické, navíc mají záměrně lepší mazací schopnosti. Pro operaci broušení je tento druh kapalin pro svůj nízký obsah oleje mnohem vhodnější, než emulzi na bázi oleje. V polosyntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích na bázi oleje. Vysoký podíl emulgátorů zachycuje prosakující olej, který uniká ze stroje. V omezeném množství to řezné kapalině nevádí. Jakmile je nadbytečný emulgátor spotřebován zachycováním prosakujícího oleje ze stroje, vyplave část oleje vzhůru a vytvoří na hladině film. Částice oleje, které zbyly v řezné kapalině, se zvětšují. Vytvořený olejový film na hladině emulze však může podpořit množení bakterií.[1]



## 4. Hodnocení vlastností řezných kapalin

Každá řezná kapalina disponuje vlastnostmi, které se v provozu nesmí zanedbat a musí se tyto vlastnosti neustále hlídat. V některých případech je to obtížné, ale na oplátku správné zacházení s řeznými kapalinami prodlouží jejich životnost. To pro nás přináší významné úspory nejen snížením nákladů na obráběcí kapaliny, ale především snížením ztrát způsobených jejich nesprávnou funkcí a případně i nežádoucími odstávkami v provozu. Pro vyhodnocení vlastností řezných kapalin je dobré si rozdělit řezné kapaliny na: [11]

- řezné kapaliny nemísitelné s vodou (skupina ISO-L-MHx) – řezné oleje
- řezné kapaliny mísitelné s vodou (skupina ISO-L-MAx) – řezné vodné emulze nebo roztoky

### 4.1 Hodnocení řezných olejů

Mezi vlastnosti, které je třeba u řezných olejů hodnotit a korigovat patří vzhled, zápach, viskozita, hustota, barva, bod vzplanutí, mechanické nečistoty, obsah vody, koroze, oxidace a kapalně znečištění. Zde je několik nejpoužívanějších vlastností z praxe, způsob jejich stanovení, příčiny změny těchto vlastností a případné možnosti nápravy. [11]

Vzhled – stanovuje se vizuálně – každá kapalina má svojí výchozí barvu. Každá změna vzhledu ukazuje, že kapalina je buď znečištěná, nebo zestárla. Ztmavnutí může být způsobeno stárnutím nebo po znečištění jiným olejem. Zákal se vytvoří buď vodou, nebo pevnými částicemi. Pro napravení této situace se doporučuje provést celkovou diagnostiku, která nám ukáže, zda kapalinu ještě můžeme používat, nebo jí musíme vyměnit. [11]

Zápach – stanoví se čichem – každá změna zápachu nám opět signalizuje znečištění nebo stárnutí. Dále ovšem podle zápachu můžeme jednoduše poznat poruchu stroje, v případě, že kapalina začne mít například zápach po spálenině. Pro napravení situace se postupuje podobně jako u vzhledu. [11]

Kinematická viskozita – stanovuje se dle normy ISO 3104 - viskozita popisuje vnitřní tření v reálné tekutině, udává, jak se tekutina brání tečení (deformací v toku). Je specifická pro každou kapalinu. Stárnutí oleje vede k její změně a jeho oxidací, ale nejčastěji je způsobena přítomností cizího oleje. Do určité míry je přípustná, avšak má vliv na filtrovatelnost nebo spotřebu. Pro nápravu lze použít takzvaný opravný olej se stejnými přísadami jako výchozí, ale s nižší, nebo vyšší viskozitou. Také je nutností najít příčinu znehodnocení kapaliny,

zkontrolovat místa, kde by mohla kapalina unikat. Někdy je nutná částečná nebo úplná výměna kapaliny. [11]

Hustota – stanoví se dle normy ISO 3675 – změna hustoty je vždy způsobena cizí kapalinou, která se nějakým způsobem dostane k řezné kapalině. Může se jednat o vodu, olej, rozpouštědla a mnoho dalších. Způsobů proniknutí těchto látek do řezné kapaliny je spousta, nejčastěji se však jedná o únik hydraulického oleje nebo jiné náplně stroje způsobené buď poruchou stroje, nebo například netěsnostmi. Změna hustoty je doprovázena změnou viskozity. Náprava je totožná jako u viskozity. [11]

Koroze – stanoví se dle norem ISO 2160 nebo DIN 51 360 – řezné kapaliny obsahují inhibitory, které ochraňují železné i neželezné kovy před korozí. Avšak různá znečištění jako voda, oxidační produkty, úkapy cizích olejů mohou tuto ochranu potlačit. Pro nápravu je důležité najít zdroj koroze a urychleně jej z kapaliny odstranit. V případě většího znečištění se doporučuje provést částečnou nebo úplnou výměnu kapaliny. [11]

#### 4.2 Hodnocení řezných kapalin na bázi vody

Na rozdíl od řezných olejů uvedených v předešlé kapitole, jsou řezné kapaliny na bázi vody oblíbenější u zákazníků a téměř třikrát používanější. Hlavní složkou těchto kapalin je voda. Tato skutečnost nám přináší řadu výhod, ale také značné nevýhody. Mezi výhody patří dobrý odvod tepla a transport třísek. Další výhodou je fakt, že voda je k dispozici téměř všude. A to se stává ovšem i její nevýhodou, jelikož voda je životním prostředím nejrůznějších mikroorganismů. Společně jinými nečistoty mikroorganismy značně zkracují životnost řezných kapalin, které dosahují jen zlomku toho, co vydrží řezné oleje. Při vědomí těchto znalostí bychom měli věnovat větší význam péči o tyto kapaliny. Nejzákladnější diagnostikou těchto kapalin je sledování koncentrace a hodnoty pH faktoru. Správně zvolena frekvence měření a udržování těchto dvou charakteristik v přijatelné toleranci je klíčem pro správné fungování kapaliny. Zde je několik nejpoužívanějších vlastností z praxe, způsob jejich stanovení, příčiny změny těchto vlastností a případné možnosti nápravy. [11]

Koncentrace – stanovení za pomoci refraktometru – klíčový parametr, protože zásadně ovlivňuje chování řezné kapaliny a její stabilitu. Doporučuje se intenzivní kontrola. V případě poklesu pod dolní mez je nutností urychleně provést nápravu doplněním koncentráту, nebo raději kapaliny o vysoké (20 – 30%) koncentraci. [11]

Hodnota pH – měří se pomocí pH metrů (dražší varianta) nebo pH proužků (levnější varianta) - důležitý stavový parametr, který ukazuje na nežádoucí vývoj a změny složení. Hodnoty pH se

musí držet v intervalu doporučeným od výrobce. Zvýšené nebo snížené hodnoty od normálu jsou nežádoucí. Pro nápravu je potřeba korigovat složení potřebným množstvím pufovací přísady. Také je důležité najít zdroj změn a urychleně ho odstranit. [11]

Tvrdot – stanoví se pomocí soupravy na měření nebo titrací – tvrdost řezné kapaliny je ovlivněná obsahem vápenatých a hořečnatých solí, které se do kapaliny dostávají s používanou vodou. Vlivem toho, že se voda postupně odpařuje, dochází ke zvyšování tvrdosti. To může následně vést až ke vzniku vápenatých mýdel, které se srážejí na hladině a zhoršují možnost oplachu. Zvyšování tvrdosti můžeme částečně předejít tím, že použijeme demineralizovanou vodu. Pro nápravu je třeba provést částečnou nebo úplnou výměnu řezné kapaliny. [11]

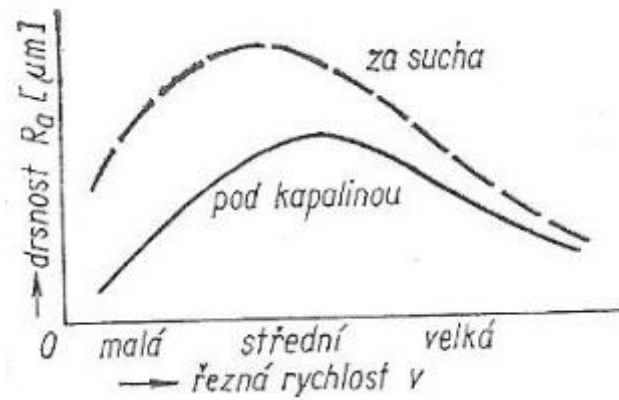
Mikrobiologie – sledování pomocí Dip-Slide – z důvodu nadměrného výskytu mikroorganismu ve vodě, je nutné sledovat výskyt bakterií, plísní a kvasinek v řezné kapalině. Tyto mikroorganismy mohou řeznou kapalinu zcela degradovat. Pro nápravu se doporučuje provést desinfekci kapaliny, konzervaci a následné doplnění koncentrátu, nebo případné navýšení pH. [11]

Vodivost – měří se konduktometrem – souhrnný stavový parametr, který nám ukazuje na výskyt znečištění kapaliny v podobě solí. Do řezné kapaliny se takovéto soli dostávají s použitou vodou nebo na neočištěných polotovarech obrobků. Vodivost je důležité hlídat, jelikož vysoká vodivost přispívá ke korozi, zhoršuje stabilitu kapaliny a zhoršuje oplachování. Pro nápravu je opět nutné částečné nebo úplně výměny řezné kapaliny. [11]

## 5. Vliv řezné kapaliny

### 5.1 Vliv na drsnost povrchu

Pokud řezná kapalina snižuje plastické deformace v obráběném materiálu a potlačuje velikost nárůstku, má kladný vliv na jakost obrobeného povrchu. V oblasti malých a středních řezných rychlostí (obrázek č. 11) se drsnost výsledného povrchu snižuje o 50% i více působením řezné kapaliny. S dalším růstem řezné rychlosti tento kladný účinek postupně ztrácí svoji působnost.[2]



Obr. 11 Vliv řezné kapaliny na drsnost povrchu [2]

### 5.2 Zpevnění obrobeného povrchu a tvrdost třísky

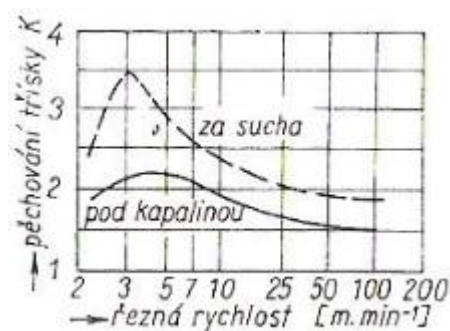
Mazací schopnost řezné kapaliny zmenšuje úroveň a hloubku ztvrdnutí obrobeného povrchu. Na obrázku č. 12 to můžeme porovnat s obráběním za sucha. [2]



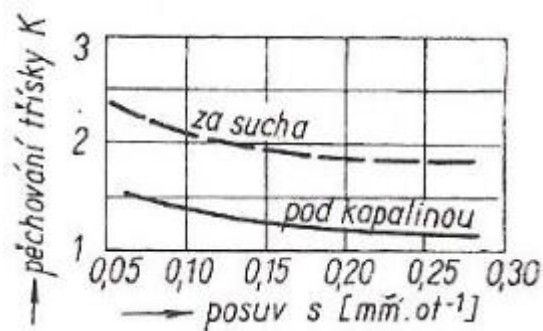
Obr. 12 Vliv řezné kapaliny na hloubku ztvrdnutí [2]

### 5.3 Pěchování třísky

Řezná kapalina zmenšuje pěchování třísky. Tento účinek ztrácí na působnosti při větších řezných rychlostech a větších posuvech. [2]



