

Výzkum vlivu procesní kapaliny na jakost broušených výrobků

Lucia Vatrťová

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ing. Lucia VATRTOVÁ**
Osobní číslo: **T10730**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Výzkum vlivu procesní kapaliny na jakost
broušených výrobků**

Zásady pro vypracování:

- 1. Hodnoťte teorii a technologii broušení**
- 2. Uvedte vliv procesních kapalin na obráběcí proces**
- 3. Uvedte metody hodnocení jakosti broušených ploch**
- 4. Experimentálně hodnoťte vliv procesních kapalin na jakost**
- 5. Hodnoťte přínos nové technologie**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

JURKO, J., LUKOVICS, I. *Obrábateľnosť materiálov*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne, Fakulta technologická, 2008. ISBN 978-80-7318-736-1.

KOCMAN, K. *Speciální technologie: obrábění*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8.

ČERNÝ, F., MARŠÁLEK, J., TRMAL, J. *Brusky a broušení*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1970.

SOUČEK, J., BUDA, J., VASILKO, K. *Teória obrábania*. 2. preprac. vyd. Bratislava: Alfa, 1988.

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: VATRTOVA LUCIA

Obor: T2

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 13.5.2013

.....
.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá testovaním vplyvu chladiacej kvapaliny na rezné podmienky pri brúsení a kvalitu brúsenej plochy vo výrobnom procese spoločnosti Topos, a.s. Tovarníky. Teoretická časť je zameraná na oblasť technológie brúsenia, význam chladiacej kvapaliny v procese brúsenia a vyhodnocovanie kvality brúseného povrchu. Tieto poznatky sú využité v praktickej časti práce.

Praktická časť obsahuje charakteristiku podmienok výskumu brúsneho procesu. Nasleduje zhodnotenie testovania z viacerých hľadísk: vplyv chladiacej kvapaliny na zvyšovanie rezných podmienok a zachovanie požadovanej kvality povrchu, vplyv druhu a koncentrácie reznej kvapaliny na kvalitu povrchu. Záver práce sa zaoberá zhodnotením ekonomických prínosov použitia špecializovanej chladiacej kvapaliny.

Kľúčové slová: brúsenie, rezné podmienky, chladiaca kvapalina, drsnosť povrchu.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with cutting fluid influence on cutting conditions by grinding and influence on grinded surface quality in production process of Topos, plc. Tovarníky. The theoretical part is focused on grinding technology, cutting fluid importance by grinding and evaluation of grinded surface quality. Knowledge in this field is used in practical part of this bachelor thesis.

The practical part contains research conditions characteristics, followed by the research evaluation from several points of view: the cutting fluid influence on cutting conditions increase by keeping customer requirements on surface quality, influence of different types and concentrations of cutting fluid on surface quality. The conclusion presents the appraisal of economic gain by using specific type of cutting fluid.

Keywords: grinding, cutting conditions, cutting fluid, surface roughness.

Touto cestou by som sa chcela poďakovať za profesionálny prístup a odborné vedenie vedúcemu bakalárskej práce, prof. Ing. Imrichovi Lukovicsovi, CSc.

Zároveň patrí vďaka môjmu zamestnávateľovi, spoločnosti Topos, a.s., za umožnenie spracovania výsledkov optimalizácie v tejto bakalárskej práci.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia bakalárskej práce a verzia elektronická nahratá do IS/STAG sú totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 TECHNOLÓGIA BRÚSENIA.....	12
1.1 PRINCÍP BRÚSENIA.....	12
1.2 BRÚSNE NÁSTROJE	14
1.2.1 Voľba brúsneho nástroja	15
1.2.2 Materiály brúsneho nástroja.....	16
1.2.3 Označovanie brúsneho nástroja.....	16
1.2.4 Možnosti orovnávanía brúsneho kotúča.....	18
1.3 REZNÉ PODMIENKY A VÝKON PRI BRÚSENÍ	19
1.4 ZÁKLADNÉ METÓDY BRÚSENIA	20
1.5 TYPY BRÚSOK	21
1.5.1 Hrotové brúsky.....	22
1.5.2 Rovinné brúsky	23
2 REZNÉ KVAPALINY A ICH VÝZNAM PRI BRÚSENÍ.....	24
2.1 DRUHY REZNÝCH KVAPALÍN	24
2.2 VOĽBA REZNEJ KVAPALINY	25
3 DRSNOSŤ POVRCHU A JEJ VÝZNAM PRI BRÚSENÍ.....	29
3.1 CHARAKTERISTIKY POVRCHU BRÚSENÝCH PLÔCH.....	30
3.2 METÓDY HODNOTENIA AKOSTI BRÚSENÝCH PLÔCH	33
3.3 VPLYVY NA DRSNOSŤ POVRCHU	36
3.3.1 Brúsny kotúč	36
3.3.2 Podmienky brúsenia	37
3.3.3 Orovnanie brúsneho kotúča.....	37
3.3.4 Použitie a čistota chladiacej kvapaliny	37
3.3.5 Dĺžka vyiskrenia.....	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	39
4 CIEĽ BAKALÁRSKEJ PRÁCE	40
5 PODMIENKY VÝSKUMU V SPOLOČNOSTI TOPOS, A.S. TOVARNÍKY	42
5.1 POUŽITÝ MATERIÁL.....	42
5.2 STROJNÉ ZARIADENIE – BRÚSKA BPV 40	43
5.3 BRÚSNY NÁSTROJ.....	44
5.4 MERACIE ZARIADENIE – DRSNOMER MITUTOYO	44
5.5 POUŽITÉ REZNÉ EMULZIE.....	45
5.6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY A KONTROLNÝ POSTUP PRE BRÚSENIE SKÚMANÉHO VÝROBKU	46
6 VÝSLEDKY A ZHODNOTENIE VÝSKUMU	49

6.1	ZVÝŠENIE REZNÝCH PODMIENOK S POUŽITÍM NOVEJ REZNEJ KVAPALINY	49
6.2	ZÁVISLOSŤ KVALITY POVRCHU NA DRUHU REZNEJ KVAPALINY	53
6.3	ZÁVISLOSŤ KVALITY POVRCHU NA KONCENTRÁCII REZNEJ KVAPALINY	54
6.4	EKONOMICKÉ PRÍNOSY	57
ZÁVER		60
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRI		61
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK		63
ZOZNAM OBRÁZKOV		64
ZOZNAM TABULIEK		65
ZOZNAM PRÍLOH		66

ÚVOD

Segment strojárského priemyslu, ako aj celé podnikateľské prostredie na Slovensku je v súčasnosti značne ovplyvnené nestabilnou situáciou v európskej menovej únii. Hrozby dlhovej krízy nútia firmy k optimalizácii svojich výrobných nákladov, a tým k udržaniu si konkurencieschopnosti na trhu. Z týchto dôvodov sme sa aj v spoločnosti Topos a.s. rozhodli pre optimalizačné činnosti. Keďže výrobný proces sa sústreďuje na široký záber trieskového obrábania, vysoký optimalizačný potenciál je práve v použití vhodných procesných kvapalín pre konkrétny druh obrábania. Kvôli zvýšenej potrebe kapacít na brúsených operáciách sa táto bakalárska práca zaoberá práve vplyvom rezných kvapalín na kvalitu brúsneho procesu.

V spoločnosti je pre všetky obrábacie operácie používaná univerzálna chladiaca kvapalina, čo však nemusí byť práve optimálne z hľadiska výrobných nákladov. Špecializovaná kvapalina umožňuje optimalizovať rezné podmienky, a tým skrátiť procesný čas danej operácie. To so sebou prináša možnosti zníženia nákladov na strojnú aj ľudskú prácu. V neposlednom rade skrátenie výrobného času zvyšuje výrobnú kapacitu daného strojného zariadenia, čo je pri úzkom mieste v procese ďalším prínosom.

Hlavným cieľom tejto práce je optimalizácia výrobného procesu brúsenia prostredníctvom použitia reznej kvapaliny vhodnej pre obrábanie brúsením. Práca skúma vplyv procesnej kvapaliny na možnosť zvýšenia rezných podmienok brúsenia za dodržania zákaznikom požadovanej kvality povrchu. Zároveň porovnáva vplyv rôznych druhov procesných kvapalín na kvalitu brúseného povrchu, ako aj vplyv ich koncentrácie na výslednú kvalitu povrchu.

Pre splnenie cieľov práce sú formulované teoretické východiská v oblasti obrábania brúsením, vplyvu procesných kvapalín na parametre obrábania a na kvalitu obrábaného povrchu. V praktickej časti práce je zhodnotený testovanie rôznych rezných kvapalín pri brúsení v podmienkach spoločnosti Topos a.s., Tovarníky. Hodnotená je výsledná kvalita povrchu pri obrábaní pri rôznych rezných podmienkach a koncentráciách rezných kvapalín. V neposlednom rade je vyhodnotený ekonomický prínos optimalizácie, čo je v podstate hlavným cieľom optimalizačných snáh spoločnosti.

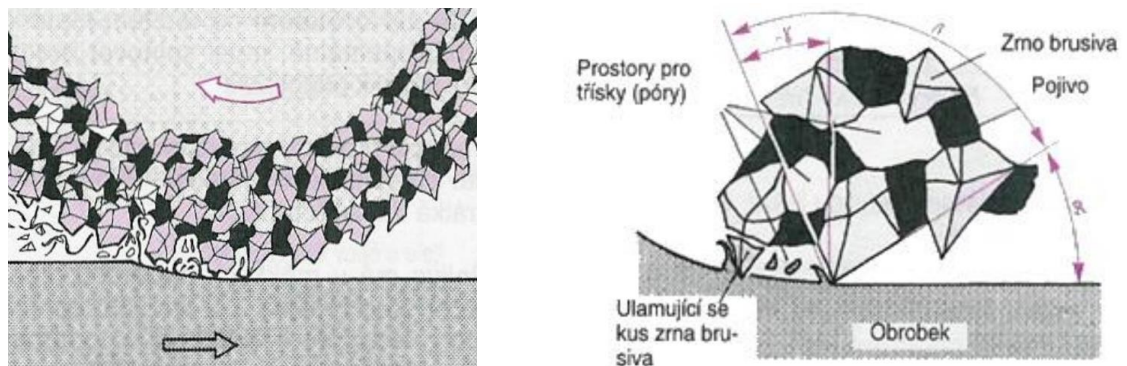
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIA BRÚSENIA

Brúsenie sa radí k historicky najstarším metódam obrábania, ale zároveň k najvýznamnejším, pretože umožňuje vysoko presné dokončovanie. Výhodou je vyššia tvarová a rozmerová kvalita obrábaného povrchu. Patrí medzi abrazívne metódy obrábania, ktoré sa od ostatných líšia použitým nástrojom. [6], [5]

Brúsenie je podľa Řasu a Gabriela definované ako: „*dokončovacia metóda obrábania rovinných, valcových, tvarových vonkajších a vnútorných plôch nástrojom, ktorého brity sú tvorené zrnami tvrdých materiálov, navzájom spojených vhodným spojivom.*“ [6, str. 143]

Nástrojom pre brúsenie je zrná brusiva viazané v telesách rôznych veľkostí a tvarov (kotúče, segmenty, kamene, plátna, atď.). Jednotlivé zrná nemajú presne definovanú geometriu, pretože každé má iný tvar. V nástroji sú umiestnené náhodne a spojené sú spojivom. Voľné miesta medzi spojivom a zrnami sa nazývajú póry. Do nich sa dostáva odchádzajúca trieska. Okrem nástrojov sa pre brúsenie používa aj voľné brusivo, ktorého zrná sú k brúsenému povrchu pritlačované doskou, tŕňom a podobne. Zloženie nástroja je schematicky nakreslené na obrázku 1. [6], [5]



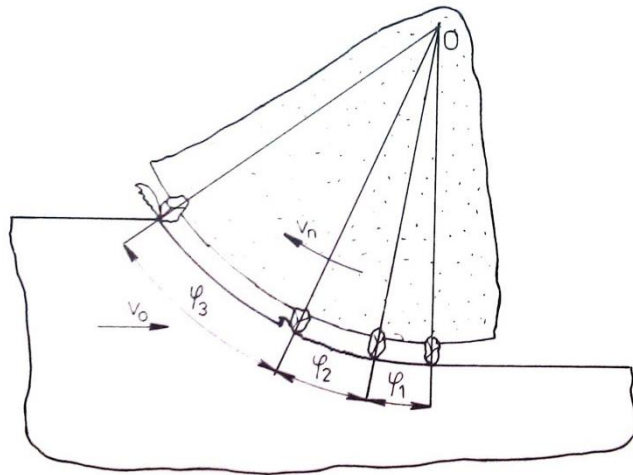
Obr. 1 Brúsny nástroj a geometria brusných zrn [9]

1.1 Princíp brúsenia

Princíp brúsenia spočíva v súčasnom zábere veľkého množstva zrn, ktoré odoberajú triesky veľmi malých rozmerov a rôznych veľkostí (obvykle cca $0,001 \text{ mm}^2$). Hlavný pohyb teda vykonáva nástroj a posuv vykonáva obrobok. Keďže sú zrná v pracovnom povrchu brúsneho nástroja rozmiestnené v rôznych vzdialenostiach, hĺbka ich prieniku do obrábaného povrchu je tiež rôzna. Osobitosti topografie povrchu brúsneho nástroja, zmena veľkosti a geometrie zrn, premenlivá hrúbka odrezávanej vrstvy a ohrev obrábaného materiálu

v zóne brúsenia majú vplyv na proces tvorenia triesky. Každé zrno, ktoré odrezáva materiál v kontaktnej zóne prechádza tromi štádiami [8]:

- φ_1 – pružná deformácia povrchu,
- φ_2 – plastická deformácia,
- φ_3 – odoberanie triesky.



Obr. 2 Štádia brúsenia [8]

Zrná, ktoré odrezávajú triesku, musia prejsť prvými dvoma štádiami. Pri sklze prechádza zrno len jedným štádiom. Počet zrn, ktoré prechádzajú všetkými tromi štádiami závisí od nasledovných faktorov [8]:

- režim brúsenia,
- použitá chladiaca kvapalina,
- technické charakteristiky nástroja,
- podmienky a režim orovňavania.