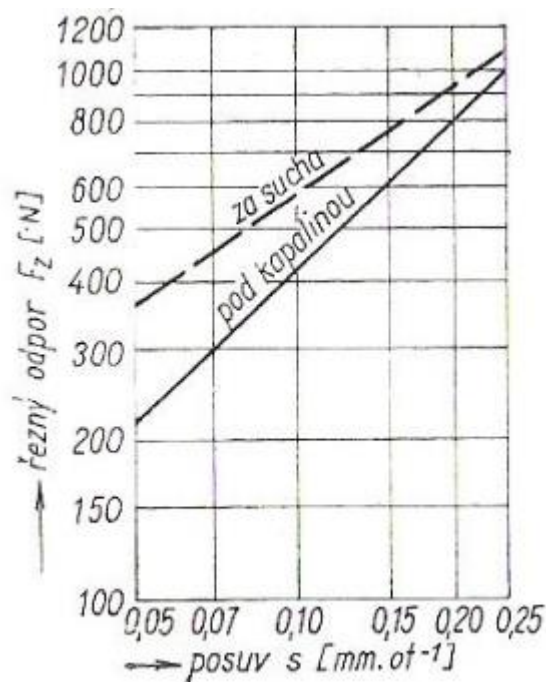
Obr. 13 Vliv řezné kapaliny na pěchování třísky v závislosti na řezné rychlosti [2]



Obr. 14 Vliv řezné kapaliny na pěchování třísky v závislosti na posuvu [2]

#### 5.4 Řezný odpor

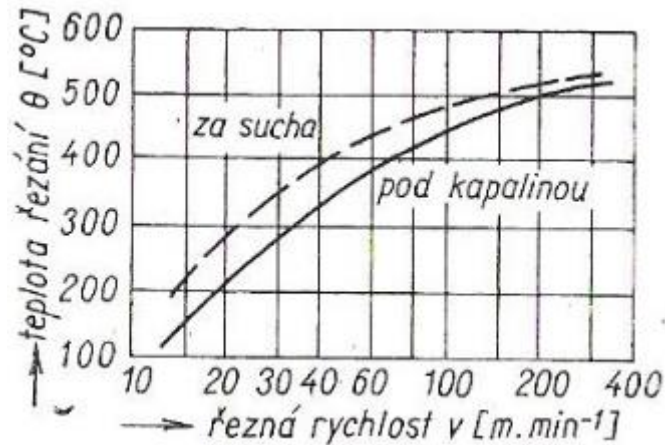
Menší řezný odpor je vyvolán mazacím účinkem. U řezných kapalin s převažujícím chladícím účinkem je snížení řezného odporu menší než 10%, kdežto u kapalin s převažujícím mazacím účinkem až o 25%. Při malých průřezích třísky může dosáhnout snížení řezného odporu až 50%, zatímco při větších tloušťkách třísky se již vliv řezné kapaliny na řezný odpor neprojevuje. Závislost řezného odporu na posuvu můžeme vidět na obrázku č. 15. [2]



Obr. 15 Řezná kapalina a řezný odpor v závislosti na posuvu [2]

## 5.5 Teplota řezání

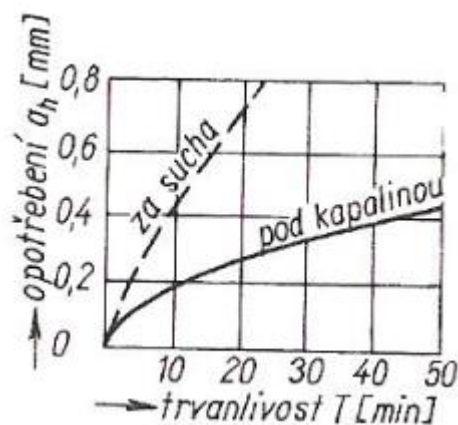
Zmenšení plastických deformací a chladicí účinek řezné kapaliny výrazně snižuje teplotu řezání. Jak vidíme na obrázku č. 16, tak větších rozdílů spatříme při nižších řezných podmínkách. Při postupném zvětšování řezných podmínek jsou rozdíly nepatrné. [2]



Obr. 16 Vliv řezné kapaliny na teplotu řezání [2]

## 5.6 Trvanlivost nástroje

Při redukcí teploty řezání působením řezné kapaliny se projeví menší intenzitou otupování řezného nástroje, tudíž má nástroj vyšší trvanlivost (viz obrázek č. 17). U rychlořezných nástrojů zjišťujeme 5 až 8 násobné zvýšení trvanlivosti působením řezné kapaliny. [2]



Obr. 17 Vliv řezné kapaliny na průběh opotřebení [2]

Negativní účinek řezné kapaliny se projevuje v oblasti existence nárůstku, tedy při nižší řezné rychlosti. (popsané v kapitole 2) Řezná kapalina způsobuje rychlejší uvolňování nárůstku a jeho tvrdé částice působí abrazivně a mechanicky na břit. Zároveň umožní difúzi. Řezná kapalina v rozmezí kladného vlivu zajistí zvýšení řezné rychlosti o 10 až 25 % při zachování

stejně trvanlivosti nástroje jako za sucha. Tento účinek je větší při malých řezných podmínkách. [2]

## 6. Analýza stavu ve ŠKODA AUTO

Jak napovídá oficiální název této bakalářské práce „Sjednocení řezných kapalin ve ŠKODA AUTO“, tak teoreticky bych měl se zabývat celým závodem společnosti, a to i např. závodem v Kvasinách či Vrchlabí. Pokud ovšem vezmeme do úvahy skutečnost, že se jedná o bakalářskou práci, o rozsahu této práce, složitosti a času, který na zpracování mám, tak po dohodě s vedoucím práce a konzultantem jsme dospěli k závěru, že musíme vymezit určité hranice, ve kterých se budeme pohybovat.

V první řadě se jedná o útvary, pro které by sjednocení řezných kapalin v rámci bakalářské práce mělo smysl a bylo realizovatelné. Po vzájemné dohodě jsme zvolili následující útvary:

- a) PKT – Technický servis
- b) PSW – Výroba náradí a přípravků
- c) PSZ/3 – Interní opravy
- d) SE/6 – Střední odborné učiliště.

Další omezení se týkají především experimentální části.

Po zvolení útvarů jsem sepsal email s požadavky pro získání dat, které jsem následně použil pro výslednou analýzu. Požadavky, které jsem potřeboval zjistit po každém z útvarů, byly následující:

- seznam všech řezných kapalin, které daný útvar používá
- roční spotřeba řezných kapalin pro rok 2015
- kontakt na referenční osobu, která mi v případě potřeby poskytne další informace.

Všechny získané podklady, které jsem obdržel, tak jsem následně vyhodnotil a srovnal dle jednotlivých útvarů. Za zmínku také stojí skutečnost, že společnost ŠKODA AUTO odebírá řezné kapaliny od desítek různých dodavatelů. Obdržet tak významnou roli a dodávat řezné kapaliny do společnosti je však velice obtížný proces, jelikož musí splňovat řadu nezbytně nutných předpokladů jako např.:

- dodání požadovaných výrobků v nejvyšší možné kvalitě a množství

- dodržení předem stanovených dodacích lhůt
- zajištění ekologické nezávadnosti výrobku
- reference o výrobku získané z koncernu.

### 6.1 PKT – Technický servis

Útvar PKT zajišťuje všechny specifické činnosti pro závod výroby komponentů, které z technického hlediska umožňují bezproblémovou výrobu motorů, převodovek, náprav a polotovarů v hutní výrobě v požadovaném množství a kvalitě. Jedná se o údržbu strojů a zařízení, údržbu procesních materiálů a kapalin, obráběcí a montážní nářadí, správu technologických postupů a technickou kontrolu obrábění, montáží a metalurgických polotovarů. Rovněž se stará o zavádění a udržování systému ekologického řízení EMS.

Oblasti útvaru PKT jsou:

- procesní technika,
- servis nářadí,
- technologie výroby komponentů,
- technická kontrola výroby komponentů,
- centrální údržba.

Ze všech vyhodnocovaných útvarů je útvar PKT jednoznačně největším odběratelem řezných kapalin. Tento útvar odebírá celou řadu produktů celkem od 13 různých dodavatelů. Mezi nejznámější dodavatele patří společnosti CASTROL, FUCHS, TOTAL, QUAKER a řada jiných. Celkové odebírané množství útvarem PKT činí 385 351 kg za rok 2015.



Tab. 1 Přehled řezných olejů v útvaru PKT

<b>Přehled řezných olejů - útvar PKT - rok 2015</b>		
<b><u>Množství</u></b>	<b><u>Název oleje</u></b>	<b><u>Dodavatel</u></b>
2 971kg	Honilo 980	BP - Castrol
12 188kg	Sulnit HM (9)	BP - Castrol
12 640kg	Aster S	ENI
5 035kg	Ecocut Mikro Plus 20	Fuchs
2 460kg	Cutmax UP 1-78-20	Houghton
14 234kg	Cutmax WL SH 10	Houghton
23 220kg	Dascolene 617	Houghton
1 800kg	AT Grind 5H	Charvát Group
1 824kg	Diagrind 535	Charvát Group
896kg	LubriOil E 47	Lubrix
6 050kg	Paracut 10	PARAMO
1 050kg	Paracut 15	PARAMO
3 370kg	Paracut 25A	PARAMO
42 202kg	Paramo Cut EC AL	PARAMO
6 448kg	Isocut VG 10 -H	Petrofer
113 392kg	Isocut VG 10 - H/S	Petrofer
5 600kg	Quakercut 4150 CAS	Quaker
7 700kg	Valona Gr 3008 HC	Total

Řezné kapaliny odebírané tímto útvarem se dělí na řezné oleje a řezné emulze. Seznam všech řezných olejů, jejich spotřeba za rok 2015 v kilogramech a dodavatelé můžete vidět v tabulce č. 1. Jelikož jsem se v experimentální části zaměřil pouze na řezné emulze, nikoliv řezné oleje,

tudíž jsem od tohoto útvaru nevyžadoval konkrétní použití těchto produktů. Dále u řezných emulzí to již bude zmíněno.

Tab. 2 Přehled řezných emulzí v útvaru PKT

<b>Přehled řezných emulzí - útvar PKT - rok 2015</b>				
<b><u>Množství</u></b>	<b><u>Název emulze</u></b>	<b><u>Dodavatel</u></b>	<b><u>Použití</u></b>	<b><u>Materiál</u></b>
27 004kg	QUAKER 3755 SZ 5	Quaker	desítky jednotkových strojů - opracování dílů k převodovkám MQ200, MQ100 / obrábění motoru EA 111	ocel/litina
24 900kg	Quaker 3753 AL BF	Quaker	2 stroje Lorenz - kola MQ 200 / obrábění bloku motoru EA 211 – frézování, vrtání a formování závitů	ocel / slitina hliníku
17 081kg	Quakercool 7895 Oil	Quaker	obrábění bloku motoru EA 111 a hlavy motoru EA 211 - frézování, vrtání a formování závitů	slitina hliníku
6 166kg	Quakercool W ALCA BFF	Quaker	multifunkční přísada dvousložkového systému Quakercool	slitina hliníku
8 776kg	ToolWay S455N	Charvát Group	desítky jednotkových strojů - opracování dílů k převodovkám MQ200, MQ100	ocel
14 098kg	Hycut ET 46	Oemeta	obrábění hlavy a bloku motoru EA 111 1.2 Tsi bloku motoru EA 211 - frézování, vrtání a formování závitů	slitina hliníku
5 759kg	Additiv ET	Oemeta	multifunkční přísada dvousložkového systému HYCUT	slitina hliníku
952kg	Vasco 1000/Vasco 5000	Blaser Swissslube	1x stroj Lorenz - kola MQ 200	ocel
10 360kg	Emulcut 2500	Petrofer	Honování vložek válců EA 211	litina
3 840kg	Multan 97-10 D	Henkel	obrábění bloku motoru EA 111 - frézování, vrtání a formování závitů	slitina hliníku
2 399kg	Multan 71-10 SK	Henkel	obrábění bloku motoru EA 111 - frézování, vrtání a formování závitů	slitina hliníku
936kg	Houghto Grind 681	Houghton	Broušení ojníc EA 211	litina
11 835kg	Hocut F 333	Houghton	Honování vložek válců EA 111	litina

Na rozdíl od tabulky řezných olejů, přehled řezných emulzí je rozšířen o dva parametry. Konkrétně jde o použití, které nám popisuje místo nebo činnost, kde je kapalina využívána. Druhým parametrem je materiál. Tato charakteristika vypovídá o tom, který materiál je za pomoci určité kapaliny obráběn.

## 6.2 PSW – Výroba náradí a přípravků

Útvar na výrobu náradí se zabývá konstrukcí, technologickou přípravou, výrobou a servisem náradí pro výrobu automobilů. Cílem procesů je zajištění hospodárné a ekologicky šetrné výroby náradí a přípravků v požadované kvalitě a termínech pro interní zákazníky v rámci firmy ŠKODA AUTO i externí firmy koncernu Volkswagen.

Druhá příčka podle odebíraného množství patří útvaru PSW, ovšem odebírané množství je značně menší, oproti útvaru PKT. Celkové odebírané množství pro rok 2015 činí pouhých 11 101 litrů řezných kapalin od tří odběratelů.

Na rozdíl od útvaru PKT, kde je spotřebované množství udávané v kilogramech, zde vidíme, že je to uvedené v litrech. Tato skutečnost poukazuje na to, že v praxi záleží na dodavatelsko-odběratelských vztazích, které mohou být různě dané. Pro nás ovšem není problém, v případě potřeby, převést z kilogramů na litry, nebo obráceně, jelikož ke každé řezné kapalině existuje technický list, ve kterém je uvedena hustota.

Tab. 3 Přehled řezných emulzí v útvaru PSW

<b>Přehled řezných emulzí - útvar PSW - rok 2015</b>		
<b><u>Množství</u></b>	<b><u>Název emulze</u></b>	<b><u>Dodavatel</u></b>
2000 l	CIMSTAR 506	CIMCOOL
800 l	CIMPERIAL 900 - 02	CIMCOOL
200 l	CIMTECH D12	CIMCOOL
600 l	CIMCLEAN 50F	CIMCOOL
1200 l	UNIMET AS194	Oemeta
3701 l	Hycut ET 46	Oemeta
1580 l	Additiv ET	Oemeta
1020 l	TRIM E - 715	T - LAB

Jak můžeme vidět z této tabulky, tak stejně jako útvar PKT, tak i útvar PSW odebírá dvousložkovou řeznou emulzi HYCUT (Hycut ET 46 + Additiv ET) od firmy Oemeta. Je to také jeden z důvodů, proč jsem tuto řeznou emulzi vybral pro experiment.

### 6.3 PSZ/3 - Interní opravy

Třetí příčku dle odebíraného množství v mé analýze patří útvaru PSZ/3. Tento útvar je specifický tím, že slouží pro opravy strojů a zařízení v závodě. Proto sortiment používaných řezných kapalin tímto útvarem je jednoznačný.

Tab. 4 Přehled řezných kapalin pro útvar PSZ/3

<b>Přehled řezných kapalin - útvar PSZ/3 - rok 2015</b>				
<b><u>Množství</u></b>	<b><u>Název kapaliny</u></b>	<b><u>Dodavatel</u></b>	<b><u>Typ kapaliny</u></b>	<b><u>Použití</u></b>
1000 l	TRIM E - 715	T - LAB	řezná emulze	obrábění a broušení
200 l	PARAMO Cut 15	PARAMO	řezný olej	výroba ozubení

Jak můžeme vidět v tabulce č. 4, tak tento útvar pro všeobecné obrábění používají do svých strojů řeznou emulzi TRIM E – 715. Tuto kapalinu jsme již mohli vidět v útvaru PSW. Jedná se o univerzální minerální emulzi, která je využitelná při obrábění a broušení nejrůznějších materiálů. Z tohoto důvodu jsem tuto kapalinu zařadil mezi kapaliny použité pro experiment.

Hlavně kvůli výrobě ozubení tento útvar používá řezný olej PARAMO Cut 15, který ovšem odebírá v tak malém množství, že pro tak velkou firmu je takové množství až zanedbatelné.

### 6.4 SE/6 - Střední odborné učiliště

Odborné vzdělání je založeno na jednotném kvalifikačním konceptu za přispění moderních vyučovacích a výukových metod. Velká část přípravy žáků v závěrečných ročnících se odehrává na provozních pracovištích ŠKODA AUTO. Právě intenzivní seznámení s realitou ve výrobě je jednou z nejdůležitější součástí odborného vzdělávání.

Tento útvar jsem do mé analýzy zařadil hlavně z důvodů, že používá jedinou řeznou kapalinu, a také má, podobně jako útvar PSZ/3, velikou škálu materiálů, které obrábí a technologie obrábění jsou různé. Proto si myslím, že tomuto útvaru nezáleží na tom, kterou kapalinu budou používat, a odebírané množství tomu také napovídá. Z toho vyplývá skutečnost, že by mohli odebírat některou z kapalin používaných jiným útvarem.

Tab. 5 Přehled řezných kapalin pro útvar SE/6

<b>Přehled řezných kapalin - útvar SE/6 - rok 2015</b>		
<b><u>Množství</u></b>	<b><u>Název kapaliny</u></b>	<b><u>Dodavatel</u></b>
400 l	QUAKER 3753	Quaker

Z přehledu řezných kapalin útvaru SE/6 vidíme, že používají jednu univerzální kapalinu QUAKER 3753. Jelikož tuto kapalinu používá i útvar PKT, a odebírá jí v obrovském množství, tak jsem ji vybral pro experiment.

## 7. Experimentální část

### 7.1 Návrh experimentu pro hodnocení ve ŠKODA AUTO

Vstupní podmínkou pro návrh experimentu bylo omezit počet řezných kapalin na množství, které by odpovídalo rozsahu bakalářské práce. Po dohodě s vedoucím práce jsme dospěli k závěru, že optimální množství řezných kapalin je 5. Větší množství řezných kapalin by nebylo vhodné jednak z důvodu časového nedostatku, ale i pro rozsah bakalářské práce by to bylo příliš rozsáhlé.

Dalším úkolem bylo vybrat specifickou skupinu řezných kapalin, které bych vůbec nějak mohl porovnat. Po analýze dat jsem zjistil, že největší množství řezných kapalin slouží k obrábění hliníku. Proto jsem můj experiment směřoval tímto směrem. Vybral jsem 5 kapalin, které se používají výhradně pro obrábění hliníku. Dalším omezujícím kritériem je, že pro experiment byly vybrány pouze řezné emulze, nikoliv řezné oleje. Následně všechny navržené kapaliny jsem postupně otestoval při vrtání konstantní posuvovou silou. Za pomoci dynamometru jsem změřil řeznou sílu  $F_z$  a krouticí moment  $M_k$ . Poté za pomoci drsnoměru jsem vyhodnotil kvalitu povrchu vyvrtaných děr, konkrétně parametry  $R_a$ ,  $R_y$ ,  $R_z$  a  $R_q$ . Všechny tyto zjištěné parametry by měly následně sloužit k porovnání vybraných kapalin mezi sebou. Z následného porovnání by měl vzniknout návrh na sjednocení řezných kapalin.

### 7.2 Vybrané řezné kapaliny

Pro samotný experiment byly vybrány tyto kapaliny (v závorce jsou uvedené doporučené hodnoty koncentrace):

- dvojsložková řezná emulze QUAKERCOOL 7895 OIL (6,5%) + QUAKERCOOL W ALCA BFF (3,5%)
- dvojsložková řezná emulze HYCUT ET 46 (5,5%) + ADITIV ET (2,5%)
- řezná emulze QUAKER 3753 AL BF (8%)
- řezná emulze OEMETA ALUMET AL 100 (5%)
- řezná emulze TRIM E715 (6%)

Všechny tyto kapaliny jsem obdržel v dostatečném množství, včetně doporučených hodnot koncentrace pro správnou přípravu řezné emulze. Pomocí těchto hodnot jsem se také řídil v přípravě kapalin pro experiment.

### 7.3 Obráběný materiál

Pro přiblížení experimentu co nejvíce reálnému procesu jsem použil hliníkovou housku z materiálu AlSi9Cu3. Tyto housky se taví a následně jsou z nich produkovány hliníkové bloky motorů EA 211.

Tato slitina s velmi dobrou slévateľností je vhodná pro tlakové lití. Disponuje také dobrou obrobiteľností. Chemické složení můžeme vidět na obrázku č. 18. [12]

Chemické složení v hmotnostních %											
Al	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Ni	Sn	Cr	Ti	Pb
zbytek	8,0 – 11,0	2,0 – 4,0	0,05 - 0,55	max. 0,55	max. 1,3	max. 1,2	max. 0,55	max. 0,15	max. 0,15	max. 0,25	max. 0,35

Obr. 18 Chemické složení slitiny AlSi9Cu3(Fe) dle normy ČSN EN 1706[12]

Pro přehled mechanických a fyzikálních vlastností poslouží obrázek č. 19. [13]

Mechanické vlastnosti odděleně litých zkušebních tyčí:				
Pevnost v tahu Rm, MPa, min.	Mez kluzu Rp0,2, MPa, min.	Mezní protažení A50, %, min.	Tvrdość dle Brinella HBS, min.	
240	140	<1	80	
Mechanické a fyzikální vlastnosti:				
Měrná hmotnosť kg/dm <sup>3</sup>	Pevnosť	Obrobiteľnosť	Svařitelnost	Odolnosť proti korozi
2,75	dobrá	dobrá	špatná	špatná
Dekorativní anodizace	Leštiteľnosť	Koeficient tepelné roztatnost 293-373°K, %K <sup>-1</sup>	Elektrická vodivost MS/m	Tepelná vodivost W/m <sup>2</sup> K
nedoporučuje se	uspokojivá	21 x 10 <sup>-6</sup>	13 - 27	110 - 120

Obr. 19 Přehled mechanických a fyzikálních vlastností[13]

Samotná hliníková houska byla dodaná ve stavu, který nevyhovoval mému experimentu. Byla totiž přivezená tak, jak se vkládá do pecí. Výchozí stav hliníkové housky (již po rozřezání) můžeme vidět na obrázku č. 20.



*Obr. 20 Výchozí stav polotovaru*



*Obr. 21 Připravený polotovar pro experiment*

Jelikož jsem potřeboval do této housky vrtat, tak bylo třeba tuto housku upravit. Nutností bylo srovnat dolní, horní a boční plochy hlavně proto, aby polotovar šel upnout do dynamometru a zároveň odstranit povrchovou vrstvu housky, která by mohla mít jiné vlastnosti než samotný materiál. Minimálně povrch se změnil a byl mírně pórovitý. Na obrázku č. 21 je vidět již opracovaný polotovar, který je připraven pro upnutí do dynamometru.