Okrem pružnej a plastickej deformácie dochádza v povrchovej vrstve brúsených výrobkov aj ku štrukturálnym zmenám. Podľa veľkosti zmien v jednotlivých vrstvách dochádza k vytváraniu reziduálnych napätí – ťahových a tlakových. Ťahové napätie pôsobí negatívne, pretože znižuje únavovú pevnosť. Naopak tlakové napätie spôsobuje zvýšenie únavovej pevnosti a zlepšuje odolnosť povrchu voči oteru. [5]

Proces brúsenia sprevádza v zóne tvorenia triesky značný vývoj tepla, čím sa zahrievajú kontaktné vrstvy brúsnych zrn a spojiva, ako aj povrchové vrstvy obrábaného materiálu. Keďže pri rôznej polohe rezných hrán brúsnych zrn vzhľadom na profil kotúča, existujú 3

druhy interakcie medzi abrazívnymi zrnami a obrábaným povrchom, je aj teplota na kontaktných plochách zrn rôzna [8]:

- maximálna teplota – vzniká na kontaktných povrchoch zrn odoberajúcich triesku;
- teplota na abrazívnych zrnách – vzniká na zrnách, ktoré pracujú v podmienkach pružnej alebo plastickej deformácie materiálu (väčšinou sa pohybuje v nižších rozmedziach a mení sa v závislosti od hĺbky rezu).

Pre správne pochopenie procesu brúsenia je dôležité poznať teplotu kontaktu v zóne kontaktu zrna a materiálu. Kontaktnú teplotu značne ovplyvňuje rezná rýchlosť a z časti aj použitá chladiaca kvapalina. [8]

Budúcnosť technológie brúsenia je orientovaná na vývoj výkonných brúsnych nástrojov, ktoré zabezpečia zvýšenie výkonu a zníženie teploty kontaktu brúsneho nástroja s brúsenými povrchmi. Výsledkom je použitie brúsenia aj pri hrubovacích operáciách, kde pri dodržaní vysokej kvality povrchu, je objem odobraného materiálu za časovú jednotku vyšší ako pri bežných hrubovacích operáciách. Napriek tomu, že brúsenie je stále považované za dokončovaciu operáciu, vývoj je orientovaný na čoraz väčšie zvyšovanie produktivity vo výrobných procesoch. [6], [5]

1.2 Brúsne nástroje

Nástrojom v procese brúsenia sú kotúče, kamene, segmenty, plátna, pásy, ktoré vo vhodnom spoji obsahujú brúsne zrná. Podľa stavu zrna v nástroji delíme brúsne nástroje [6]:

- voľné – brúsiace a leštiace pasty a prášky,
- viazané,
 - v tuhých alebo pružných telesách – kotúče, segmenty, pásy, telieska, pilníky,
 - nanesené a zakotvené na pásoch, plátnach alebo papieroch.

Vlastnosti brúsnych nástrojov sú dané ich tvarom a rozmermi, druhom použitého materiálu, zrnitosťou, tvrdosťou, štruktúrou, druhom spojiva a maximálnou pracovnou rýchlosťou. Výhodou je proces samoostrenia, pri ktorom dochádza za predpokladu správneho zvolenia nástroja a rezných podmienok k rastu reznej sily a k vylamovaniu opotrebených zrn. Tým sa odkrývajú nové ostré zrná, avšak zároveň sa znižuje priemer kotúča. [6]

Keďže okrem materiálu brúsneho kotúča, majú na proces brúsenia vplyv aj jeho tvar a geometria, veľmi dôležitým procesom technológie brúsenia je orovnanie kotúča. Môžeme ho definovať ako jemné obrobenie jeho povrchu. Účelom orovnania je [2]:

- obnoviť požadovaný geometrický tvar kotúča,
- odstrániť brúsený materiál a triesky z povrchu kotúča,
- odstránením otupenej povrchovej vrstvy obnoviť rezivosť kotúča,
- ovplyvniť kvalitu povrchu obrobku.

Hĺbka drsnosti brúseného povrchu vo veľkej miere zodpovedá účinnej hĺbke drsnosti brúsneho kotúča. Pokiaľ je žiadaný jemný výbrus, takisto aj povrch kotúča musí mať malú hĺbku drsnosti a naopak.

1.2.1 Voľba brúsneho nástroja

Voľba brúsneho nástroja závisí na tvare plochy brúsenej súčiastky. Typ brusiva a tvrdosť sa volí podľa druhu materiálu súčiastky. Podľa požadovaného výkonu technológie a kvality povrchu volíme veľkosť zrna. [6]

Požiadavky na voľbu brúsneho kotúča [13]:

- pre väčší úber sa volí hrubšia zrnitosť,
- pre tvrdší materiál obrobku sa volí mäkkší kotúč a naopak (zachovanie samoostriacej schopnosti),
- pre materiály so sklonom ku zanášaniam kotúča (meď, mosadze, hliník) sa volí mäkký kotúč s hrubou zrnitosťou,
- čím väčšia je styčná plocha medzi obrobkom a nástrojom, tým hrubšia zrnitosť a nižšia tvrdosť kotúča sa volí,
- pre materiál citlivý na teplotné zmeny sa volí mäkkší kotúč,
- pre brúsenie prerušovaných plôch sa volí kotúč tvrdý,
- pre materiál citlivý na teplotné zmeny sa volí mäkkší kotúč,
- pre brúsenie prerušovaných plôch sa volí kotúč tvrdý,
- pre brúsenie otvorov sa volí mäkkší kotúč ako pre brúsenie vonkajších valcových plôch,
- pre brúsenie čelom kotúča sa volí mäkkší kotúč ako pre brúsenie obvodom.

1.2.2 Materiály brúsneho nástroja

Materiály brusiva [14]:

- prírodný – pemza, bridlica, pieskovec, granát, smirek, pazúrik, prírodný diamant;
- umelý – umelý korund Al_2O_3 , karbid kremíku SiC , karbid bóru B_4C , kubický nitrid bóru N_2B_3 , umelý diamant.

Materiály spojiva [13]:

- **keramické** – používa sa najčastejšie, rôzne kremičitany; je krehké a citlivé na rázy a dovolená rýchlosť nástroja je 50 m/s;
- **silikátové** – zmes hlíny, kremičitého prachu a vodného skla. Nástroje sú menej pevné, ale pružné; jeho využitie je malé;
- **magnezitové** – sú tvorené magnezitom a chloridom vápenatým, neznášajú vlhkosť, používajú sa na suché brúsenie na jemný výbrus;
- **guma, živica** – pružné, pevné a húževnaté, používame ich na úzke kotúče, rezacie kotúče, vysoké obvodové rýchlosti; nevýhodou je, že neznášajú vysoké teploty.

1.2.3 Označovanie brúsneho nástroja

Materiál zrna je označený písmenom pre druh materiálu a číselným kódom pre farbu [6], [14]:

- granát: G
- smirek: S
- karbid kremíku SiC :
 - zelený 49C
 - čierny 48C

Veľkosť zrna je daná počtom ôk, ktoré zodpovedá počtu ôk na dĺžku jedného palca sita, ktorým pri triedení ešte zrno prepadne. Dosahuje hodnôt [6]:

- hrubá: 4-24
- stredná: 30-60
- jemná 70-180
- veľmi jemná 220-1200

Spojivo je označované podľa druhu použitého materiálu [6]:

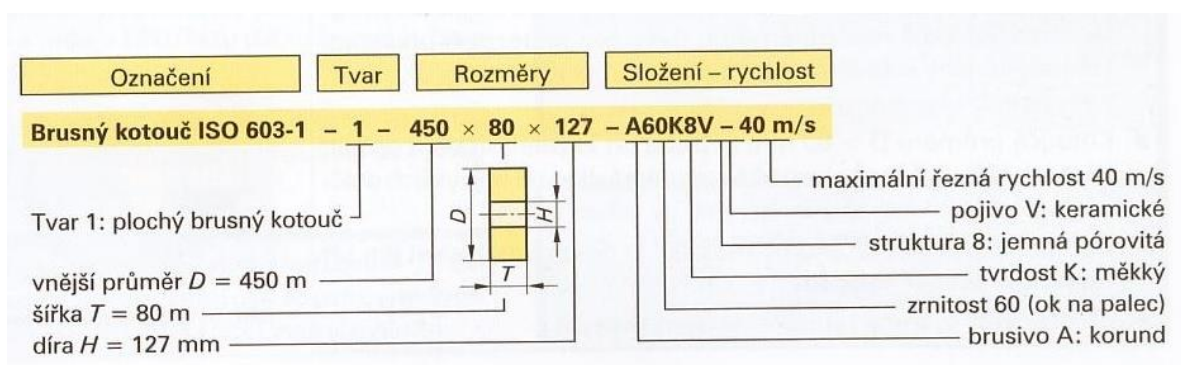
- keramické: V
- gumové: R
- gumové s textilnou výstužou RF
- z umelej živice B
- z umelej živice s textilnou výstužou BF
- šelakové E
- magnezitová Mg

Druhom a obsahom spojiva je určený **stupeň tvrdosti**, definovaný ako odpor, ktorý kladie zrno proti vylomení z brúsneho nástroja [6]:

- mäkké: I, J, K
- stredné: L, M, N, O, P, Q
- tvrdé: R, S, T

Štruktúru udáva vzdialenosť medzi zrnami. Čím je číslo (0-14) vyššie, tým je vzdialenosť medzi zrnami väčšia [6]:

- hutná: 3-4
- polohutná: 5-6
- pórovitá: 7-8



Obr. 3 Príklad označenia brúsneho kotúča [14]

1.2.4 Možnosti orovnávanía brúsneho kotúča

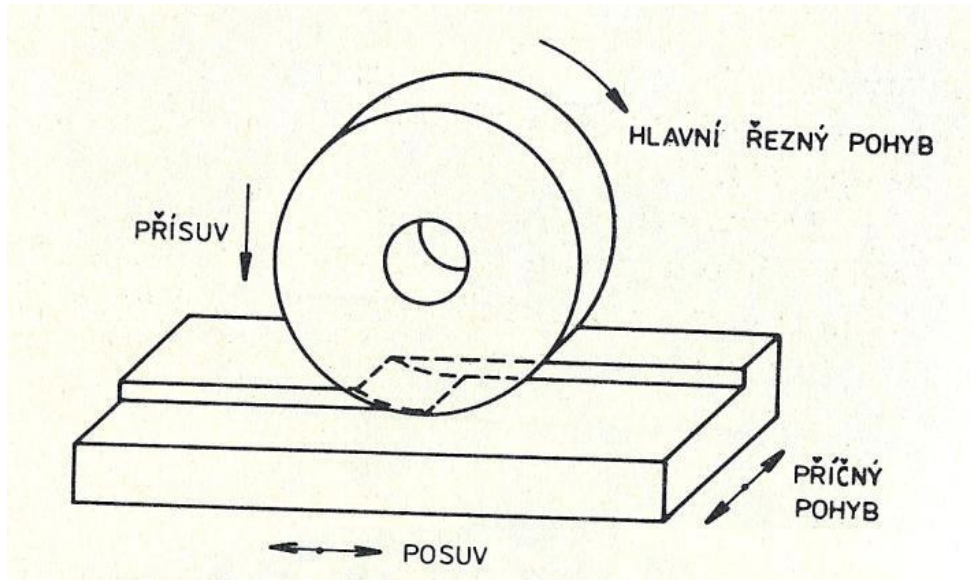
Orovnávače môžeme rozdeliť do 2 základných skupín:

- **Bezdiamentové orovnávače** – používajú sa na menej presné orovnávanie, pri ktorom sa kotúče len hrubo vytvarujú. Najjednoduchším orovnávačom je sústružnícky nôž. Medzi ďalšie nástroje patria orovnávacie kolieska – oceľové hviezdicové kolieska, medzi ktoré sú vložené oceľové vlnité pliešky. Orovnanie je dosiahnuté drvením a trieštením brúsnych zrn. Pre jemnejší povrch kotúča sa používa orovnanie špeciálnym brúsnym kotúčom zo spekaného karbidu. Taktiež sa v praxi využívajú zatlačovacie orovnávacie kladky, ktoré pracujú s vyšším tlakom, čo spôsobuje väčší úbytok kotúča. [2]
- **Diamantové orovnávače** – rozlišujeme ich podľa spôsobu pohybu voči brúsnemu kotúču na:
 - **Pevne stojace** – sú vzhľadom ku kotúču nehybné. Podľa počtu vsadených diamantov rozlišujeme jednokameňové, viackameňové a prachové. Dôležitý je tvar hrotov diamantu, ktoré by mali mať čo najmenšie vrcholové uhly. Viackameňové orovnávače s výhodou nahrádzajú použitie drahých jednokameňových orovnávačov. Prachové orovnávače sa používajú pri tvarovaní ostrých profilov, napríklad pri brúsení závitov. [2]
 - **Obežné diamantové kladky** – používajú sa pri tvarovom brúsení vo veľkosériovej výrobe, kde sa vyžaduje časté orovnávanie. Podľa spôsobu pohonu rozlišujeme poháňané diamantové kotúče, kotúče s brzdou a spolubežné kotúče. [2]

Spôsob orovnania brúsneho kotúča má značný vplyv na rezné sily pri brúsení, pretože ovplyvňuje počet aktívnych zrn na povrchu kotúča. Pri orovnávaní diamantom je ich počet maximálny, minimálny pri orovnávaní odvaľovaním. Je to spôsobené tým, že diamant prereže zrná brusiva, zatiaľ čo pri odvaľovaní sa zrná len vylamujú. Preto hrozí nebezpečenstvo, že bezprostredne po orovnaní diamantom môže kotúč spôsobovať spáleniny z dôvodu vyšších rezných síl. To sa však po niekoľkých záberoch upraví. [7]

1.3 Rezné podmienky a výkon pri brúsení

Na nasledujúcom obrázku sú 3 hlavné rezné podmienky – rezná rýchlosť, posuv a hĺbka rezu. Medzi ďalšie teoretické charakteristiky brúsenia patria otáčky brúsneho kotúča, obvodová rýchlosť a otáčky obrobku, prísuv. [9]



Obr. 4 Hlavné rezné podmienky [9]

Rezná rýchlosť a otáčky kotúča

Je to tangenciálna rýchlosť brúsneho kotúča vo zvolenom bode, teda dráha, ktorú opíše zrno na obvode kotúča za jednu sekundu. Vzorec pre výpočet je nasledovný, pri čom d je priemer brúsneho kotúča a n frekvencia otáčania brúsneho kotúča [9]:

$$v_s = \frac{\pi * d * n}{60 * 10^3} \quad [ms^{-1}] \quad (1)$$

Správna rezná rýchlosť je taká, pri ktorej dochádza k vylamovaniu zrn a tým k samoostreňaniu. Pri použití bežného keramického spojiva sa rezné rýchlosti vonkajšieho brúsenia pohybujú v rozmedzí 30 až 35 ms^{-1} , pri moderných nástrojoch až do 100 ms^{-1} . Keďže otáčky vretena nie je možné meniť, priemer kotúča je predpísaný pre každú brúsku. Po jeho zmenšení je nutné ho vymeniť. Pokiaľ je rezná rýchlosť príliš veľká, zrno je menej namáhané a nevylomí sa. Brúsny kotúč už nebrúsi, ale páli povrch. Ak je obvodová rýchlosť príliš malá, zrno je viac namáhané a dochádza k príliš rýchlemu opotrebeniu nástroja. [9],[6]