#### 7.4 Nástroj

Z důvodu přiblížení experimentu realitě jsem se s požadavkem na nástroj obrátil na firmu ŠKODA AUTO. Požadavek byl získat nějaký vrták z reálného provozu, který by bylo možné pro účely bakalářské práce případně i zničit. Další podmínkou bylo, aby daný vrták byl specializován na obrábění hliníku. Tento návrh jsem emailem poslal svému konzultantovi ze společnosti.

Nástroj, který jsem obdržel pro účely experimentu, byl tvrdokovový vrták přímo z linky bloku motoru. Tento vrták je přímo určen na obrábění námi zvoleného materiálu AlSi9Cu3 (Fe). Stojí za zmínku i to, že vrták má systém chladicích kanálků pro vnitřní chlazení, které jsme ovšem z důvodu stroje nevyužili.

Dodaný vrták je vyroben ze slinutých karbidů (DK255F) a spadá do skupin K20 podle normy ISO 513. Složení tohoto materiálu obsahuje karbid wolframu (WC) 92% a kobalt (Co) 8%. Tvrdost dle Vickerse (HV30) tohoto materiálu činí 1710 a tvrdost dle Rockwella (HRA) činí 92,6. Tento materiál má vysokou tvrdost a odolnost vůči opotřebení, střední houževnatost. Náhled vrtáku je na obrázku č. 22. Výkres vrtáku (s názvem ZL-BOH-STO2KIBR-N) je také k dispozici v příloze.





*Obr. 22 Vrták pro experiment*

### 7.5 Stroj

Stroj, který jsem použil pro experiment, byla vrtačka Kazanlik (viz obrázek č. 23).



*Obr. 23 Vrtačka Kazanlik*



*Obr. 24 Kladka se zavěšeným závažím*

Je to již starší typ stroje, který mě při experimentu omezil maximální hodnotou otáček 1500 otáček za minutu. Další výrazné omezení byla absence možnosti využití nástroje s vnitřním chlazením. Proto jsem musel pro účel experimentu kapalinu přivádět do místa řezu externě. Největší výhodou toho stroje je skutečnost, že tento stroj má zabudovanou kladku, na kterou se dá pověsit závaží, a tím vrtat konstantní posuvovou silou (viz obrázek č. 24).

Další obrovskou výhodou toho stroje je přítomnost fotočidla (viz obrázek č. 25), které bylo nastaveno tak, aby spouštělo a zastavovalo stopky měřící čas obrábění (viz obrázek č. 26).



*Obr. 25 Fotočidlo s přípravkem*



*Obr. 26 Stopky připojené na fotočidlo*

Princip přípravku s fotočidlem fungoval tak, že pomocí dvou vymežovacích tyčí se nastavila vzdálenost, která nám určovala hloubku vrtání. Tato hloubka vrtání se nastavila na začátku experimentu a až do konce experimentu zůstala stejná. Doporučená hodnota hloubky vrtání je minimálně 1 krát průměr vrtáku. V našem případě by hloubka neměla být menší než 9,3 mm. Po přidání náběhové části byla nastavená hloubka vrtání na 10 mm. Tudíž po vyvrtání 10 mm fotočidlem projela druhá vymežovací tyč a to zastavilo stopky, na kterých byl čas vrtání pro náš experiment.

### 7.6 Zařízení pro měření sil

K měření sil při vrtání bylo použito dynamometru a příslušenství od firmy KISTLER. Samotný dynamometr (viz obrázek č. 27) byl připojen k stolu vrtačky. Dynamometr měřil 3 kolmé složky

zatěžujících sil při vrtání ( $F_x$ ,  $F_y$  a  $F_z$ ). Dynamometr má vysokou tuhost a vysokou vlastní frekvenci. Dynamometr je korozivzdorný a odolný proti vodě a řezným kapalinám. Před měřením je nezbytně nutné připojit dynamometr na rovný a čistý povrch. Pokud by tomu tak nebylo, tak výsledky měření mohou být zkreslené či nepřesné.



*Obr. 27 Dynamometr*

Data z dynamometru byla následně odesílána do zesilovače a převodníku signálu KISTLER 5019 (viz obrázek č. 28). Pro získání a vyhodnocení signálu ze zesilovače při měření se používal notebook vybaven PCMCIA kartou a softwarem KISTLER DynoWare.



*Obr. 28 Zesilovač a převodník signálu KISTLER 5019 s připojeným notebookem*



Tento program nám umožnil pracovat se získanými daty, případně jejich pozdější načtení, prohlížení a uložení v různých výstupních formátech. Před každým měřením se muselo všechno nastavit dle přiloženého návodu. Výstupem vždy byly grafy jednotlivých složek síly a kroutivého momentu. Tato data bylo možné exportovat do formátu txt, se kterým lze pracovat i mimo software DynoWare. Před začátkem měření se dynamometr musel kalibrovat (viz Kap 7.8).

## 7.7 Drsnoměr

Pro vyhodnocení jakosti povrchu vyvrtaných děr a následné porovnání jednotlivých řezných kapalin byl použit přenosný digitální drsnoměr Mitutoyo SJ – 201P, který je znázorněn na obrázku č. 29. Tento drsnoměr je kompaktní a efektivně se hodí do dílenského prostředí. Drsnoměr má zdvih snímače až 350  $\mu\text{m}$  a posuv ramene až 12,5 mm. Nejmenší Cut-off<sup>1</sup> činí 0,25 mm. Pro můj experiment jsme se s vedoucím bakalářské práce dohodli na vyhodnocení těchto parametrů drsnosti[14]:

- Ra [ $\mu\text{m}$ ] – průměrná aritmetická úchylka hodnoceného povrchu
- Ry [ $\mu\text{m}$ ] – největší výška profilu (dle JIS B 0031 a JIS B 0601 (1994))
- Rz [ $\mu\text{m}$ ] – výška nerovností profilu z deseti bodů (ČSN 01 4450 (1980), ČSN ISO 4287 - 1 (1984))
- Rq [ $\mu\text{m}$ ] – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu (ČSN EN ISO 4287 (1999)) [15]



Obr. 29 Drsnoměr Mitutoyo SJ – 201P



Obr. 30 Posuvné rameno drsnoměru

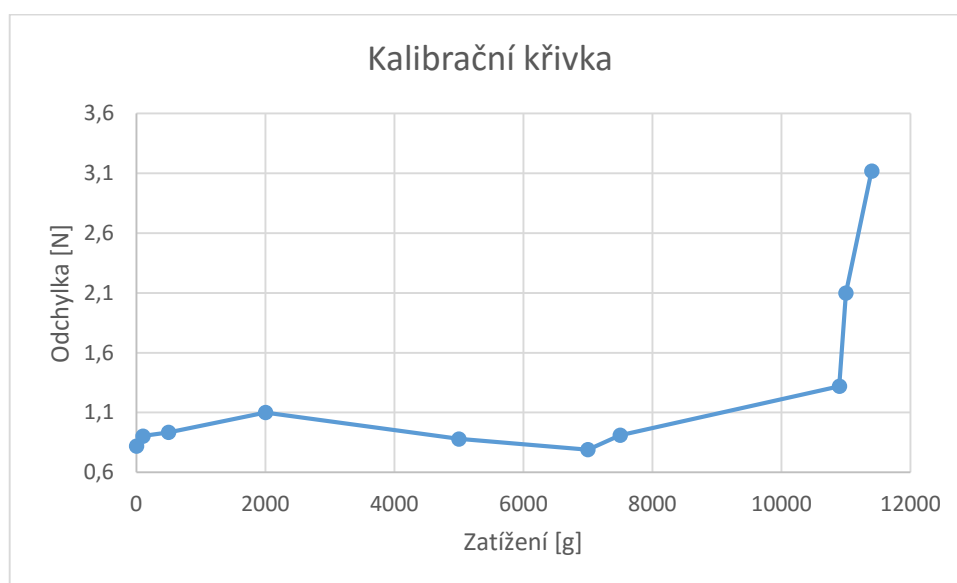
<sup>1</sup> Cut-off ( $\lambda_c$ ; Lc) - označení filtru pro oddělení drsnosti a vlnitosti. Zpravidla se nastavuje velikost 0,8 a podle kvality povrchu může být větší nebo menší. Normami je daná řada doporučených hodnot tabulkou (EN ISO 3274). [17]

Vyhodnocování probíhalo na 5 základních délkách s Cut-offem 0,8 mm.

### 7.8 Měření časů vrtání, řezných sil a krouticího momentu

Samotné měření probíhalo na soustavě zařízení, které jsem popsal v předešlých kapitolách. Pro statistické vyhodnocení experimentu jsem musel získat od každé kapaliny alespoň 5 děr, avšak pro větší přesnost měření jsem vrtal 10 děr pro každou kapalinu.

Pro začátek měření jsem musel přístroj zkalibrovat. Postupoval jsem již ověřeným způsobem, kdy jsem na dynamometr pokládal závaží o dané hodnotě. Samotnou kalibrační křivku můžeme vidět na obrázku č. 31.



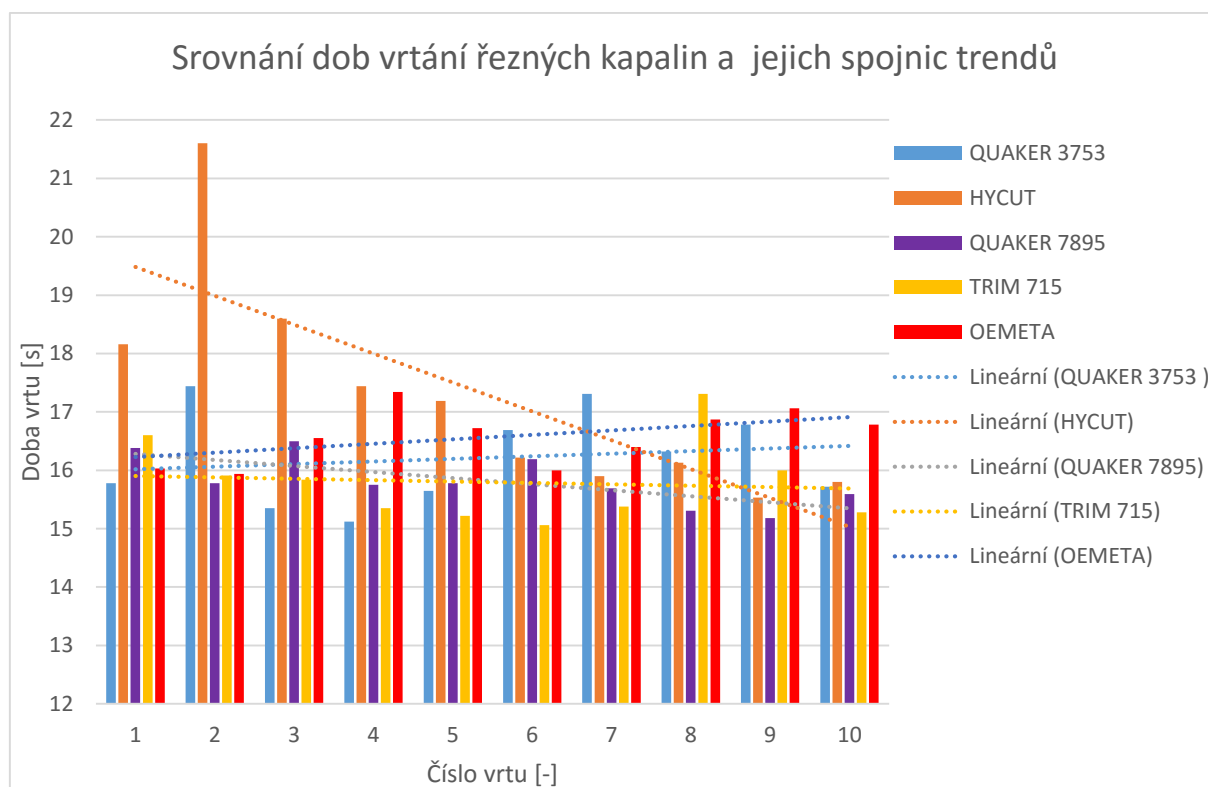
Obr. 31 Kalibrační křivka

Jelikož jsme vrtali se zatížením o tíze včetně a přidaným 100 gramovým závažím, tak dle kalibrační křivky odchylka naměřené hodnoty od skutečné hodnoty je 2,1 N. Na kalibrační křivce můžeme vidět, že v případě značného růstu hmotnosti působící na dynamometr odchylka značně roste.

Nejprve začneme vyhodnocením časů vrtání. V tabulce č. 6 vidíme všech 10 časů vrtání od každé kapaliny.

Tab. 6 Doby vrtání děr za pomoci jednotlivých řezných kapalin

čas [s]	Testované řezné kapaliny				
	QUAKER 3753	HYCUT	QUAKER 7895	TRIM 715	OEMETA
1.	15,78	18,16	16,38	16,60	16,03
2.	17,44	21,60	15,78	15,91	15,94
3.	15,35	18,60	16,50	15,84	16,55
4.	15,12	17,44	15,75	15,35	17,34
5.	15,65	17,19	15,78	15,22	16,72
6.	16,69	16,22	16,19	15,06	16,00
7.	17,31	15,90	15,69	15,38	16,40
8.	16,32	16,13	15,31	17,31	16,87
9.	16,78	15,53	15,18	16,00	17,06
10.	15,72	15,80	15,59	15,28	16,78



Obr. 32 Srovnání dob vrtání + spojnice trendů

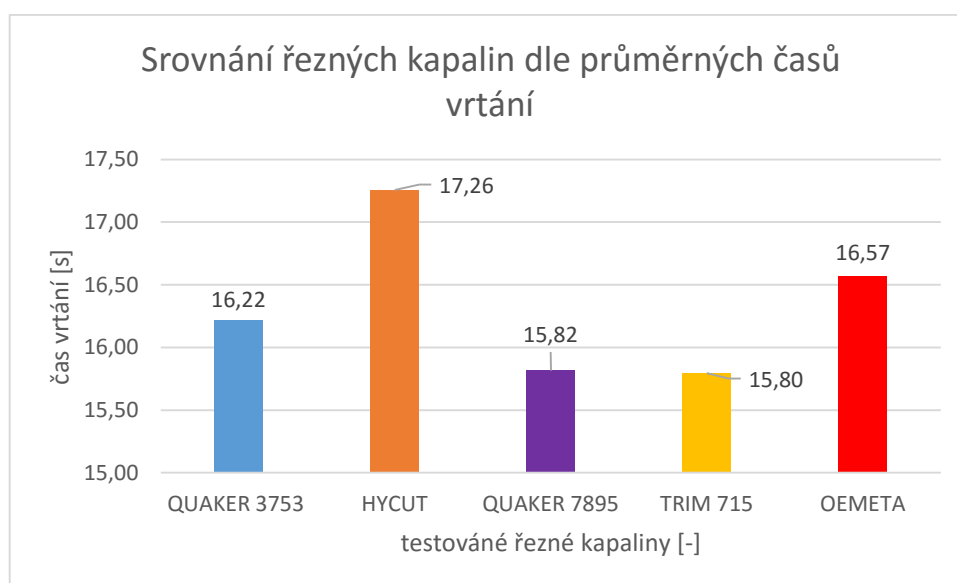
Na obrázku č. 32 můžeme vidět pro porovnání všechny časy vrtání příslušných kapalin. Jsou zde také přidány spojnice trendů, které by měly být ideálně vodorovné čáry. Nejvíce vychýlená spojnice je u kapaliny HYCUT ET 46 + ADITIV ET.

Získaná data jsem následně zprůměroval a tím získal průměrnou dobu vrtu pro každou řeznou kapalinu v sekundách.

Tab. 7 Průměrná doba vrtů a srovnání kapalin

Testované řezné kapaliny	QUAKER 3753	HYCUT	QUAKER 7895	TRIM 715	OEMETA
průměrná doba vrtu [s]	16,22	17,26	15,82	15,80	16,57
srovnání kapalin dle času	3.	5.	2.	1.	4.

Pro přehlednější vyhodnocení jsem následující hodnoty použil do grafu, který můžeme vidět na obrázku č. 33.



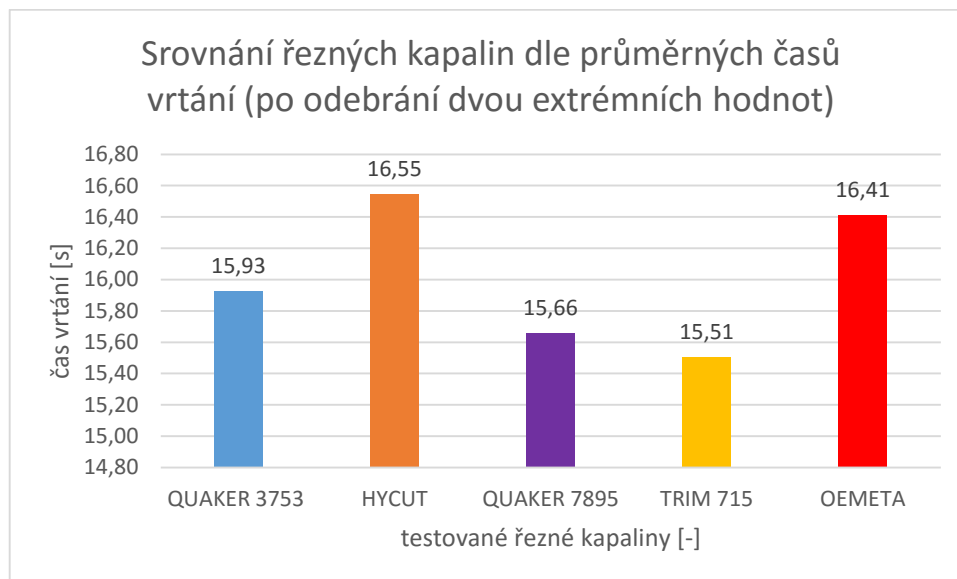
Obr. 33 Porovnání řezných kapalin dle času vrtání

Tento graf má svojí vypovídající hodnotu, ovšem může obsahovat extrémní hodnoty, které nám průměrnou dobu vrtání mohly rozhodit. Proto jsem se rozhodl odstranit ze souboru dvě extrémní hodnoty (největší a nejmenší změřenou) a vyhodnotit kapaliny ještě jednou.

Tab. 8 Průměrná doba vrtů po odstranění dvou extrémních hodnot

Testované řezné kapaliny	QUAKER 3753	HYCUT	QUAKER 7895	TRIM 715	OEMETA
průměrná doba vrtu [s]	16,22	17,26	15,82	15,80	16,57
srovnání kapalin dle času	3.	5.	2.	1.	4.
průměrná doba vrtu po odstranění extrémů [s]	15,93	16,55	15,66	15,51	16,41
srovnání kapalin dle času	3.	5.	2.	1.	4.

Jak můžeme vidět z tabulky č. 8, tak i po odstranění dvou extrémních hodnot se pořadí kapalin nezměnilo. Pro lepší přehled jsem hodnoty vynesl do grafu na obrázku č. 34.



Obr. 34 Porovnání řezných kapalin dle času vrtání bez extrémních hodnot

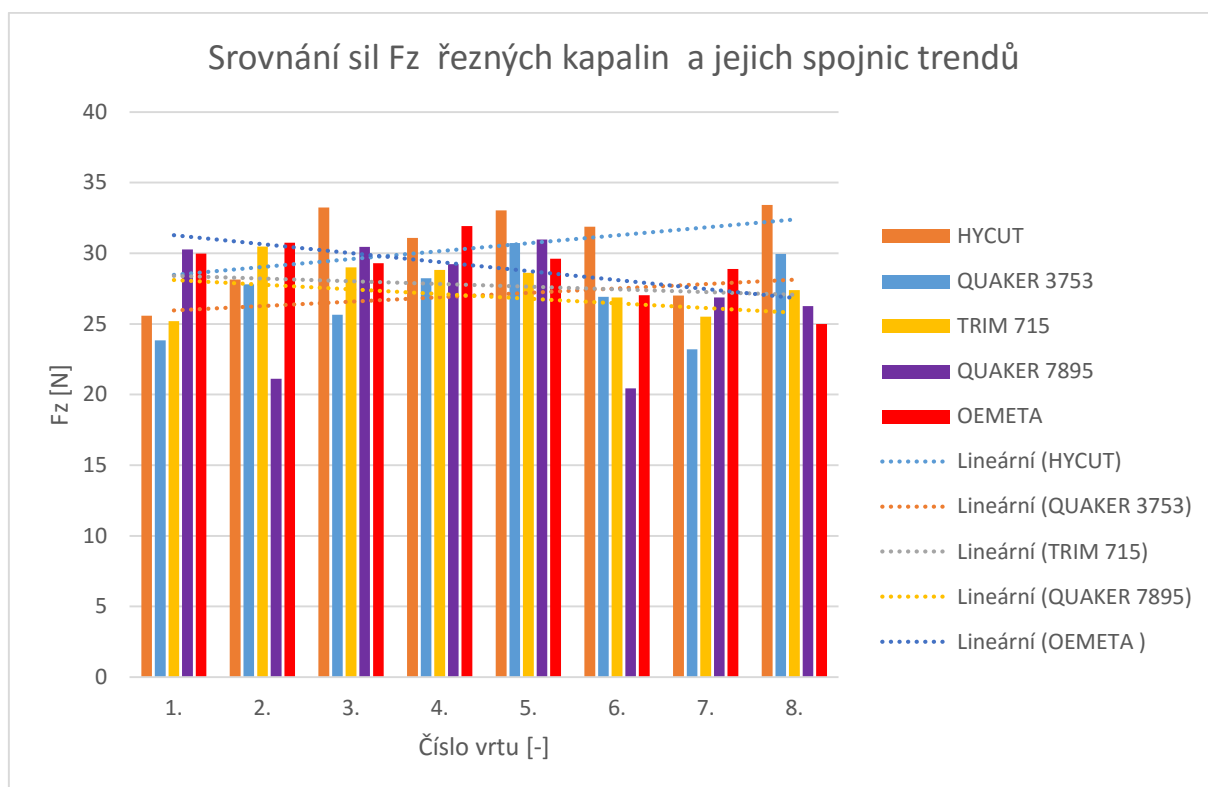
Jak můžeme vidět pořadí řezných kapalin, tak nejrychlejší čas vyvrtání díry má kapalina TRIM 715 s hodnotou 15,51 s. Nejpomalejší v tomto experimentu bylo vrtání s kapalinou HYCUT ET 46 + ADITIV ET, která má průměrnou dobu vrtání 16,55 s. Rozdíl mezi nejlepší a nejhorší kapalinou činí 1,04 s.