Frekvenciu otáčok kotúča vypočítame podľa nasledovného vzťahu [5]:

$$n = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v_s}{\pi \cdot d} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (2)$$

Posuv

Je pri rotačnom brúsení definovaný ako posuv obrobku za jednu otáčku brúsneho kotúča. Pri rovinnom brúsení ide o priamočiary posuv obrobku (pracovného stola brúsky) za časovú jednotku. [9]

Hĺbka rezu

Predstavuje hrúbku vrstvy materiálu odobraného na jeden záber, keď odoberieme 0,02 až 0,03 mm materiálu z povrchu obrobku. Celkový prídavok na brúsenie závisí najmä od priemeru obrobku, dĺžke brúsenej plochy a tepelnom spracovaní. Pohybuje sa v rozmedzí 0,2 až 0,5 mm. [9]

Obvodová rýchlosť a otáčky obrobku

Podobne ako pri reznej rýchlosti sa jedná o tangenciálnu rýchlosť obrobku vo zvolenom bode, teda dráhu, ktorú opíše jeden bod na obvode kotúča za jednu sekundu. D v tomto prípade značí priemer obrobku a n frekvenciu otáčania obrobku [9]:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 10^3} \quad [\text{ms}^{-1}] \quad (3)$$

Pre otáčky obrobku platí obdobný vzťah ako pri výpočte otáčok brúsneho kotúča [9]:

$$n = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot v}{\pi \cdot d} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (4)$$

Prísuv

Prísuv predstavuje pohyb, ktorým sa nástroj približuje k obrobku, aby bolo možné odobrať z obrábaného povrchu vrstvu určitej hĺbky. [9]

1.4 Základné metódy brúsenia

Z hľadiska tvaru brúsených plôch a spôsobu hlavného pohybu pracovného stola vzhľadom k brúsnemu kotúču môžeme brúsenie rozdeliť na [6]:

- Brúsenie na guľato – vonkajšie
 - axiálne – s pozdĺžnym posuvom,

- axiálne hĺbkové – odoberá celý prídavok naraz,
- zápichové – brúsny kotúč je širší ako brúsená plocha,
- bezhroté – zápichové alebo axiálne – súčiastka nie je upnutá, vložená je medzi brúsny a podávací kotúč a opretá o opierku.
- Brúsenie na guľato – vnútorné
 - axiálne – s pozdĺžnym posuvom,
 - zápichové – brúsny kotúč je širší ako brúsená plocha,
 - planétové – obrobok je pevne upnutý na stole, vreteno s brúsnym kotúčom sa otáča okolo vlastnej osy a zároveň obieha okolo osy brúsenej diery.
- Brúsenie rovinné – obvodom alebo čelom kotúča.
- Brúsenie tvarové – tvarovými kotúčmi alebo kopírovacím spôsobom.

1.5 Typy brúsok

Pri voľbe vhodnej brúsky hrajú úlohu najmä požiadavky na finálny produkt – obrobok. Je možné brúsiť vnútorné alebo vonkajšie rotačné plochy, čelá, rovinné plochy, závit, ozubené kolá alebo nástroje. Takisto podľa špeciálnych požiadaviek je možné zvoliť jednoúčelový typ brúsky. [2]

Podľa vykonávaných operácií sa brúsky delia na [6]:

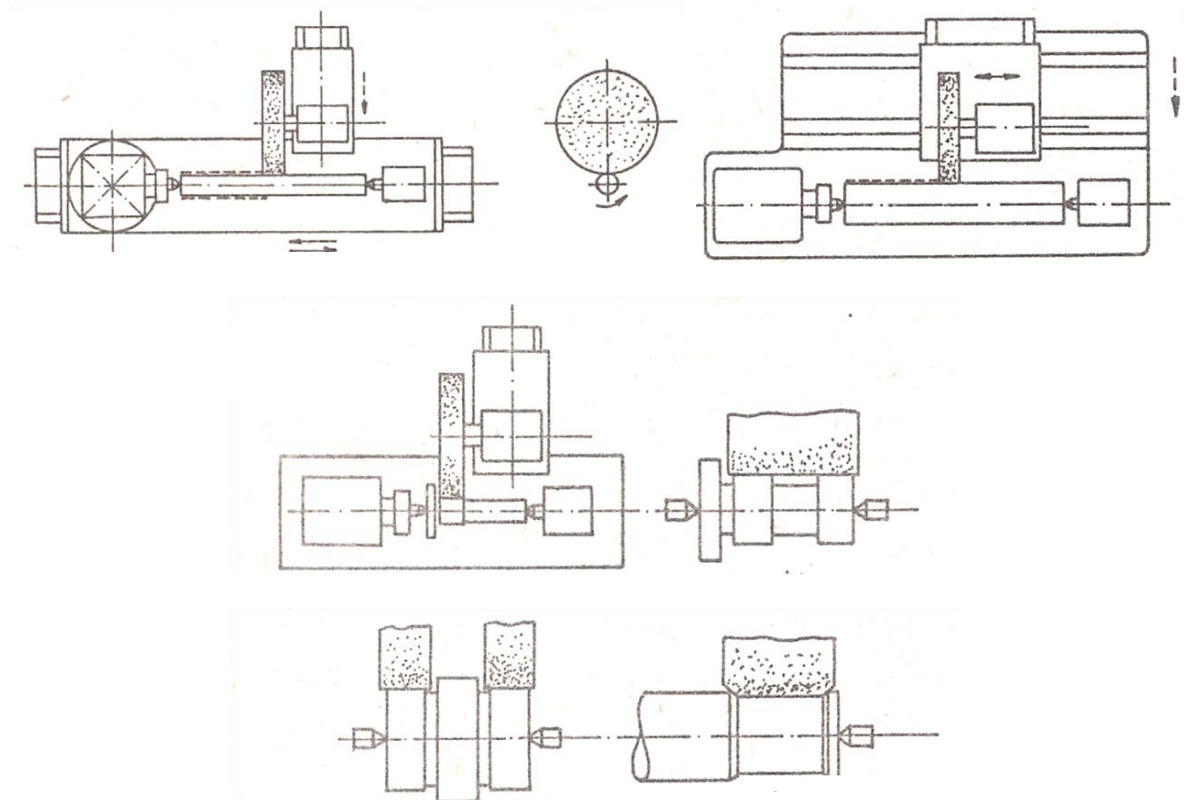
- Hrotové
 - s posuvným stolom,
 - s posuvným vreteníkom.
- Na diery.
- Bezhroté
 - vonkajšie brúsenie,
 - vnútorné brúsenie.
- Rovinné
 - jednostojanové pracujúce obvodom kotúča,
 - jednostojanové pracujúce čelom kotúča,
 - dvojstojanové.
- Nástrojárske.
- Pásové.
- Špeciálne

- jemné brúsenie,
- závitý,
- ozubenie,
- kľukové hriadele.

Pre účely tejto práce si bližšie popíšeme hrotové a rovinné brúsky.

1.5.1 Hrotové brúsky

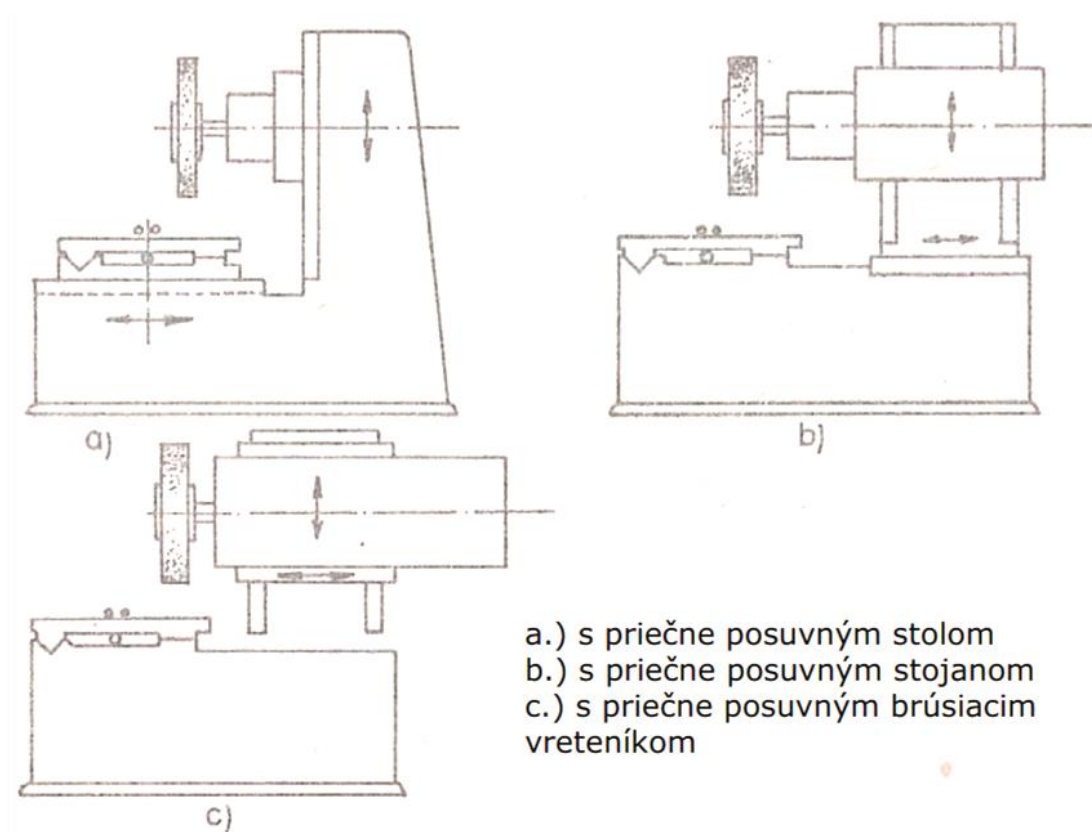
V praxi sú používané pre brúsenie rotačných plôch – valcových, kužeľových i valcových. Vyrábajú sa s posuvným stolom, na ktorom je umiestnený pracovný vreteník a koník. Stôl koná priamočiary vratný pohyb, zatiaľ čo brúsny vreteník koná prísuv. V prípade brúsky s posuvným vreteníkom sa otáča obrobok a prísuv koná vreteník. Kužeľové plochy je možné brúsiť prostredníctvom natočenia časti stola alebo vreteníka. Obrobok sa najčastejšie upína medzi hroty pracovného vreteníka a koníka. Oba typy brúsok sú zobrazené na nasledujúcom obrázku. [6], [9]



Obr. 5 Hrotové brúsky pre pozdĺžne a zapichovacie brúsenie [12]

1.5.2 Rovinné brusky

Umožňujú brúsenie rovinných plôch, pri čom pracovná plocha brúsneho kotúča je buď čelo alebo jeho obvod. Upínanie obrobku na stôl býva riešené prostredníctvom magnetu (väčšinou pre menšie obrobky) alebo úpiniek a zverákov. Typy vodorovných rovinných brúsok sú znázornené na obrázku. Okrem vodorovných rovinných brúsok poznáme aj rôzne zvislé brusky. [6]



Obr. 6 Typy rovinných brúsok [12]

2 REZNÉ KVAPALINY A ICH VÝZNAM PRI BRÚSENÍ

Obrátateľnosť materiálu vždy závisí od množstva činiteľov, ktoré ju priamo ovplyvňujú. K hlavným činiteľom patrí metóda procesu rezania a podmienky procesu rezania a procesné médium. V tejto kapitole sa ďalej budem venovať práve procesným kvapalinám. [3]

Použitie reznej kvapaliny všeobecne pri obrábaní plní funkciu odvodu tepla z miesta rezania. Tento proces prebieha prostredníctvom chladenia a mazania, keď prívodom reznej kvapaliny dochádza k zníženiu vnútorného i vonkajšieho trenia. V prípade brúsenia takisto odplavuje triesky a odlomené časti zrn brúsneho kotúča.

Okrem kvapalín sa pri niektorých špeciálnych operáciách používajú za účelom chladenia a mazania aj konzistentné prostriedky vo forme tuku alebo prášku. Popri chladení a mazaní má rezná kvapalina aj čistiaci účinok, keď odvádza triesku. Ďalej má ochrannú funkciu, keď chráni stroj a obrobok proti korózii a z hľadiska ochrany životného prostredia musí byť zdravotne nezávadná a likvidovateľná. Zároveň musí zaručovať prevádzkovú stálosť. Z hľadiska ekonomickosti výroby je nutné nepresiahnuť kalkuláciou stanovenú hranicu nákladov. [4], [6]

Pri použití rezných kvapalín je rezná sila asi o 20% menšia ako pri práci bez chladenia. Tento vplyv je ešte výraznejší pri brúsení kotúčom, ktorý má už značne otupené zrná. Pri brúsení s chladiacou kvapalinou sa výrazne mení hodnota trenia. [7]

2.1 Druhy rezných kvapalín

Keďže najväčšie využitie v praxi majú práve rezné kvapaliny, ďalej sa zameriam na ich špecifikáciu. Rezné kvapaliny je možné rozdeliť na dve hlavné skupiny [4]:

- chladiace kvapaliny – prevažuje chladiaci účinok;
 - vodné roztoky,
 - emulzné kvapaliny,
 - syntetické kvapaliny,
- rezné oleje – prevažuje mazací účinok;
 - masné oleje,
 - zušľachtené rezné oleje.

Vodné roztoky nie sú príliš výhodné z hľadiska potrebných úprav vody (zmäkčovanie, možnosť korózie, prísady pre zlepšenie zmáčavosti či pre odstránenie penivosti). Takisto tu

vzniká nebezpečenstvo vzniku baktérií, ktoré spôsobujú tvorbu kalu a nežiaduceho zápachu. [4]

Emulzné kvapaliny predstavujú disperznú sústavu dvoch nerozpustných kvapalín, z ktorých jedna tvorí kvapky rozptýlené v druhej (napr. olej vo vode). Výhodou emulzných kvapalín je, že spájajú vlastnosti vody a olejov. Chladiaci účinok emulzie závisí na jej koncentrácii, schopnosť ochrany voči korózií zase na hodnote pH. Pri príprave emulzií sú nevyhnutné tzv. emulgátory a je potrebné zachovať určitý postup [4]:

- použiť vhodne upravenú vodu,
- emulgátor pridávať postupne za stáleho miešania,
- zvoliť vhodnú koncentráciu emulzie - podľa druhu operácie a emulgátora sa obvykle používa koncentrácia 2 – 10 %.

Mastné oleje sú látky prírodného pôvodu, ktoré dosahujú vlastnosti minerálnych olejov. Vďaka menšiemu povrchovému napätiu majú lepšiu zmáčavosť, čo zlepšuje odvod tepla. Nevýhodou je sklon k starnutiu. [4]

Minerálne oleje sú látky vyrobené z ropy. Ich mazacie vlastnosti, ochranný účinok, prevádzkové vlastnosti a odolnosť voči starnutiu sú na vysokej úrovni, ale za cenu horšieho chladenia. [4]

Rezné oleje zastupujú skupinu zušľachtených minerálnych olejov. Zušľachtenie zabezpečujú prísady pre vyššiu tlakovú únosnosť a mazacie vlastnosti – mastné látky, organické zlúčeniny, pevné mazivá. [4]

Syntetické kvapaliny dosahujú vysokú prevádzkovú stálosť, ale ich mazacie a chladiace účinky neprevyšujú vlastnosti minerálnych olejov. [4]

2.2 Voľba reznej kvapaliny

Na účinok reznej kvapaliny pôsobí mnoho faktorov. Cieľom je udržať kvapalinu v prevádzke čo najdlhšie, teda zamedziť jej starnutiu prostredníctvom pravidelných kontrol, ošetrovaním a výmenami. Proces starnutia znamená zmenu vlastností kvapaliny jej okysličovaním, účinkom tepla a tlaku, znečistením inými látkami. Najrýchlejšie podliehajú starnutiu kvapaliny na báze vody. Okrem starnutia dochádza za prevádzky stroja k odparovaniu vody odvodu na trieskach. Pokiaľ kvapalina prestane plniť požadované vlastnosti, je potrebné ju vymeniť. To však predstavuje dodatočné náklady na čistenie, výmenu

a likvidáciu kvapaliny. Posúdenie kvality prevádzkových kvapalín vo výrobe predstavuje kontrolu vzhľadu a pachu. Indikátorom znečistenej kvapaliny je súvislý olejový povlak na jej hladine, kal na dne a stenách nádrže, zápach. Zápach indikuje napadnutie kvapaliny baktériami, ktoré je možné zničiť pridaním baktericídneho prostriedku. Kontrolu pH je možné vykonať pomocou indikačných papierikov a výšku koncentrácie zase refraktometrom. Výmena je pri sústružníckych, vrtacích, frézovacích operáciách potrebná po 6-8 týždňoch, pri brúsení po 2-4 týždňoch. Práve pri dokončovacích operáciách nečistoty v kvapaline značne vplývajú na drsnosť povrchu obrobku. Ich odstránenie je možné filtráciou kvapaliny. Vo výrobe sa používajú rôzne druhy filtrov, napr. magnetické, elektromagnetické, či mechanické, ktoré používajú ako filtračný materiál papier alebo plátno. [2], [4]

Rozhodnutie o voľbe reznej kvapaliny vychádza s nasledovných poznatkov [4]:

- mechanizmus tvorby triesky,
- vlastnosti obrábaného materiálu,
- vlastnosti nástrojového materiálu,
- kvalita opracovaného povrchu.

Podľa metódy obrábania, napr. pri sústružení má rezná kvapalina za úlohu dodržať čo najdlhšiu trvanlivosť nástroja a znížiť rezné sily. Tejto požiadavke najlepšie vyhovujú emulzie. Čo sa však týka brúsenia, tu vzniká vysoká teplota, preto sa tu kladie vysoký dôraz na dobrý chladiaci účinok. Takisto sa používajú emulzie, a to prevažne s koncentráciou do 5%. Pre brúsenie závitov alebo ozubených kôl sa používajú rezné oleje.

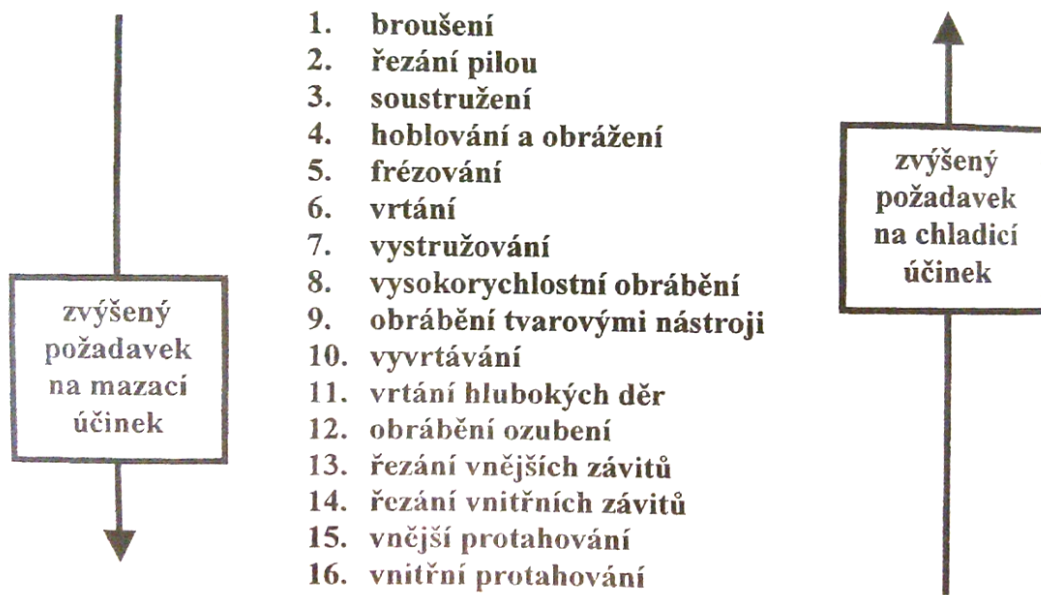
Tab. 1 Prehľad odporúčaných rezných kvapalín pre rôzne metódy obrábania [4]

Metóda obrábania	Oceľ			Liatina	Nikel a zliatiny	Bronz a mosadz	Meď a zliatiny	Hliník a zliatiny	Horčík a zliatiny
	Nízkouhlíková	S vyšším obsahom uhlíku	Nerez						
Sústruženie	D3	D5	D10	-	E	D3	D3	D3	B
Vŕtanie a vystružovanie	E, D10	F	J	D5	E	B	B	B	B
Frézovanie	D5	D5	D10	D5	F	B	D3	D3	B
Rezanie závitov	H	J	J	D10	J	C	B	C	B
Rezanie závitov na automatoch	E	H	H	-	H	B	A	C	B
Valcovanie závitov	F	F	F	-	-	C	A	B	A
Rezanie pílou	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	B
Výroba ozubenia	E	F	J	D5	-	B	-	-	-
Preťahovanie	J	J	J	D10	J	C	B	C	B
Brúsenie	D2	D2	D2	D2,5	D2	D2	D2	D2	B
Brúsenie závitov	J	J	J	-	-	C	-	C	C

Legenda k tabuľke č.1:

- A – minerálne oleje,
- B – masné oleje,
- C – mastené oleje,
- D – emulzie (% predstavuje hodnotu koncentrácie),
- E – minerálne oleje s prísadami,
- F – ľahké minerálne oleje s prísadami,
- H – oleje aditívované.

Potreba chladiaceho resp. mazacieho účinku z hľadiska druhu obrábania je znázornená na nasledujúcom obrázku. [4]



Obr. 7 Požadavky metod obrábění na chlazení a mazání [4]

3 DRSNOST' POVRCHU A JEJ VÝZNAM PRI BRÚSENÍ

Otázkam posudzovania presnosti rozmerov, tvaru, polohy a drsnosti povrchu sa technológia venuje už od 40.rokov minulého storočia. Čoraz viac sa kládol dôraz na funkčné požiadavky výrobkov. Množstvo súčiastok vyrábaných pre ďalšie využitie v priemysle je limitovaných únavovými činiteľmi a vlastnosťami materiálu, z ktorého sú vyrobené. Drsnosť povrchu určuje mikrogeometrickú, teda povrchovú obrábatel'nosť materiálu. Materiál má tým lepšiu obrábatel'nosť, čím menšia je drsnosť a väčšia presnosť obrábanej plochy. [3]


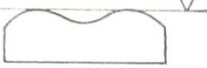
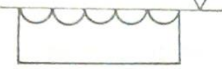
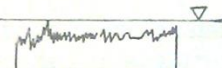

Prax ukazuje, že únavový zlom vzniká obvykle na povrchu alebo tesne pod povrchom súčiastky. Povrch súčiastky, jeho stav a mikrogeometria sú prvotnými činiteľmi, ktoré ovplyvňujú podmienky vzniku korózie a následný únavový zlom. To značí, že odolnosť proti únave a korózii je priamo závislá na kvalite povrchu. Okrem toho prichádza konštrukcia s čoraz prísnejšími a náročnejšími požiadavkami na geometrický tvar a drsnosť povrchu. [1]

V priebehu výroby vznikajú na opracovávanej ploche tieto zmeny [1]:

- plastická deformácia v dôsledku mechanického a tepelného účinku,
- fázové premeny,
- zmeny v tvrdosti povrchové vrstvy,
- mikrotrhliny a makrotrhliny,
- zvyškové napätia v povrchovej vrstve,
- zmena vlastností povrchovej vrstvy v dôsledku chemickej absorpcie.

Presnosť dodržania predpísaných parametrov geometrie povrchu je daná súhrnom ich odchýlok od ideálnej geometrie. Úchylka je podľa Bumbálka, Odvodyho a Ošťádala definovaná ako: „rozdiel skutočného tvaru plochy a tvaru plochy ideálnej geometrie“. [1, str. 16]

Základné informácie o povrchu je možné získať z profilu, ktorý vznikne ako priesečnica roviny rezu kolmej k obrobenej ploche. Úchylky tvaru a vlnitosť sú označované ako makrogeometria, drsnosť povrchu ako mikrogeometria. Klasifikácia úchyliet je znázornená na nasledujúcom obrázku.

Řád	Druh úchytky	Znázornění úchytky	Příčiny vzniku úchytky
1	Úchytky tvaru		Špatné upnutí, prohnutí obrobku, chyby ve vedení stroje, opotřebení
2	Vlnitost		Chvění stroje, nástroje, nesprávné upnutí
3	Drsnost — periodický profil		Tvar nástroje, řezné podmínky (posuv)
4	Drsnost — aperiodický, náhodný profil		Mechanismus vzniku nového povrchu
1 až 4	Celkový profil		Spojení úchytek 1 až 4
5	Strukturální změny	Nelze znázornit	Krystalické pochody, korozní pochody
6	Změny mřížky	Nelze znázornit	Fyzikální a chemické pochody ve stavbě materiálu, napětí v krystalické mřížce

Obr. 8 Klasifikácia úchyliiek povrchu [1]

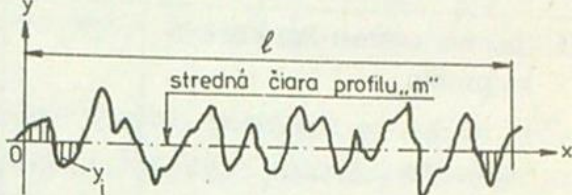
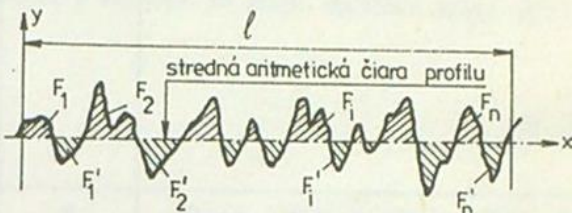
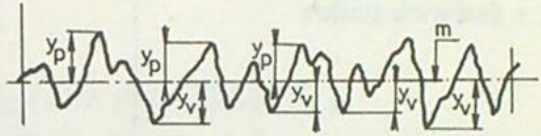
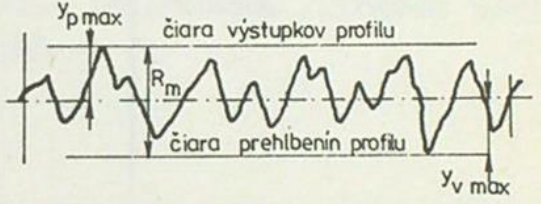
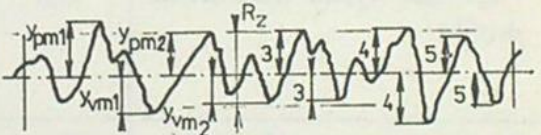
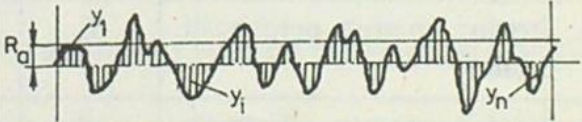
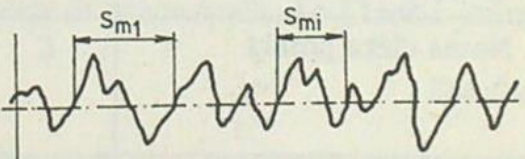
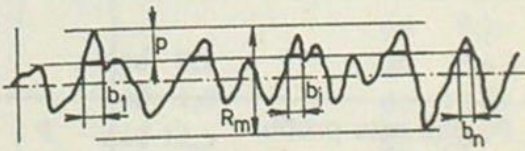
3.1 Charakteristiky povrchu brúsených plôch

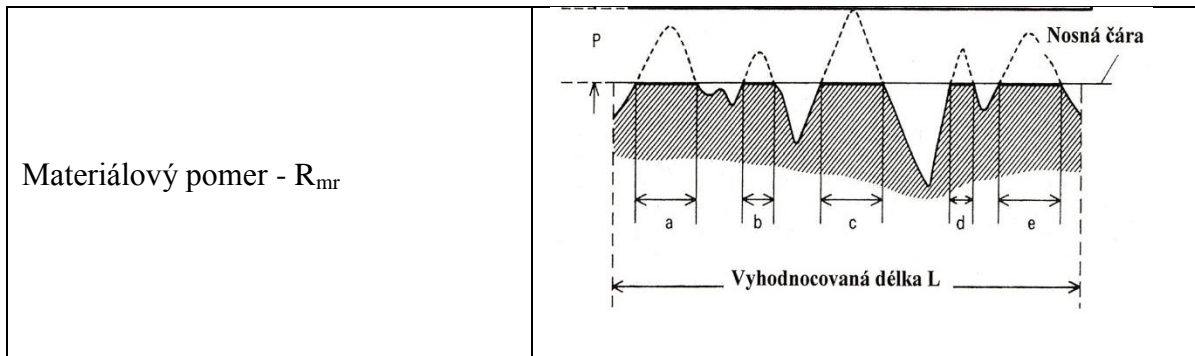
Tvar povrchu súčiastky môže byť rozmanitý a závisí od metódy obrábania. Pre získanie profilu povrchu ako priesečnice povrchu s rovinou je nutné vykonať kolmý rez k základnému povrchu. Kvalitu povrchu podľa jeho profilu hodnotíme prostredníctvom normalizovaných charakteristík drsnosti povrchu [1]:

- **R_a – stredná aritmetická úchylka profilu** – prednostná výšková charakteristika drsnosti, je to stredná aritmetická hodnota absolútnych úchyliiek v rozsahu základnej dĺžky;
- **R_z – výška nerovností profilu z desiatich bodov** – stredná hodnota z absolútnych hodnôt výšok piatich najvyšších výstupkov profilu a hĺbok piatich najnižších priehĺbín profilu v rozsahu základnej dĺžky;

- **R_m** – **najväčšia výška nerovností profilu** – výšková charakteristika drsnosti povrchu určená vzdialenosťou medzi čiarou výstupkov a čiarou priehlbín profilu v rozsahu základnej dĺžky;
- **S_m** – **stredný rozostup nerovností profilu** – charakteristika drsnosti povrchu v pozdĺžnom smere povrchu určená ako stredná hodnota roztečí nerovnosti profilu v rozsahu základnej dĺžky;
- **S_{mi}** – **rozostup nerovností profilu** – úsek strednej čiary profilu označujúci nerovnosť profilu;
- **S** – **stredný rozostup miestnych výstupkov profilu** – takisto charakteristika drsnosti povrchu v pozdĺžnom smere profilu určená ako stredná hodnota rozostupov miestnych výstupkov ležiacich v rozsahu základnej dĺžky profilu;
- **t_p** – **nosný podiel** – je tvarovou charakteristikou profilu definovanou ako pomer nosnej dĺžky profilu l_p k základnej dĺžke.
- **R_{mr}** – **materiálový pomer** – pomer dĺžky nosnej plochy v ktorejkoľvek hĺbke profilu k celkovej dĺžke profilu v %.