Nyní přejdeme k měření sil. Nejdůležitější složkou řezné síly při vrtání je složka Fz. Složky síly Fx a Fy nebyly vyhodnocovány, jelikož jsem buď nulové, nebo velmi malé, tudíž zanedbatelné. Hodnoty Fz byly zjištěny pomocí softwaru DynoWare tak, že z průběhu Fz v čase program vypočítal v zadaném intervalu měření střední hodnotu. Pro přesnější měření jsem již na začátku odebral dvě extrémní hodnoty od každé kapaliny.

Tab. 9 Hodnoty Fz pro každou kapalinu

Přehled sil Fz pro jednotlivé kapaliny bez extrémních hodnot								
<b>HYCUT F - [N]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Fz - střední hodnota	78,49	69,88	75,14	79,19	79,53	79,22	79,48	78,87
<b>QUAKER 3753 F - [N]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Fz - střední hodnota	78,25	80,09	77,34	81,32	61,7	68,38	81,59	76,69
<b>TRIM 715 F - [N]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Fz - střední hodnota	68,65	74,33	77,13	76,64	78,46	77,91	77,23	78,37
<b>QUAKER 7895 F - [N]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Fz - střední hodnota	79,1	77,32	70,57	75,95	74,67	74,9	75,17	74,17
<b>OEMETA F - [N]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Fz - střední hodnota	77,74	78,29	74,84	77,65	75,08	80,5	76,92	75,92





Obr. 35 Srovnání složek sil Fz a spojnic trendů

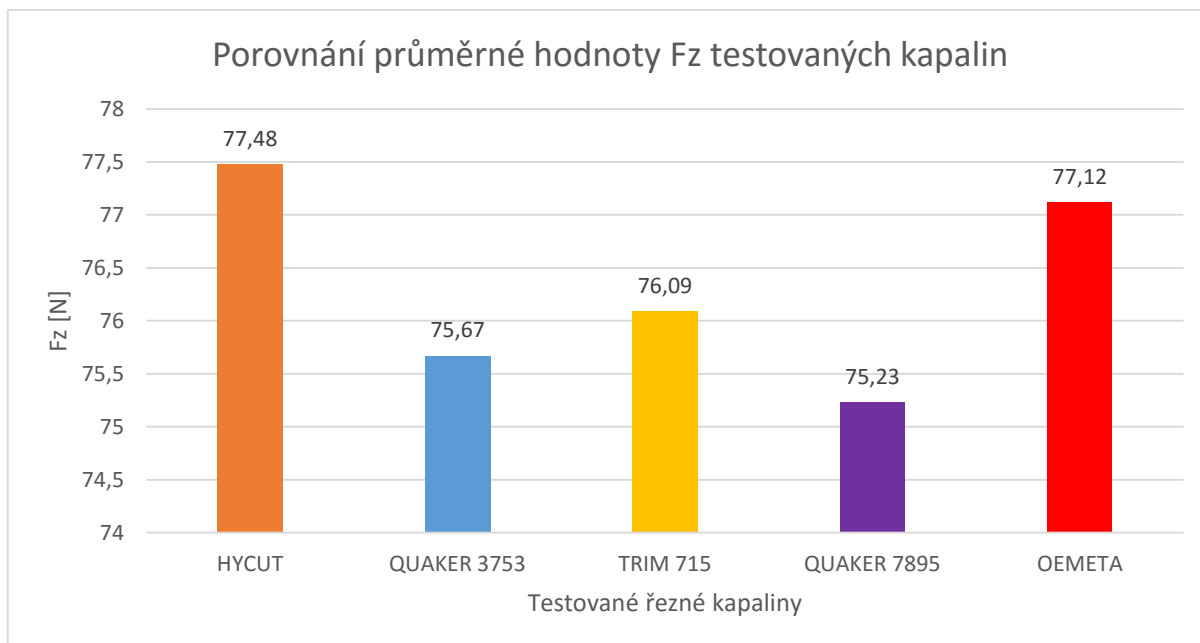
Na rozdíl od spojnic trendů dob trvání vrtání jsou spojnice trendů složek sil Fz více vodorovnější, tudíž hodnoty jsou více vyrovnané.

Všechny naměřené hodnoty Fz jsem následně zprůměroval a zaznamenal do tabulky.

Tab. 10 Průměrné hodnoty Fz

<b>HYCUT</b>	Průměrná hodnota Fz [N]
	77,48
<b>QUAKER 3753</b>	Průměrná hodnota Fz [N]
	75,67
<b>TRIM 715</b>	Průměrná hodnota Fz [N]
	76,09
<b>QUAKER 7895</b>	Průměrná hodnota Fz [N]
	75,23
<b>OEMETA</b>	Průměrná hodnota Fz [N]
	77,12

Tyto hodnoty jsem následně pro větší přehlednost srovnal do grafu, který můžeme vidět na obrázku č. 36.



*Obr. 36 Porovnání průměrných hodnot Fz*

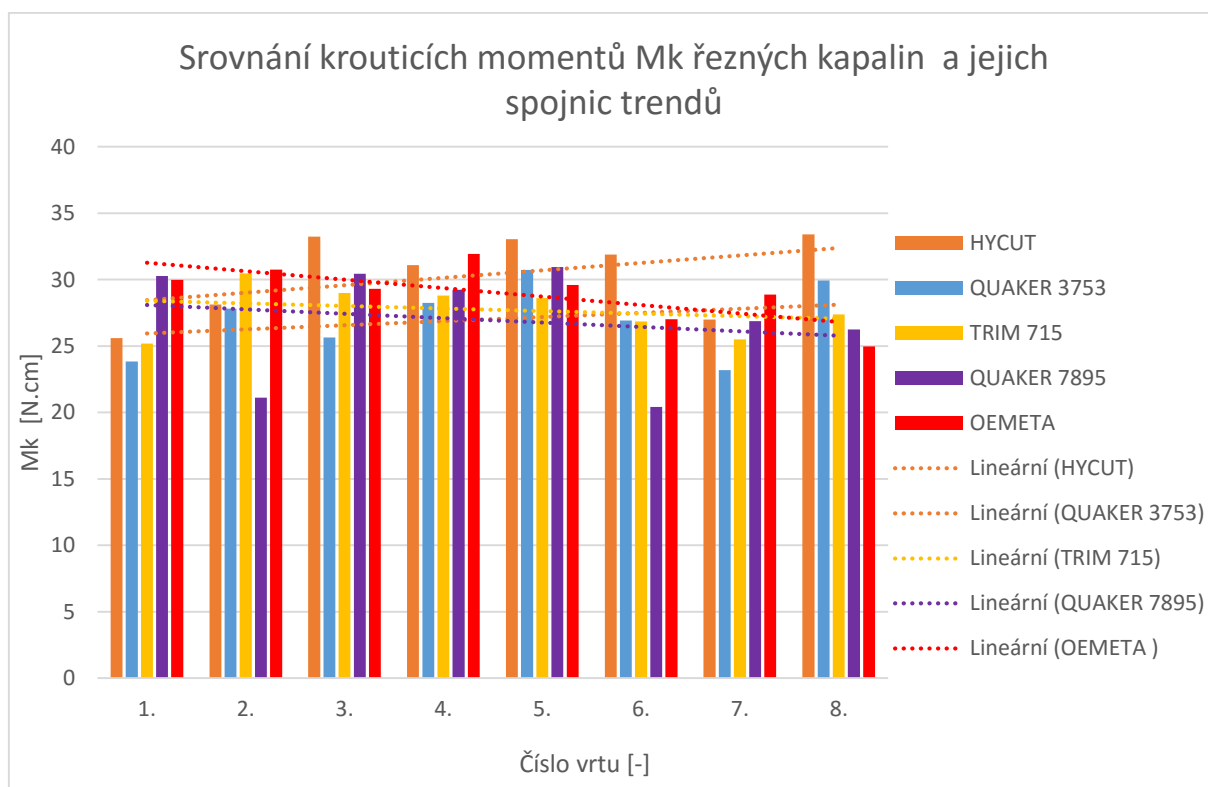
Z naměřených hodnot můžeme vidět, že nejpříjemnější kapalinou s nejmenší naměřenou silou Fz je QUAKERCOOL 7895 OIL + QUAKERCOOL W ALCA

BFF s hodnotou 75,23 N. Naopak největší hodnota řezné síly byla naměřená u řezné kapaliny HYCUT ET 46 + ADITIV ET s hodnotou 77,48 N.

Nakonec jsem vyhodnocoval krouticí moment Mk. Přehled krouticích momentů již po odebrání dvou extrémních hodnot můžeme vidět v tabulce č. 11.

*Tab. 11 Přehled krouticích momentů*

Přehled krouticích momentů Mk								
<b>HYCUT Mk - [N.cm]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Mk - střední hodnota	25,59	28,13	33,24	31,09	33,04	31,88	27	33,41
<b>QUAKER 3753 Mk - [N.cm]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Mk - střední hodnota	23,84	27,81	25,65	28,24	30,73	26,92	23,19	29,95
<b>TRIM 715 Mk - [N.cm]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Mk - střední hodnota	25,19	30,48	29,01	28,81	28,61	26,86	25,51	27,39
<b>QUAKER 7895 Mk - [N.cm]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Mk - střední hodnota	30,27	21,12	30,44	29,23	30,96	20,43	26,87	26,25
<b>OEMETA Mk - [N.cm]</b>	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Mk - střední hodnota	29,98	30,75	29,3	31,93	29,61	27,03	28,88	24,98



Obr. 37 Srovnání krouticích momentů a spojnic trendů

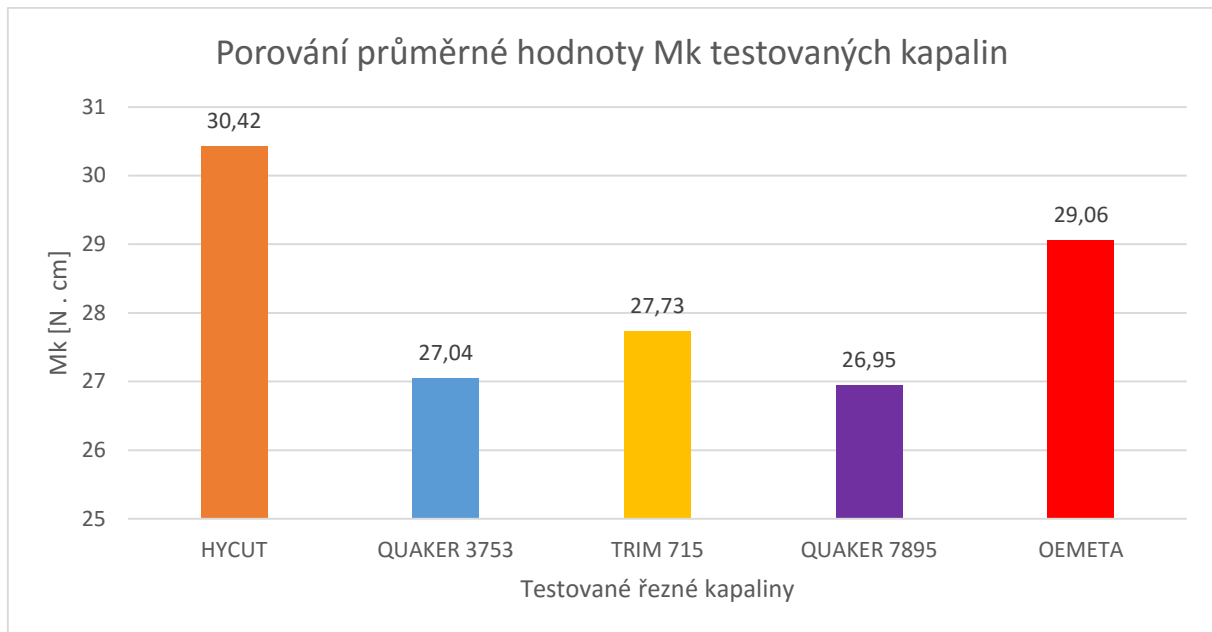
Dle obrázku č. 37 vidíme, že nejhorší průběh spojnic trendů mají kapaliny HYCUT ET 46 + ADITIV ET a OEMETA ALUMET AL100.