Tab. 2 Charakteristiky drsnosti povrchu [7]

<p>Středná čára profilu</p>	
<p>Středná aritmetická čára profilu</p>	
<p>Výška výstupkov profilu - y_p</p>	
<p>Najväčšia výška nerovností - R_m</p>	
<p>Výška nerovností profilu z desiatich bodov - R_z</p>	
<p>Středná aritmetická odchýlka profilu - R_a</p>	
<p>Rozostup nerovností profilu - S_{mi}</p>	
<p>Nosná dĺžka profilu - l_p</p>	



3.2 Metódy hodnotenia akosti brúsených plôch

Keďže v strojárскеj výrobe je nutné hodnotiť súčiastky podľa kvality povrchu, existuje v súčasnosti veľké množstvo kontrolných metód a meracích prístrojov založených na rôznych fyzikálnych princípoch a vyrábaných rôznymi výrobcami. Môžeme ich klasifikovať z rôznych hľadísk [1]:

- Spôsob kontroly
 - kvalitatívne metódy (porovnávanie so vzorovými plochami),
 - profilové metódy kvantitatívneho merania drsnosti.
- Spôsob prenosu informácií o tvare profilu alebo plochy
 - postupná transformácia,
 - okamžitá transformácia.
- Spôsob snímania alebo znázornenia tvaru profilu plochy
 - dotykový – prístroje s postupnou transformáciou,
 - bezdotykový – optické prístroje s okamžitou transformáciou profilu.
- Fyzikálne princípy
 - generátorový typ,
 - impedančný typ,
 - mechanický typ,
 - optický typ.

Ďalej sa budem venovať kvantitatívnym metódam a prístrojom pre meranie drsnosti povrchu. V súčasnosti najrozšírenejšími prístrojmi sú **dotykové profilomery s postupnou transformáciou profilu**. Prístroje používajú merací dotyk s veľmi malým zaoblením hrotu, ktorý sa pohybuje rovnomernou rýchlosťou po obrobenom povrchu. Takisto je možné, že sa pod hrotom pohybuje kontrolovaná plocha. Nerovnosti povrchu spôsobujú zmeny polohy hrotu. Tie sú následne zaznamenané buď do profilogramov (grafický záznam profi-

lu), alebo pri elektromechanických metódach do elektrického signálu, ktorý je jednoduché vyhodnotiť. [1]

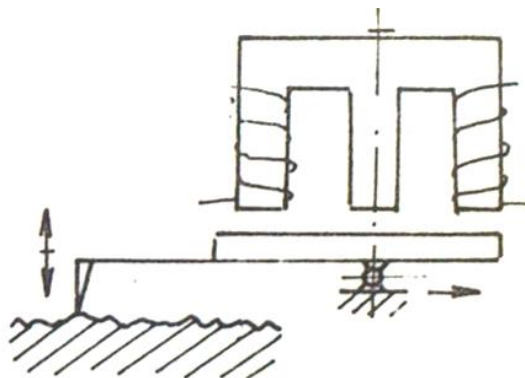
Práve **mechanicko-elektrické dotykové profilometry** sú najrozšírenejšie a najpoužívannejšie prístroje. Sú veľmi presné, majú vysokú citlivosť a je možné nimi vyhodnotiť rôzne normalizované charakteristiky drsnosti profilu. Princíp fungovania je založený na prevode zmien polohy hrotu prevádzača snímača na analógové zmeny elektrického napätia alebo indukčnosti, ktoré je možné spracovať v rôznych elektronických obvodoch. [1]

Dotykové profilometry s mechanicko-elektrickým prevodom je možné rozdeliť nasledovne [7]:

- elektromagnetické snímače,
- elektroindukčné snímače,
- piezoelektrické snímače.

Elektromagnetické snímače

Sú založené na magnetickom obvode, ktorý je tvorený permanentným magnetom a pólovými nadstavcami. V medzere pólových nadstavcov kmitá železná kotva vychýľovaná meracím hrotom. Tento pohyb je spôsobený zmenou magnetického toku v pevnej cievke, čím sa v jej závitoch indukuje napätie úmerné zmene rýchlosti hrotu. [1]



Obr. 9 Schéma elektromagnetického snímača [7]

Elektroindukčné snímače

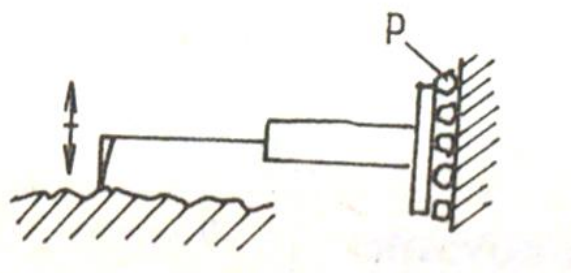
Sú považované za jedny z najpresnejších snímačov. Zmena polohy hrotu spôsobuje zmenu impedancie elektrického obvodu – indukčnosti. [1]



Obr. 10 Schéma elektroindukčného snímača [7]

Piezoelektrické snímače

Merací hrot deformuje buď priamo alebo prostredníctvom pákového prevodu doštičku z piezoelektrického materiálu (kryštály kremeňa, turmalínu, bariumtitanátu, a iné zvláštne keramické materiály.) Tie vykazujú pri namáhaní na tlak alebo ohyb na opačných stranách opačné elektrické náboje. Následne je z doštičiek snímané elektrické napätie úmerné ich namáhaniu. [1]



Obr. 11 Schéma piezoelektrického snímača [7]

Kapacitné snímače

Snímače obsahujú merací kondenzátor zložený z dvoch dokonale izolovaných doštičiek z elektricky vodivého materiálu. Pohybom hrotu sa mení ich vzdialenosť a tým aj kapacita kondenzátoru. [1]

3.3 Vplyvy na drsnosť povrchu

Vhodné rezné podmienky neovplyvujú len na celkový výkon technológie brúsenia, ale aj na dosiahnutie predpísanej geometrickej presnosti a kvality povrchu výrobku. Voľbou správnych rezných podmienok môžeme podstatne ovplyvniť drsnosť a vlnitosť povrchu, ostatné sú dané vlastnosťami a presnosťou stroja. Na kvalitu povrchu pôsobia tieto činitele [2]:

- brúsny kotúč,
- podmienky brúsenia,
- orovnanie brúsneho kotúča,
- použitie a čistota chladiacej kvapaliny,
- dĺžka vyiskrenia.

3.3.1 Brúsny kotúč

O voľbe brúsneho kotúča sa zmietať už v kapitole 1.2, avšak z hľadiska kvality povrchu je vhodné zamerať sa nasledujúce hľadiská:

Veľkosť brúsneho zrna, jeho materiál ako aj spojivo takisto ovplyvňujú dosiahnutie predpísanej drsnosti, resp. vlnitosti. Všeobecne platí, že pre lepšiu kvalitu povrchu je treba voliť jemnejšiu zrnitosť. Závislosť medzi drsnosťou povrchu a veľkosťou zrna brúsneho kotúča je možné empiricky stanoviť. Vybrané údaje zobrazuje nasledujúca tabuľka. [2]

Tab. 3 Vybrané orientačné údaje závislosti drsnosti povrchu a zrnitosti [2]

Drsnosť povrchu R_a [μm]		Zrnitosť
od	do	
0,05	0,2	46 - 300
0,2	0,4	30 - 60
0,4	1,6	10 - 36
1,6		

Pre bežné brúsenie sa používajú kotúče s keramickým spojivom. Pre jemné brúsenie sú vhodné kotúče so spojivom zo syntetických živíc, ktoré majú aj leštiaci účinok.

Výkonnosť brúsneho kotúča je daná jeho trvanlivosťou a rezivosťou. Pri kotúčoch s mäkkším spojivom sa brúsne zrná začnú vylamovať skôr pri menšej reznej sile. Uvoľňovanie zrn prebieha nerovnomerne, čím kotúč stráca kruhový tvar. To spôsobuje nepravidelné zábery nástroja a následne rýchle opotrebenie kotúča a vlnitosť povrchu súčiastky.

Naopak pri tvrdých kotúčoch sa zrná nevytlamujú tak ľahko a zvyšujú reznú silu, čo spôsobuje rast trenia a teploty povrchu obrobku. Trvanlivosť hrubozrnných kotúčov býva spravidla vyššia ako u jemnozrnných, ktoré sú náchylné na zanášanie trieskami. [2]

Pri brúsení tvarových súčiastok nie je úbytok po celej ploche kotúča rovnomerný a je potreba ho častejšie orovnávať. Pre dodržanie požadovanej presnosti povrchu je vhodné použiť tvrdší jemnozrnný kotúč. [2]

Uvedené pravidlá sú však len všeobecné a pri rozhodovaní o type brúsneho nástroja je vhodné spoľahnúť sa na výsledky skúšok.

3.3.2 Podmienky brúsenia

Na kvalitu brúseného povrchu vplyvajú aj rezné podmienky – obvodová rýchlosť kotúča a obrobku, posuv, pomer obvodových rýchlostí, dĺžka vyiskrenia a podobne. So zvyšovaním reznej rýchlosti sa znižuje hrúbka odoberanej triesky. Pri nižších rýchlostiach odberá zrná väčšie množstvo materiálu, čo zhoršuje drsnosť povrchu. Podobne aj pri prekročení hornej hranice optimálneho rozsahu rýchlosti nastáva zhoršenie kvality povrchu. Brúsne zrná sa nemôžu uvoľniť a nahradiť novými, pretože pri vysokej obvodovej rýchlosti sa kotúč javí ako tvrdší. Pri vysokej reznej rýchlosti je zhoršenie drsnosti povrchu sprevádzané aj zvýšením jeho teploty. Takisto znížením obvodovej rýchlosti obrobku a pomalším posuvom je možné dosiahnuť kvalitnejší povrch. [2]

3.3.3 Orovnanie brúsneho kotúča

Správny tvar kotúča a jeho drsnosť priamo ovplyvňuje práve proces orovnania. Drsnosť obrobku je následne daná drsnosťou brúsneho kotúča. Jemnejšiu drsnosť je možné dosiahnuť prostredníctvom orovnania s malým stranovým posunom, tupším diamantom alebo veľkým sklonom diamantu voči brúsnemu kotúču. Pre zvýšenie drsnosti platia opačné podmienky.[2]

3.3.4 Použitie a čistota chladiacej kvapaliny

Z praxe je známe, že najkvalitnejší povrch je možné dosiahnuť pri chladení olejom, avšak práve olej má nízky chladiaci účinok. Naopak najhoršie výsledky sú dosahované pri chladení vodou. Aby mohla kvapalina plniť svoj účel (chladenie a mazanie), musí byť zbavená triesok ako aj iných nečistôt. [2]

3.3.5 Dĺžka vyiskrenia

Drsnosť povrchu závisí aj na dĺžke vyiskrenia. So stúpajúcim časom vyiskrenia drsnosť rýchlo klesá, avšak už asi po 30 sekundách sa výraznejšie nemení. Pre veľmi presné brúsenie je ideálna doba vyiskrenia max. 30 sekúnd, pri bežnom brúsení sa pohybuje v rozmedzí 10 až 12 sekúnd. [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CIEĽ BAKALÁRSKEJ PRÁCE

Spoločnosť Topos a.s., Tovarníky sa so svojou dlhou históriou pôsobenia v oblasti strojárskoho priemyslu radí k tradičným strojárskym podnikom na Slovensku. Disponuje širokou škálou výrobných možností:

- Delenie materiálu píľami, laserom, plazmou;
- Ohýbanie a lisovanie rúrových materiálov a plechu;
- Pieskovanie;
- Lakovanie;
- Kalenie indukčné, žihanie, popúšťanie, chemicko-tepelné spracovanie;
- Sústruženie na klasických i CNC riadených sústruhoch;
- Frézovanie vertikálne i horizontálne na NC a CNC riadených frézach;
- Vrtanie;
- Brúsenie rovinné, radiálne a brúsenie otvorov;
- Honovanie, preťahovanie;
- Zváranie.

Práve trieskové obrábanie má vysoký podiel vo výrobnom procese firmy, preto v ňom vidím vysoký optimalizačný potenciál. Pri trieskovom obrábaní hrá dôležitú úlohu chladiaca kvapalina, jej funkcie sú popísané v teoretickej časti práce. V spoločnosti je pre všetky operácie obrábania používaná univerzálna chladiaca kvapalina, čo však nie je optimálne z hľadiska výrobných nákladov.

Použitie viacerých špeciálnych druhov kvapalín môže zdanlivo vykazovať zvýšené náklady výrobného procesu, napr. v súvislosti s ich dodávkou, s manipuláciou, so servisom ako aj s likvidáciou. Avšak kvapaliny prispôbené svojim zložením pre konkrétny druh obrábania umožňujú optimalizovať rezné podmienky, a tým skrátiť procesný čas danej operácie. To znamená zníženie priamych výrobných nákladov na strojnú aj ľudskú prácu, ako aj sekundárny prínos v oblasti zvýšenia voľnej výrobnéj kapacity daného strojného zariadenia.

Táto práca sa venuje práve obrábaniu brúsením v spoločnosti Topos, a.s., a to najmä z kapacitných dôvodov. Proces brúsenia je úzkym miestom výrobného procesu vo veľkej časti výrobného portfólia, čo spôsobuje problémy pri plnení expedícií v požadovaných termínoch.

Hlavným cieľom práce je teda zhodnotenie vplyvu procesnej kvapaliny na možnosť zvýšenia rezných podmienok brúsenia za dodržania zákazníkom požadovanej kvality brúseného povrchu. Takisto sa zaoberá vplyvom rôznych druhov rezných kvapalín a ich koncentrácií na charakteristiky kvality povrchu. Na týchto poznatkoch je založená optimalizácia výrobného procesu brúsenia prostredníctvom výmeny univerzálnej reznej kvapaliny za kvapalinu vhodnú práve na operáciu brúsenia.

5 PODMIENKY VÝSKUMU V SPOLOČNOSTI TOPOS, A.S. TOVARNÍKY

Experiment spočíva v porovnaní kvality opracovania povrchu za použitia dvoch rôznych rezných kvapalín pri rôznych koncentráciách. Skúmaný bol aj vplyv kvapaliny na rezné podmienky brúsenia za účelom skrátenia procesného času operácie. Cieľom výskumu je optimalizácia procesu brúsenia a zníženie výrobných nákladov na danú operáciu.

V nasledujúcich podkapitolách sú popísané podmienky experimentu, teda strojné zariadenia, testované rezné kvapaliny a obrábaný materiál.

5.1 Použitý materiál

Polotovár pre výrobu skúmaného obrobku je výkovok z mangánchrómovej ocele určenej na cementovanie – oceľ 14220. Je dobre tváriteľná, obrobiteľná a zvariteľná, vhodná pre strojné súčiastky do priemeru 35 mm, pre cementovanie s veľkou pevnosťou v jadre (napríklad hriadele, ozubené kolesá, zdviháky ventilov, piestové čapy, zubové spojky, atď.). Materiál je brúsený po tepelnom spracovaní cementáciou. Predpísané parametre po cementácii:

- Tvrdosť: 62-65 HRC
- Obsah uhlíka na povrchu: max. 0,9 %
- Obsah zvyškového austenitu: max 10 %
- Hrúbka cementovanej vrstvy: 1,2 – 1,4 mm

Tab. 4 Zahraničné ekvivalenty označovania ocele 14220 [10]

<i>Norma</i>	<i>Označenie</i>	
ISO	TYPE 5	ISO 683/11-70
EURO	16MnCr5	EN 10084-94, EN 84-70
Nemecko	16MnCr5	DIN 17210-86 (1.1191)
Veľká Británia	590M17	BS 97/1-96
USA	GR.5120	ASTM A506
	No.5115	ASTM A519-84

Tab. 5 Percentuálne chemické zloženie ocele 14220 [10]

	C	Mn	Si	Cr	P	S
Podľa ČSN	0,14 0,19	1,10 1,40	0,17 0,37	0,80 1,10	max 0,035	max 0,035



Obr. 12 Výrobok a skúmaná brúsená plocha

5.2 Strojné zariadenie – brúska BPV 40

Operácia brúsenia čela strižného kotúča sa vykonáva na rovinatej brúske BPV 40.



Obr. 13 Brúska BPV 40

Charakteristika strojného zariadenia:

- Rozmery
 - Dĺžka: 7600 mm
 - Šírka: 2900 mm
 - Výška: 2890 mm
 - Hmotnosť: 15500 kg
- Výkon:
 - Výkon elektromotora: 70 kW
 - Celkový príkon:
- Upínacia plocha pracovného stola
 - Max. dĺžka brúsenia: 2000 mm
 - Max. šírka brúsenia: 400 mm

5.3 Brúsny nástroj

V brúske BPV 40 sa ako rezný nástroj nepoužíva brúsny kotúč, ale brúsne segmenty lichobežníkového tvaru. Konkrétne sa jedná o umelý korund s keramickým spojivom s typovým označením 100/85x35x150 99BA40J8V.



Obr. 14 Brúsny segment – ilustračná fotografia [11]

5.4 Meracie zariadenie – drsnomer Mitutoyo

Skúšky kvality opracovania boli vykonané na mernom stredisku na prístroji renomovanej značky Mitutoyo, ktorý je na nasledujúcom obrázku.



Obr. 15 Drsnomer Mitutoyo na mernom stredisku

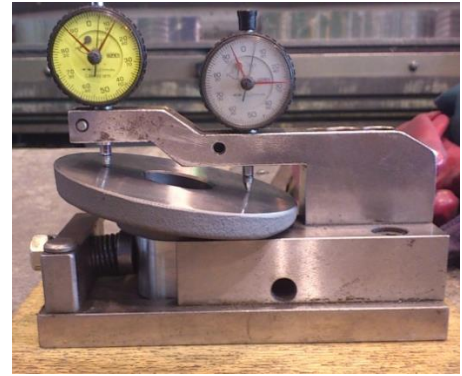
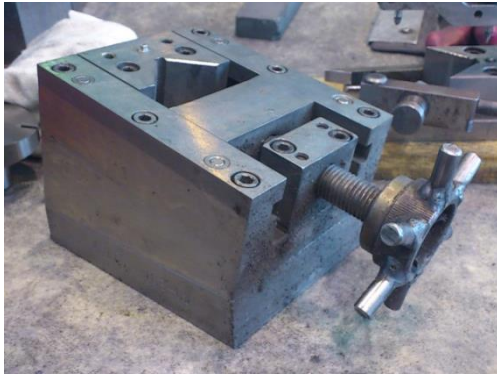
Jedná sa o základné riešenie. Namerané hodnoty zobrazuje na displeji a je možné ich zároveň vytlačiť prostredníctvom integrovanej tlačiarne. Vyznačuje sa možnosťou merania nefiltrovaného profilu drsnosti podľa normy DIN EN ISO 3274 a odfiltrovaného profilu podľa normy DIN EN ISO 4287.

5.5 Použité rezné emulzie

Univerzálna procesná kvapalina Statoil ToolWay S 455 bola v teste nahradená kvapalinou Statoil ToolWay C 231 TC, ktorá bola vyvinutá špeciálne pre operácie brúsenia železných kovov a spekaných karbidov.

Statoil ToolWay S 455 – popis:

- Polosyntetický koncentrát miešateľný s vodou určený na prípravu chladiacej emulzie na obrábanie kovov pre ťažké a stredne ťažké obrábacie operácie
- Hodnota aplikačnej koncentrácie – 5%
- Hodnota pH 9,9 (koncentrát); 9,0 (koncentrácia 5%)



Obr. 17 Přípravok pre 1 obrobok, meradlo, 6 kusov prípravkov s upnutými obrobkami na pracovnom stole brúsky

Kontrolný postup pre brúsenie strižného kotúča je stanovený na 4 kontrolované znaky, ktoré sú zobrazené v nasledovnej tabuľke:

Tab. 6 Kontrolované znaky s toleranciami a početnosťou meraní na pracovisku a na mernom stredisku

<i>Znak</i>	<i>Hodnota a tolerancia</i>	<i>Meradlo</i>	<i>Početnosť meraní pracovníkom</i>	<i>Početnosť meraní na mernom stredisku</i>
	26 ± 0,1	Špeciálne meradlo	100 %	5 %
	12,56 – 0,1	Špeciálne meradlo	100 %	5 %
Tvrdosť	740 – 840 HV1	Mikrotvrdomer	-	1 kus zo vsádzky
Opracovanie R _z [μm]	Max. 3	Drsnomer	-	10 %
Opracovanie R _{mr} [%]	Min. 91%	Drsnomer	-	10 %

Pre splnenie cieľa práce som sa vo vyhodnotení zaoberala výsledkami z meraní kvality opracovania povrchu.

6 VÝSLEDKY A ZHODNOTENIE VÝSKUMU

Testovanie prebiehalo v dlhšom časovom období, a to z dôvodu kapacitného vyťaženia sledovaného stroja – brúsky BPV 40. Dáta boli zbierané tak, ako bol testovaný obrobok objednaný zákazníkom, kvôli udržaniu nákladov na rovnakej úrovni ako pri bežnej výrobe. Zároveň aj z dôvodu nákladovosti výmeny reznej kvapaliny a čistenia stroja, keďže nádrž na kvapalinu má objem cca 200 l. Pre vyhodnotenie sú použité dáta z 5 výrobných dávok brúsených za použitia reznej kvapaliny Statoil ToolWay S455 a z 5 výrobných dávok brúsených v kvapaline Statoil ToolWay C231 TC. Bezprostredne po vyčistení stroja a výmene reznej kvapaliny boli upravované rezné podmienky za účasti odborníka na opravovanie brúsením.

6.1 Zvýšenie rezných podmienok s použitím novej reznej kvapaliny

Parametre brúsenia pred výmenou reznej kvapaliny boli nastavené na nasledovnej úrovni. Celý prídavok bol brúsený na rovnakom nastavení posuvu a úberu. Za týchto podmienok prebiehala výroba od začiatku výroby tohto produktu v spoločnosti. Pre vyhodnotenie som použila namerané hodnoty drsnosti a materiálového pomeru z posledných piatich dávok brúsených za týchto podmienok. Pre lepšiu orientáciu označím testované parametre nasledovne:

- **Parametre 1** – pred optimalizáciou, vid' tabuľka číslo 7 s použitím univerzálnej reznej kvapaliny ToolWay S455;
- **Parametre 2** – po prvej úprave parametrov s použitím reznej kvapaliny špecializovanej pre brúsenie ToolWay C 231 TC;
- **Parametre 3** – po druhej úprave parametrov s použitím reznej kvapaliny špecializovanej pre brúsenie ToolWay C 231 TC.

Tab. 7 Parametre 1 - brúsenie s použitím kvapaliny ToolWay S455

Brúsenie	Posuv	6 m/min
	Úber	0,0025 mm
Vybrúsenie	Posuv	6 m/min
	Úber	0 mm

Tab. 8 Opracovanie pri parametroch 1

	<i>ToolWay S455</i> <i>parametre 1</i>	
	$R_z [\mu m]$	$R_{mr} [\%]$
Priemer	1,54	97,25
Rozptyl	0,14	6,35
Smerodajná odchýlka	0,38	2,52
Minimum	0,68	91,90
Maximum	2,08	100,00

Po rozhodnutí o testovaní novej reznej kvapaliny sme uskutočnili experiment. Brúska bola kompletne vyčistená a naplnená reznou kvapalinou Toolway C 231 TC. Parametre sme menili 2 krát.

Prvýkrát bol proces brúsenia rozdelený na hrubovanie a dokončovanie. Pre hrubovanie bola zvýšená hodnota posuvu. Následne bolo obrúsených 5 kusov obrobkov a vyhodnotená kvalita ich povrchu. Parametre brúsenia po zmene a vyhodnotenie kvality povrchu sa nachádzajú v nasledujúcich tabuľkách.

Tab. 9 Parametre 2 - brúsenie s použitím kvapaliny ToolWay C 231 TC – po prvej úprave

Hrubovanie	Posuv	15 m/min
	Úber	0,01 mm
Dokončovanie	Posuv	6 m/min
	Úber	0,0025 mm
Vybrúsenie	Posuv	6 m/min
	Úber	0 mm

Tab. 10 Opracovanie pri parametroch 2

	<i>ToolWay C 231 TC</i> <i>parametre 2</i>	
	$R_z [\mu\text{m}]$	$R_{mr} [\%]$
Priemer	0,79	99,66
Rozptyl	0,25	0,43
Smerodajná odchýlka	0,50	0,65
Minimum	0,32	98,50
Maximum	1,53	100,00

Keďže výsledky kvality opracovania boli na veľmi dobrej úrovni, oproti požiadavkám zo strany zákazníka, rozhodli sme sa upraviť ešte parametre brúsenia pri dokončovaní a to nasledovným spôsobom v tabuľke 11. Po obrúsení ďalších 5 kusov obrobkov bola opäť vyhodnotená ich kvalita povrchu v tabuľke 12.

Tab. 11 Parametre 3 - brúsenie s použitím kvapaliny ToolWay C 231 TC – po druhej úprave

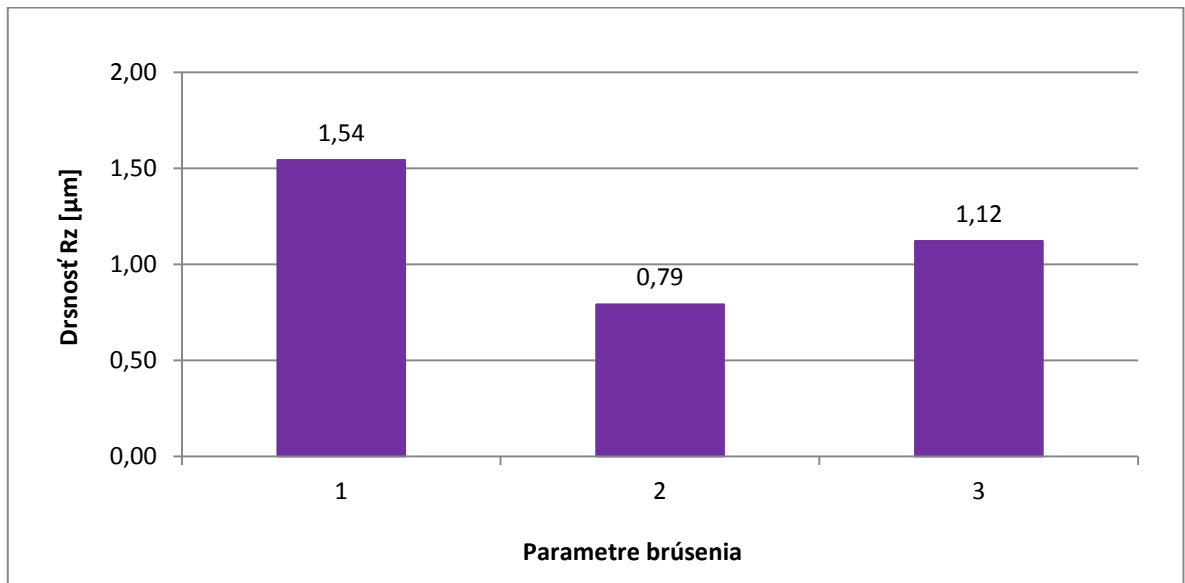
Hrubovanie	Posuv	15 m/min
	Úber	0,01 mm
Dokončovanie	Posuv	8 m/min
	Úber	0,0025 mm
Vybrúsenie	Posuv	8 m/min
	Úber	0 mm