Všechny naměřené hodnoty Mk jsem zprůměroval a uvedl do tabulky č. 12.

Tab. 12 Průměrné hodnoty Mk

<b>HYCUT</b>	Průměrná hodnota Mk [N.cm]
	30,42
<b>QUAKER 3753</b>	Průměrná hodnota Mk [N.cm]
	27,04
<b>TRIM 715</b>	Průměrná hodnota Mk [N.cm]
	27,73
<b>QUAKER 7895</b>	Průměrná hodnota Mk [N.cm]
	26,95
<b>OEMETA</b>	Průměrná hodnota Mk [N.cm]
	29,06

Tyto hodnoty jsem následně uvedl do grafu, který je na obrázku č. 38.



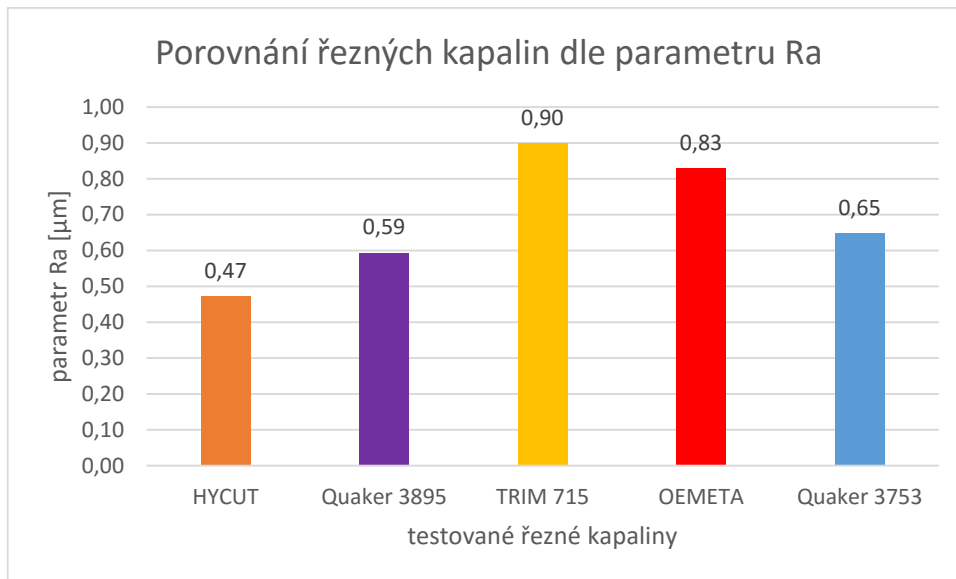
Obr. 38 Porovnání průměrných hodnot Mk

Z naměřených a vypočítaných hodnot vidíme, že nejmenší krouticí moment byl naměřen u kapaliny QUAKERCOOL 7895 OIL + QUAKERCOOL W ALCA BFF, a to 26,95 N.cm. Největší krouticí moment byl naměřen u kapaliny HYCUT ET 46 + ADITIV ET, konkrétně 30,42 N.cm.

### 7.9 Měření drsnosti

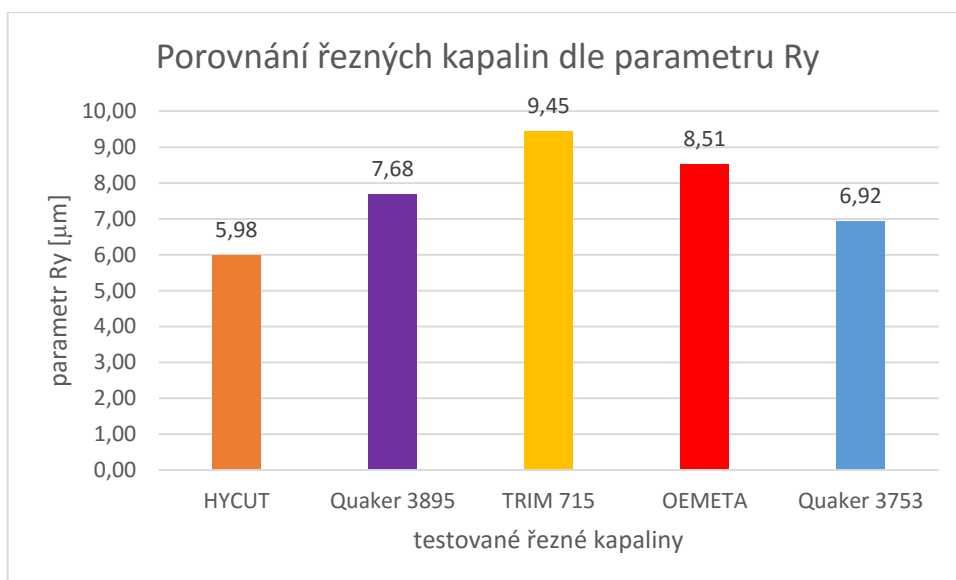
Měření drsnosti jsem provedl zařízením uvedeným v kapitole 7.7. Vyhodnocoval jsem celkem čtyři parametry drsnosti, a to Ra, Ry, Rz a Rq. Naměřené hodnoty všech parametrů jsem zprůměroval a následně porovnal mezi sebou. Pro přehlednost a lepší srozumitelnost jsem vypočítané hodnoty hned dával do grafu.

Nejmenší hodnoty parametru Ra dosáhla kapalina HYCUT ET 46 + ADITIV ET s hodnotou 0,47  $\mu\text{m}$ . Největší hodnoty naopak dosáhla kapalina TRIM E715 s hodnotou 0,90  $\mu\text{m}$  (viz obrázek č. 39).



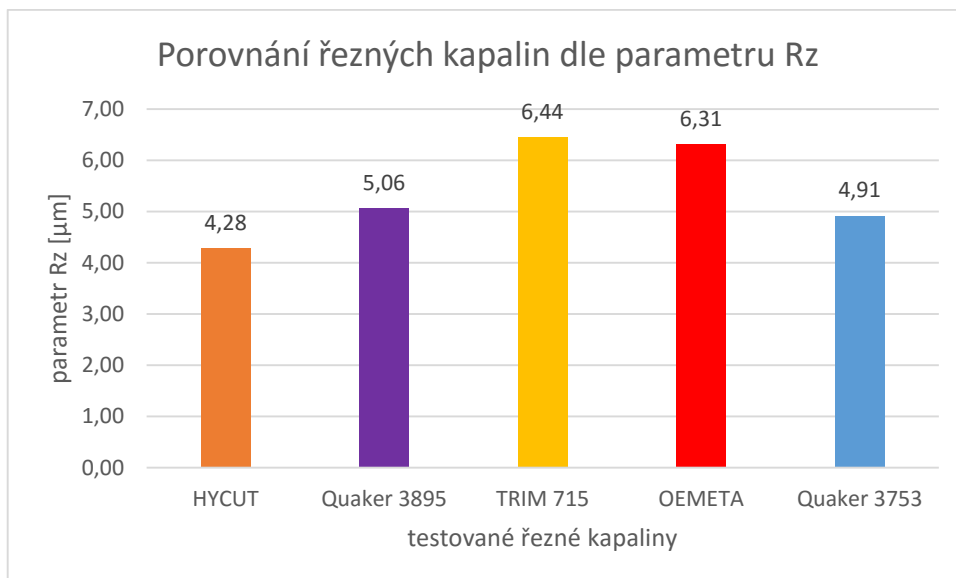
*Obr. 39 Porovnání řezných kapalin dle Ra*

Dle parametru Ry opět vidíme, že největší hodnota patří kapalině TRIM E715 a činí 9,45  $\mu\text{m}$ . Nejmenší hodnota patří kapalině HYCUT ET 46 + ADITIV ET a činí 5,98  $\mu\text{m}$ .



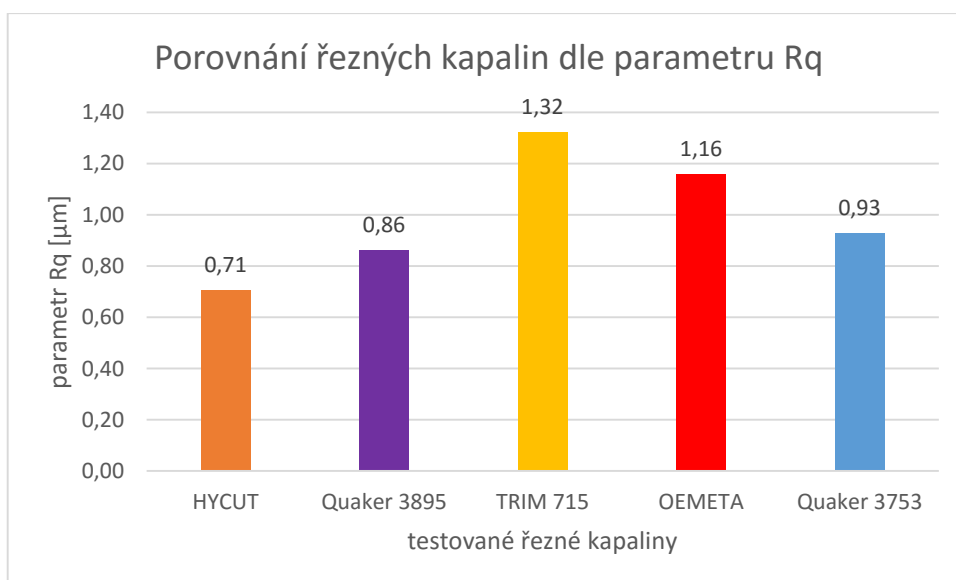
*Obr. 40 Porovnání řezných kapalin dle Ry*

Podle parametru Rz největší hodnotu 6,44  $\mu\text{m}$  má opět kapalina TRIM E715, ovšem zde vidíme, že další kapalina v pořadí OEMETA ALUMET AL100 za ní zaostává jen o 0,13  $\mu\text{m}$ , což je skoro zanedbatelné. Nejmenší hodnotu Rz 4,28  $\mu\text{m}$  má opět kapalina HYCUT ET 46 + ADITIV ET.



*Obr. 41 Porovnání řezných kapalin dle Rz*

Podle parametru Rq jsou výsledky podobné jako u předchozích parametrů. Největší hodnoty Rq, a to 1,32 μm, dosáhla kapalina TRIM E715. Nejmenší hodnoty 0,71 μm dosáhla kapalina HYCUT ET 46 + ADITIV ET. Je ovšem vidět, že hodnoty jsou více vyrovnané a liší se o desítky μm.



*Obr. 42 Porovnání řezných kapalin dle Rq*

## 8. Vyhodnocení a závěr

### 8.1 Vyhodnocení experimentální části

V experimentální části jsem různými metodami porovnával pět řezných kapalin, které jsou z provozů společnosti ŠKODA AUTO, jsou určeny k obrábění stejného materiálu a používají se při stejných technologiích obrábění. Konkrétně šlo o kapaliny:

- QUAKERCOOL 7895 OIL + QUAKERCOOL W ALCA BFF (dvojsložková),
- HYCUT ET 46 + ADITIV ET (dvojsložková),
- TRIM E 715,
- OEMETA ALUMET AL 100,
- QUAKER 3753 AL BF.

První dvě zkoušky probíhaly na vrtačce Kazanlik, kde se zjišťovaly časy vrtání děr za působení jednotlivých kapalin a následně se vyhodnocoval průběh složky řezné síly  $F_z$  a krouticího momentu  $M_k$ . Vrtalo se do hloubky 10 mm, otáčky činily 1500 otáček za minutu a vrtalo se za pomoci konstantní posuvové síly.

Co se týče doby vrtání, tak nejrychleji vyvrtané díry byly s kapalinou TRIM E715, kde průměrná doba vrtání činila 15,51 s. Nejpomaleji se vrtalo s kapalinou HYCUT ET 46 + ADITIV ET, kde průměrná doba vrtání činila 16,55 s. Jelikož rozdíl činí 1,04 s, tak se to zdá jako málo, ale když si uvědomíme skutečnost, že tyto díry se obrábí v milionových sériích tak zde můžeme mluvit o velikánské úspoře času, a tím i energií.

Dalším hodnoticím parametrem byla složka řezné síly  $F_z$ . Zde se hodnoty srovnaly do celkem úzkého intervalu, tudíž rozdíly byly nepatrné. Nejmenší hodnotu  $F_z$ , a to 75,23 N, měla řezná kapalina QUAKERCOOL 7895 OIL + QUAKERCOOL W ALCA BFF. Největší hodnotu 77,48 N měla kapalina HYCUT ET 46 + ADITIV ET. Ovšem jak jsem uvedl na začátku, rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou činil 2,25 N (což odpovídá 2,9%), tudíž je to téměř až zanedbatelný faktor.

Další na řadě je krouticí moment  $M_k$ . Zde podobně jako u  $F_z$  nejmenší hodnotu 26,95 N.cm má kapalina QUAKER 7895 OIL + QUAKERCOOL W ALCA BFF. Největší hodnota krouticího momentu 30,42 N.cm byla naměřená u dvojsložkové kapaliny HYCUT ET 46 + ADITIV ET. Rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou zde činí 3,47 N.cm, což odpovídá 11,4%.

Posledním hodnoticím parametrem byly parametry drsnosti povrchu Ra, Ry, Rz a Rq. Kapalina, která dosáhla nejlepší jakosti povrchu, je HYCUT ET 46 + ADITIV ET a měla tyto hodnoty:

- Ra – 0,47  $\mu\text{m}$ ,
- Ry – 5,98  $\mu\text{m}$ ,
- Rz – 4,28  $\mu\text{m}$ ,
- Rq – 0,71  $\mu\text{m}$ .

Kapalina, která naopak měla nejhorší dosaženou jakost povrchu, je TRIM E715 a měla tyto hodnoty:

- Ra – 0,90  $\mu\text{m}$ ,
- Ry – 9,45  $\mu\text{m}$ ,
- Rz – 6,44  $\mu\text{m}$ ,
- Rq – 1,32  $\mu\text{m}$ .

### **Doporučení pro ŠKODA AUTO**

Na základě provedených měření bych doporučil následující:

- V provozu učiliště a interních oprav nahradit kapaliny jinými, konkrétně některou ze sortimentu útvaru PKT – Technický servis, které mají stejné nebo obdobné vlastnosti a dosáhneme tím redukce počtu používaných řezných kapalin.
- Zvážit nahrazení kapaliny TRIM E715, která vykazovala nejhorší výsledky v drsnosti povrchu kapalinou HYCUT ET 46 + ADITIV ET, která by mohla zlepšit dosahované parametry drsnosti.
- Zvážit nahrazení kapaliny HYCUT ET 46 + ADITIV ET, která vykazovala nejdelší časy obrábění a tedy nejmenší výkon obrábění kapalinou TRIM E715, která měla lepší výsledky a mohla by snížit čas obrábění.
- Zvážit pokračování experimentu na řezných kapalinách ve větším rozsahu. Tzn. s větším množstvím nástrojů, na větším množství dílů (materiálu), a případně ještě s reálnými řeznými podmínkami. Výsledkem by mohly být lepší hodnoty a doporučení pro volbu kapalin.

### **8.2 Závěr**

V první polovině bakalářské práce jsem se zabýval teoretickými znalostmi ohledně řezných kapalin. Konkrétně jsem řešil, jaké má kapaliny účinky, co všechno musí řezná kapalina při procesu obrábění plnit a jak vybrat řeznou kapalinu pro operaci, kde potřebujeme preferovat



buď mazací účinek, nebo chladicí účinek. Rozdělil jsem řezné kapaliny a zjistil jsem, jak se hodnotí důležité vlastnosti řezných kapalin. Nakonec jsem uvedl charakteristiky, které řezná kapalina při obráběcím procesu ovlivňuje.

V další části jsem se zaměřil na analýzu řezných kapalin ve společnosti ŠKODA AUTO. V přidělených útvarech jsem zjistil aktuální situaci použití řezných kapalin. Zjistil jsem, že ve společnosti existuje dominantní útvar PKT – Technický servis, který spotřebuje 90% objemu všech zjištěných kapalin v přidělených útvarech. Proto si myslím, že první cesta pro sjednocení řezných kapalin je cesta přizpůsobit se ostatním útvarům a odebírat ty kapaliny, který odebírá útvar PKT ve velkém množství. Tím se značně zredukuje počet řezných kapalin pro společnost ŠKODA AUTO a i počet dodavatelů, se kterými společnost musí být ve styku.

V experimentální části jsem navrhl a popsal konkrétní použití několika metod pro hodnocení řezných kapalin pro účely ŠKODA AUTO. Zaměřil jsem se na úzkou skupinku kapalin, které jsou určené na obrábění hliníku, a ty jsem následně vyhodnocoval. Ukázalo se, že při měření řezných sil nebo krouticích momentů byly rozdíly opravdu nepatrné. Na druhou stranu byly vidět rozdíly v časech vrtání a jakosti povrchu, které ukázaly, že podle těchto parametrů by se mohli některé kapaliny vyselektovat a nahradit jinými s lepším výsledkem.

Závěrem lze konstatovat, že z experimentů, které jsem provedl, plyne, že odebírané kapaliny nedosahují zcela stejných výsledků. Z omezeného množství výsledků nelze vyslovit jednoznačné závěry a doporučení. Ale jsem přesvědčen, že jsem naznačil cestu, jak by sjednocení řezných kapalin ve ŠKODA AUTO mohlo vypadat. Domnívám se, že v rámci bakalářské práce toto téma kompletně vyřešit není reálné. Snaha vyřešit toto téma ve společnosti ŠKODA AUTO již probíhá, ale bylo potvrzeno, že se jedná o běh na dlouhou trať. Jednání o sjednocení řezných kapalin ve ŠKODA AUTO jsou v počáteční fázi a tato bakalářská práce by mohla sloužit jako jeden z podkladů pro vyřešení tohoto problému.

Mrzí mě, že jsem nemohl nahlédnout a následně, pro tuto bakalářskou práci, vyhodnotit řezné kapaliny z ekonomické stránky pohledu s ohledem na nedostupnost ekonomických dat. Jsem přesvědčen, že pomocí nákladů na pořízení, dopravu, skladování, údržbu či likvidaci by mohl vzniknout konstruktivní návrh na sjednocení řezných kapalin, který by pro společnost ŠKODA AUTO mohla znamenat velké úspory.

## Seznam použité literatury

- [1] AB SANDVIK COROMANT – SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – kniha pro praktiky*. Přeložil M. Kudela, 1. české vydání 1997. ISBN 91- 97 22 99-4-6.
- [2] LIEMERT, Gaston. *Obrábění*. Praha: SNTL, 1974.
- [3] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80- 86706- 09- 5.
- [4] BUMBÁLEK, Bohumil, Bohuslav OŠŤÁDAL a Emil ŠAFR. *Řezné kapaliny*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [5] Snížení tření mazáním. In: *Amper* [online]. Brno: oddělení fyziky Pedagogické fakulty Masarykovy Univerzity, neuvedeno [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: <http://amper.ped.muni.cz/~navratil/html/FMkomplet2.htm>
- [6] MANG, T; DRESEL, W. *Lubricant and lubrication*. 2007. Weinheim : Wiley-vch, January 2007. 848 s. ISBN 978-3-527-31497-3
- [7] MM Průmyslové spektrum. *Kapaliny pro obrábění*. KREJČÍK, L. [online]. [cit. 5.5.2012]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kapaliny-pro-obrabeni.html>
- [8] KOČMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek :Svazek 7. Obrábění*. Praha :Dashöfer,2001. ISBN 80-902247-2-5
- [9] Rozhodující je použití efektivního chlazení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014, 2014(1) [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rozhodujici-je-pouziti-efektivniho-chlazení.html>
- [10] Vysokotlaké přísady. In: *Optilube* [online]. Optilube [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: [http://www.optilube.cz/oleje-maziva/term\\_165](http://www.optilube.cz/oleje-maziva/term_165)
- [11] Diagnostika obráběcích kapalin. *Tribotechnika* [online]. 2014(3) [cit. 2016-07-04]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32014/diagnostka-obrabecich-kapalin.html>
- [12] HAVLÍČKOVÁ, J. *Využití simulace pro predikci vad a hodnocení vlastností u tlakově litých odlitků z Al slitin*. Diplomová práce v oboru „Strojírenská technologie“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2011. 94 s.

- [13] DILLINGER, Josef. A KOL. Moderní strojírenství pro školu a praxi. Praha: Europa - Sobotáles cz., 2007. ISBN 978-80-86706-19-1
- [14] Drsnoměry. *Kvalita a Geometrické specifikace produktů* [online]. 2006 [cit. 2016-07-04]. ISSN 1801-5352. Dostupné z: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/2609\\_Mitutoyo\\_Drsnomery.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2609_Mitutoyo_Drsnomery.pdf)
- [15] OBERMAJER, Ladislav. *Vliv progresivních metod obrábění na řezný proces a kvalitu povrchové vrstvy*. Praha, 2010. Diplomová práce. ČVUT v Praze.
- [16] HUMÁR, Anton. *Technologie 1 – Technologie obrábění – 2. část*. [přednáška]. Brno: VUT, 2004.
- [17] FAQ - o drsnosti. *JENOPTIK* [online]. Teplice: HOMMEL CS, s. r. o. [cit. 2016-07-08]. Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/faq-nejcasteji-kladene-otazky/>

## Seznam příloh

- Příloha 1 - výkres vrtáku pro experiment (v elektronické podobě)
- Příloha 2 - bezpečnostní list ke kapalině QUAKERCOOL 7895 OIL + QUAKERCOOL W ALCA BFF (v elektronické podobě)
- Příloha 3 - bezpečnostní list ke kapalině QUAKER 3753 AL BF (v elektronické podobě)
- Příloha 4 - bezpečnostní a technický list ke kapalině HYCUT ET 46 + ADDITIV ET (v elektronické podobě)
- Příloha 5 - bezpečnostní list ke kapalině OEMETA ALUMET AL 100 (v elektronické podobě)
- Příloha 6 - bezpečnostní a technický list ke kapalině TRIM E715 (v elektronické podobě)