Tab. 12 Opracovanie pri parametroch 3

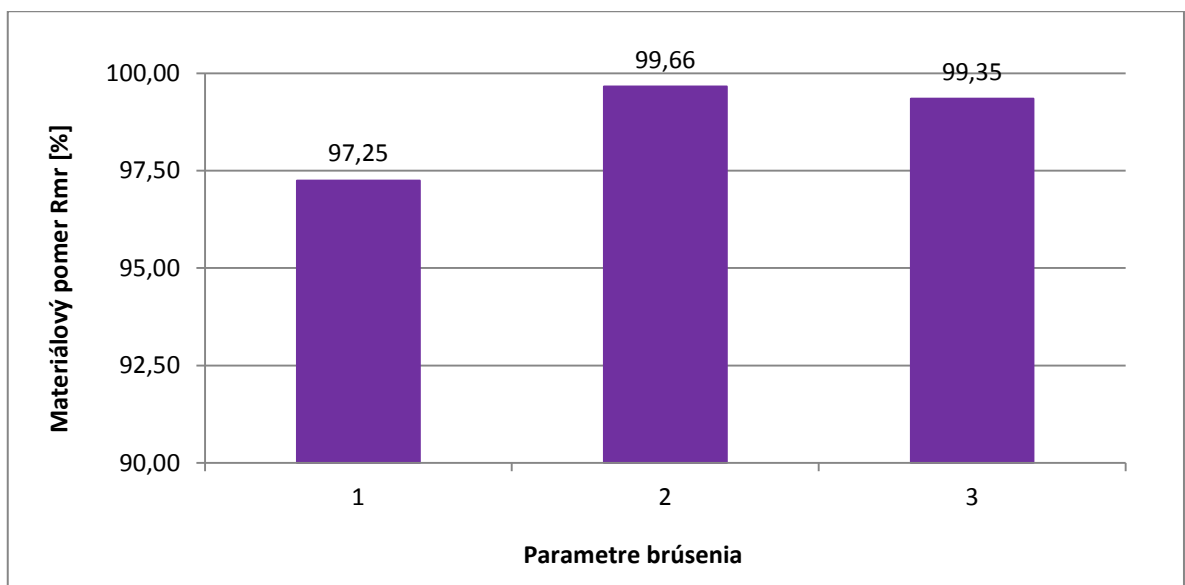
	<i>ToolWay C 231 TC</i> <i>parametre 3</i>	
	$R_z [\mu\text{m}]$	$R_{mr} [\%]$
Priemer	1,12	99,35
Rozptyl	0,04	0,48
Smerodajná odchýlka	0,20	0,69
Minimum	0,84	98,00
Maximum	1,57	100,00

Porovnanie výsledkov kvality opracovania pri vyššie popísaných parametroch brúsenia sa nachádza na nasledujúcich grafoch. Najhoršie výsledky (hoci splňujú požiadavky zákazníka) boli dosiahnuté prostredníctvom pôvodnej technológie. Po výmene reznej kvapaliny a prvej úprave parametrov sa viditeľne prejavil pozitívny vplyv novej emulzie. Napriek tomu, že boli zvýšené parametre brúsenia, opracovanie bolo kvalitnejšie.

Keďže zo zákazníkom predpísaných hodnôt vyplývali ďalšie optimalizačné možnosti, nasledovala ďalšia úprava parametrov. Aj po nej sú výsledky opracovania stále lepšie, ako za pôvodných podmienok.



Obr. 18 Drsnosť R_z pri rôznych parametroch brúsenia

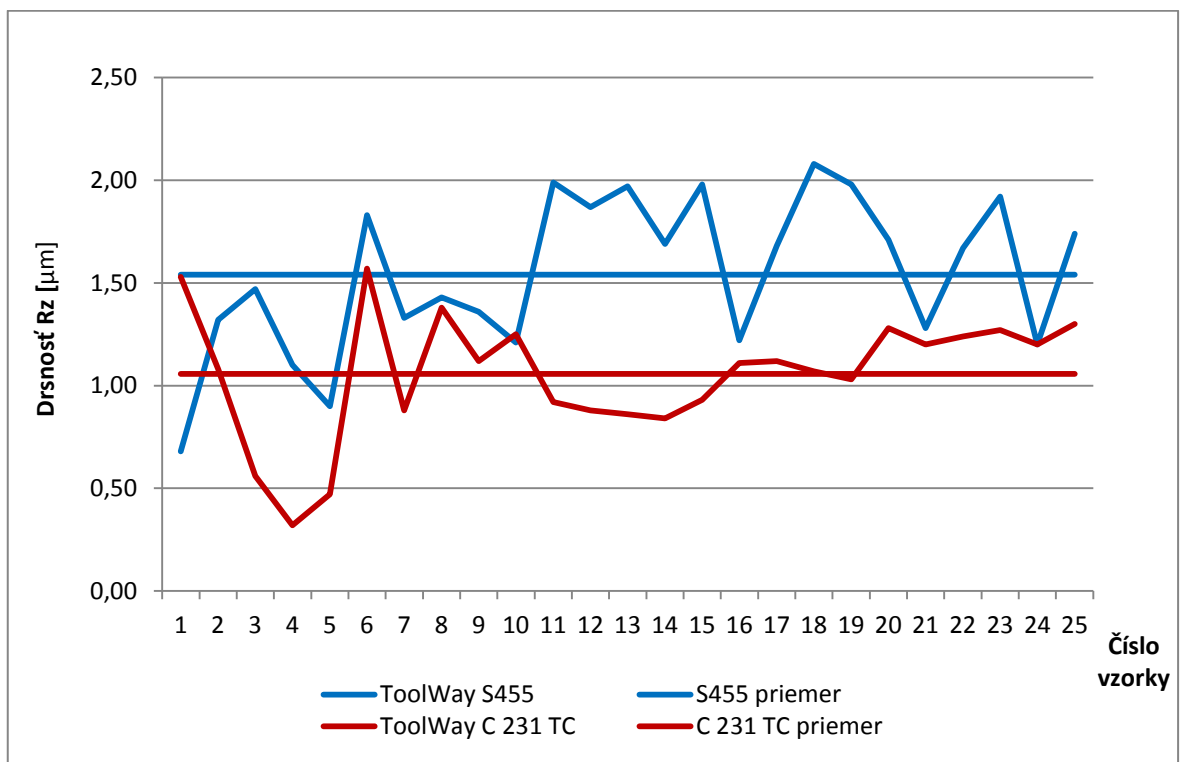


Obr. 19 Percento materiálového pomeru R_{mr} pri rôznych parametroch brúsenia

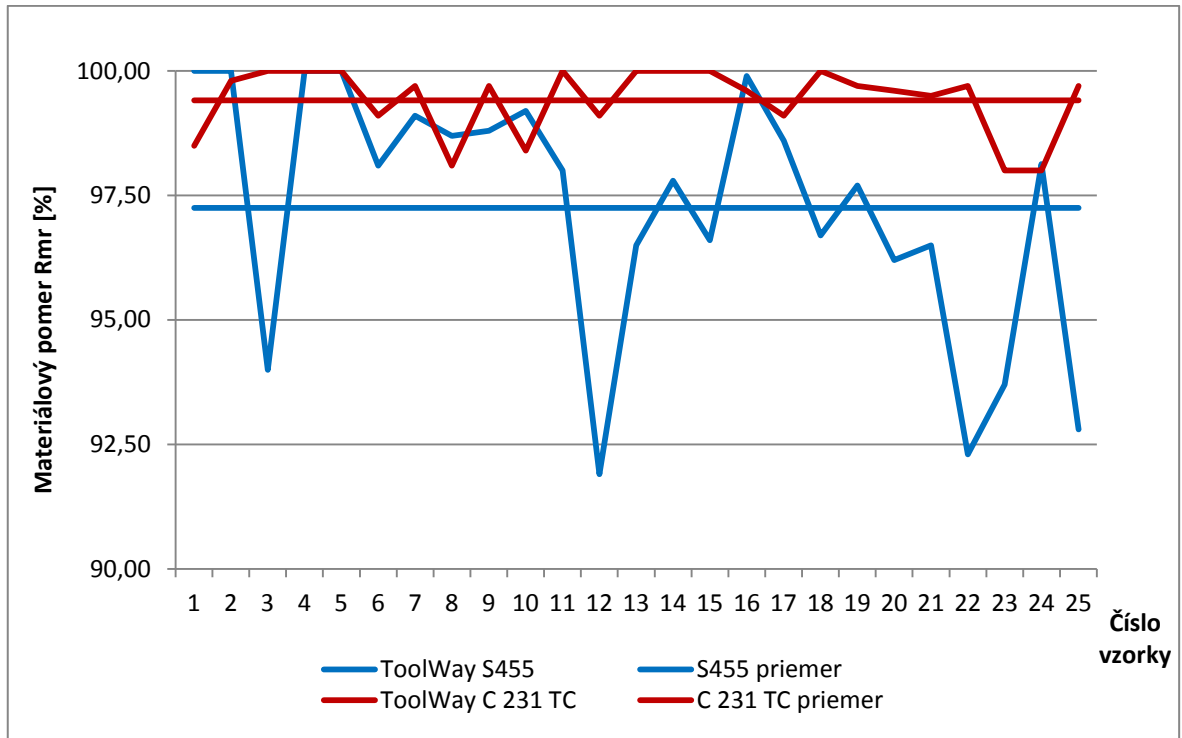
6.2 Závislost' kvality povrchu na druhu reznej kvapaliny

Už predchádzajúci test poukázal na lepšie vlastnosti reznej kvapaliny ToolWay C 231 TC pri obrábaní brúsením. Nasledujúce grafy ukazujú závislosť kvality opracovania na použitej reznej kvapaline.

Porovnané sú výsledky z meraní 25 vzoriek obrobených v univerzálnej kvapaline a 25 vzoriek obrobených v kvapaline určenej na brúsenie. Priemerné hodnoty drsnosti R_z a materiálového pomeru R_{mr} sú lepšie pri použití špecializovanej kvapaliny, napriek tomu, že opracovanie prebiehalo so zvýšenými brúsnymi parametrami.



Obr. 20 Závislosť drsnosti R_z na druhu reznej kvapaliny

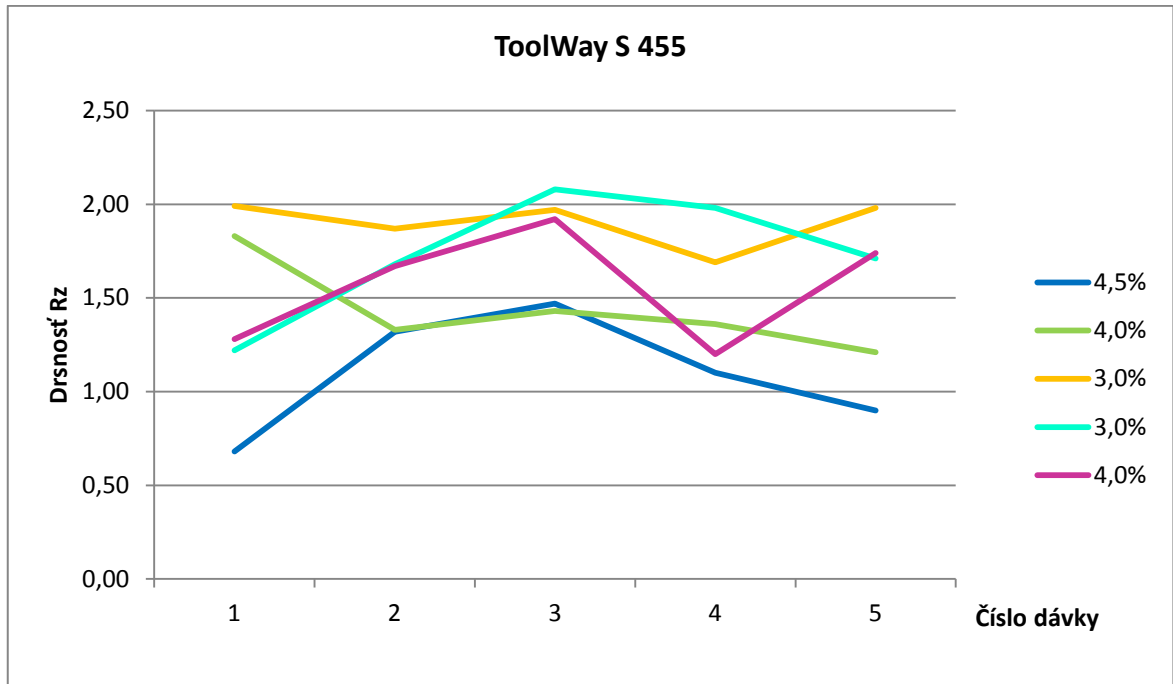


Obr. 21 Závislosť materiálového pomeru R_{mr} na druhu reznej kvapaliny

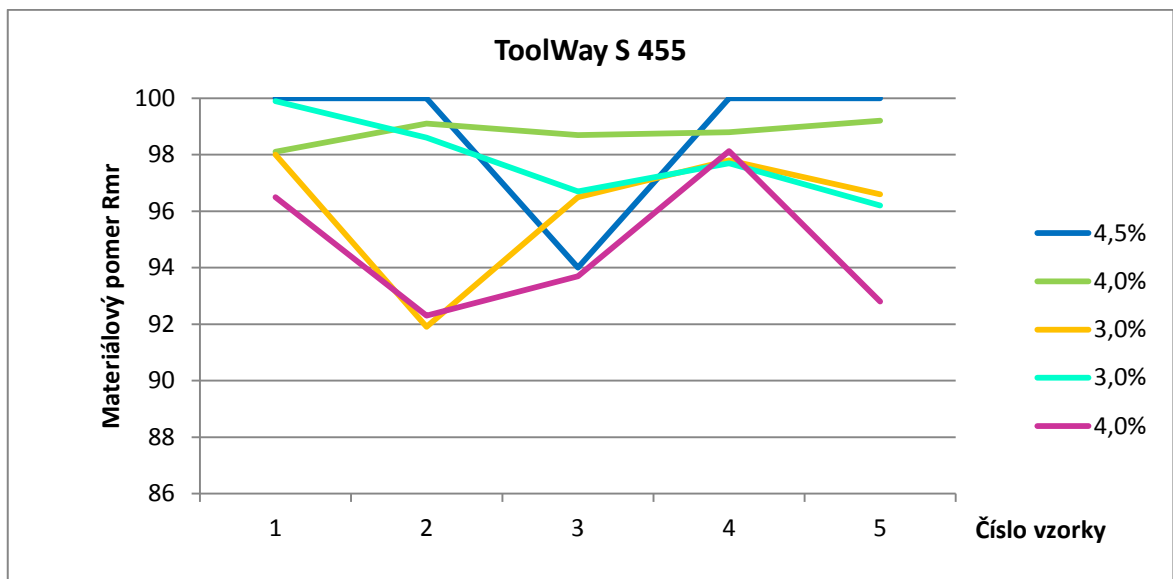
6.3 Závislosť kvality povrchu na koncentrácii reznej kvapaliny

Počas priebehu testu sa pohybovali namerané hodnoty koncentrácie rezných kvapalín v intervale od 3 % do 5 %, čo sa pohybuje pod výrobcom odporúčanou hranicou (5%), avšak po konzultácii s technológom špecializovaným na brúsenie, bol tento stav označený za vyhovujúci.

Z nasledujúcich grafov závislosti drsnosti na koncentrácii reznej kvapaliny je však vidno, že pri nezmenených rezných podmienkach pri nižších koncentráciách je dosahovaná drsnosť vyššia, a to pri oboch testovaných kvapalinách.

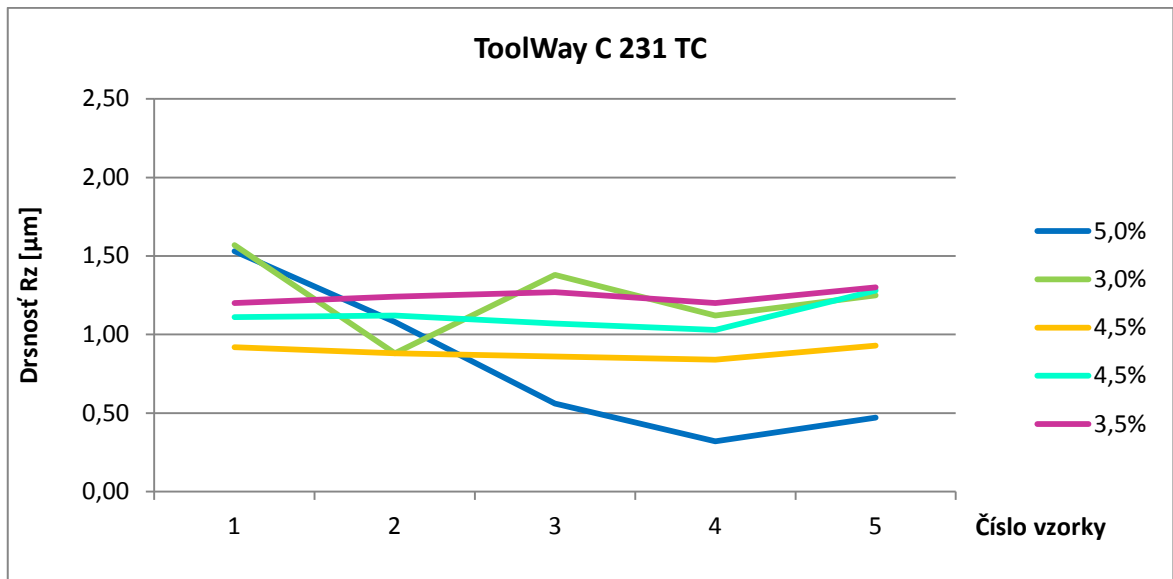


Obr. 22 Závislosť charakteristiky R_z na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay S455

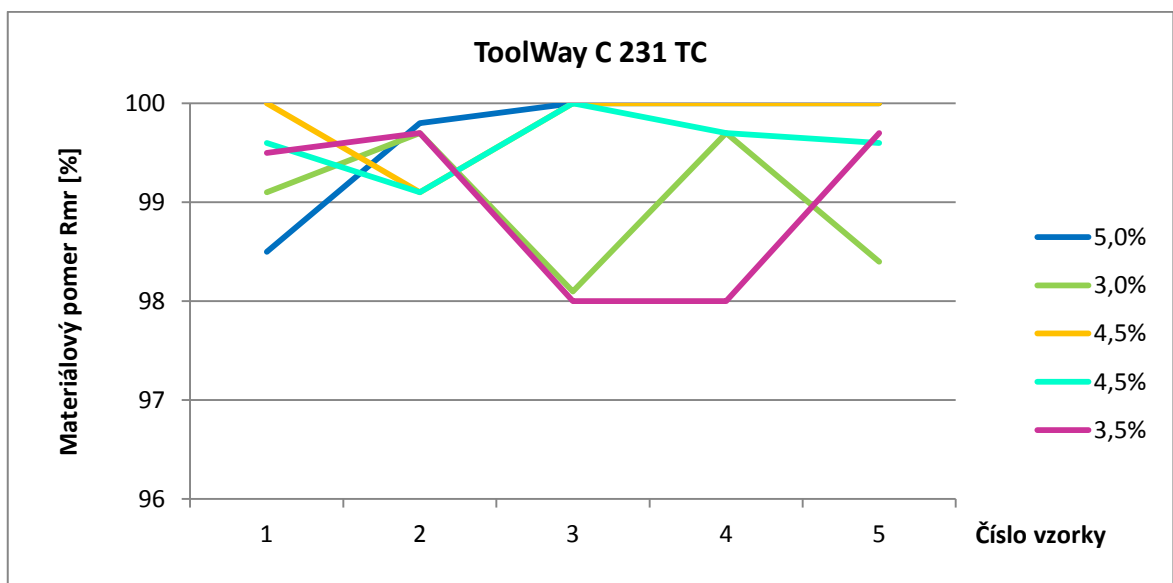


Obr. 23 Závislosť materiálového pomeru R_{mr} na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay S455

Obe sledované charakteristiky pri použití kvapaliny ToolWay S455 vykazujú lepších výsledkov pri vyššej koncentrácii. Rovnako je tomu tak aj pri použití kvapaliny ToolWay C 231 TC.



Obr. 24 Závislosť charakteristiky R_z na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay C 231 TC



Obr. 25 Závislosť materiálového pomeru R_{mr} na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay S455

Výsledky testu poukazujú na fakt, že kvapalina ToolWay C 231 TC už pri zmenených rezných podmienkach vykazuje pri rovnakej koncentrácii vyššiu kvalitu opracovania. Nameňované hodnoty R_z sa pohybujú v priemere okolo 1,06 μm , zatiaľ čo priemer hodnôt R_z pri kvapaline ToolWay S455 je 1,54 μm . Môžeme preto konštatovať, že je pre obrábanie brúsením vhodnejšia.

Rovnaký výsledok potvrdzuje aj porovnanie hodnôt materiálového pomeru R_{mr} dosahovaneho pri oboch kvapalinách. Pri ToolWayi S455 sa hodnoty pohybujú od 92 % do 100 %. S použitím kvapaliny ToolWay C 231 TC sa rozptyl hodnôt pohybuje v rozmedzí od 98 % do 100 %.

6.4 Ekonomické prínosy

Pri hodnotení ekonomických prínosov je najdôležitejším ukazovateľom dosiahnutý procesný čas po upravení rezných podmienok. Práve ten ovplyvňuje náklady na ľudskú prácu a strojné zariadenie, čím priamoúmerne ovplyvňuje cenu operácie.

Ďalším dôležitým faktorom je aj cena koncentráту reznej kvapaliny. Aby bola investícia do výmeny reznej kvapaliny ekonomicky prínosná, výnosy zo skrátenia procesného času musia byť vyššie ako zvýšené náklady na reznú kvapalinu a poradenské služby poskytnuté externým technikom.

Nákladové položky počítané pri optimalizácii:

- Cena koncentrátu novej reznej kvapaliny vyššia o 1,44 EUR/l (náklady na dodávku kvapaliny, čistenie stroja a výmenu kvapaliny sú zahrnuté v litrovej cene koncentrátu);
- Náklady na reznú kvapalinu vzťahnuté na normohodinu vyššie o 0,75 EUR/Nhod (počítané prostredníctvom celkových nákladov na naplnenie stroja podelených odpracovanými normohodinami za obdobie medzi dvomi výmenami kvapaliny);
- Hodinová sadzba brúsky BPV40 – nezmenená;
- Hodinová mzda pracovníka obsluhy brúsky – nezmenená;
- Mzda externého technika brúsenia za poradenské služby – využité po dobu 1 dňa.

Výnosové položky pri optimalizácii:

- Skrátenie procesného času z 33,3 min/6 kusov na 12,45 min/6 kusov (znižuje náklady na strojné zariadenie a mzdu obsluhy brúsky).

Dôležitým faktorom je, že dlhodobé zvýšenie nákladov so sebou nesie len zvýšenie ceny za liter koncentrátu novej reznej kvapaliny. Náklady na externé poradenské služby technika brúsenia sú len jednorazového charakteru.

Naopak ekonomický prínos spočíva v dlhodobom znížení výrobných nákladov, čo je pre každý podnik zameraný na výrobu jedným z najdôležitejších faktorov udržania si konkurencieschopnosti.

V nasledujúcej tabuľke je vypočítaná cena operácie brúsenia testovaného obrobku pred optimalizáciou, teda s použitím kvapaliny ToolWay S455 a pri pôvodných rezných parametroch.

Tab. 13 Cena operácie brúsenia pred optimalizáciou

<i>Položka</i>	<i>EUR</i>
Cena koncentráту ToolWay S455 = 3,45 EUR/l	
Náklady na reznú kvapalinu = 0,18 eur/Nhod	
<i>Náklady na reznú kvapalinu na 1 ks</i>	<i>0,0167 EUR/ks</i>
Hodinová sadzba brúsky BPV 40 = 8,4 EUR/hod	
Mzdové náklady = 6,04 EUR/hod	
Procesný čas = 5,55 min/ks	
<i>Náklady na stroj a mzdy na 1 ks</i>	<i>1,34 EUR/ks</i>
<i>SPOLU</i>	<i>1,36 EUR/ks</i>

V tabuľke č.14 je vypočítaná cena operácie po optimalizácii s použitím reznej kvapaliny ToolWay C231 TC.

Tab. 14 Cena operácie brúsenia po optimalizácii

<i>Položka</i>	<i>EUR</i>
Cena koncentráту ToolWay C231 TC = 4,89 EUR/l	
Náklady na reznú kvapalinu = 0,93 eur/Nhod	
<i>Náklady na reznú kvapalinu na 1 ks</i>	<i>0,0322 EUR/ks</i>
Hodinová sadzba brúsky BPV 40 = 8,4 EUR/hod	
Mzdové náklady = 6,04 EUR/hod	
Procesný čas = 2,08 min/ks	
<i>Náklady na stroj a mzdy na 1 ks</i>	<i>0,50 EUR/ks</i>
<i>SPOLU</i>	<i>0,53 EUR/ks</i>

Optimalizáciou boli znížené náklady na brúsenie jedného kusa testovaného výrobku o **0,83 EUR**. Návratnosť jednorazovej investície do externého poradenstva vo výške 100 EUR sa

vrátil výrobou prvých 121 kusov v optimalizovanom procese. Zákazníkom požadovaný ročný objem výroby daného obrobku v roku 2013 je 9900 kusov. Celkovú ročnú úsporu optimalizácie je teda možné vyčíslit' ako úsporu na jeden kus krát ročný objem, čo predstavuje **8217 EUR**.

Táto bakalárska práca slúži k vyhodnoteniu úspešnosti testovania na pilotnom projekte. Po aplikácii výsledkov tejto optimalizácie na ďalšie operácie brúsenia a na ďalšie brúsky v strojnom parku spoločnosti, je možné pri súčasnom výrobovom portfóliu úsporu z výmeny reznej kvapaliny niekoľkonásobne zvýšiť, čo je dlhodobým cieľom spoločnosti v oblasti neustáleho zlepšovania sa.

ZÁVER

Hlavnou náplňou tejto bakalárskej práce je zhodnotenie vplyvu reznej kvapaliny na kvalitu brúseného povrchu. Výskum prebiehal na operácii brúsenia vybraného výrobku v podmienkach spoločnosti Topos, a.s., Tovarníky. Jeho cieľom, ako aj cieľom samotnej práce bolo vyhodnotiť vplyv reznej kvapaliny na kvalitu brúseného povrchu pri zvýšení rezných podmienok s použitím špecializovanej kvapaliny, čo vedie k zníženiu nákladov na danú operáciu.

V teoretickej časti práce som sa venovala technológii brúsenia, rezným podmienkam pri brúsení a používaným brúsnyim nástrojmi. Ďalej bol popísaný význam a funkcia rezných kvapalín pri obrábaní všeobecne. Pre vyhodnotenie kvality brúseného povrchu boli formulované teoretické východiská z oblasti hodnotenia kvality povrchu, charakteristík povrchu a vplyvov na kvalitu povrchu.

Praktická časť práce popisuje podmienky brúsenia testovaného výrobku na rovinatej brúske BPV 40: materiálové zloženie výrobku, testované rezné kvapaliny, požiadavky na kvalitu povrchu, popis brúsky a drsnomera použitého pre vyhodnotenie výsledkov testu. Kvalita brúseného povrchu bola hodnotená z viacerých hľadísk charakteristikami drsnosti R_z a materiálovým pomerom R_{mr} . Univerzálna chladiaca kvapalina bola nahradená špecializovanou, určenou na použitie pri brúsení. Pri použití špecializovanej reznej kvapaliny boli zvýšené rezné podmienky a sledované charakteristiky vykazovali ešte lepších hodnôt, ako pri neoptimalizovanom procese. Následne som graficky porovnala kvalitu opracovania pri použití oboch rezných kvapalín. Priemerné hodnoty drsnosti aj materiálového pomeru ukazujú na lepšie výsledky za použitia špecializovanej reznej kvapaliny. Rovnako charakteristiky kvality povrchu vykazujú závislosť na koncentrácii reznej kvapaliny podľa očakávania – čím vyššia koncentrácia, tým lepšie výsledky opracovania, a to pri oboch sledovaných kvapalinách.

Rezná kvapalina a jej koncentrácia má teda značný vplyv na kvalitu opracovania brúseného povrchu. Špecializovaná rezná kvapalina pre technológiu brúsenia dáva možnosť na zvýšenie rezných podmienok, a tým na zníženie strojného času operácie. Tento poznatok umožňuje optimalizovať výrobný proces brúsenia a znížiť výrobné náklady o vyše 8000 EUR ročne len pri tejto jedinej operácii. Výsledky tejto optimalizácie spoločnosť určite využije aj v ďalšej výrobe.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRI

Monografie:

- [1] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠTÁDAL, B. *Drsnost povrchu*. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, 338 s.
- [2] ČERNÝ, F., MARŠÁLEK, J., TRMAL, J. *Brusky a broušení*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1970, 263 s.
- [3] JURKO, J., LUKOVICS, I. *Obrábatelnost' materiálův*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2008, 142 s. ISBN 978-80-7318-736-1.
- [4] KOČMAN, K. *Speciální technologie: obrábění. 3.* Přepřac. a dopl. vyd. Brno: CERM, 2004, 227 s. ISBN 80-214-2562-8.
- [5] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [6] ŘASA, J.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3.: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Vyd. 2. Praha: Scientia, 2005, 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [7] SOUČEK, J., BUDA, J., VASILKO, K. *Teória obrábania*. 2. preprac. vyd. Bratislava: Alfa, 1988, 391 s.
- [8] VASILKO, K., BOKUČAVA, G. *Brúsenie kovových materiálův*. Bratislava: Alfa, 1988, 235 s.

Internetové zdroje:

- [9] Elearning VOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice. *U01_Technologie_broušení* [online]. Posledná aktualizácia 2013-14-1, [cit. 2013-14-1]. Dostupný z WWW <http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U01_Technologie_brouseni.pdf>.
- [10] Odbor technologie tváření kovů a plastů, ÚST, FSI VUT v Brně. *Ocel 14 220*. [online]. Posledná aktualizácia 2013-28-2, [cit. 2013-12-3]. Dostupný z WWW <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_14220.pdf>.
- [11] Produkty | M&V e-shop [online]. Posledná aktualizácia 2013-17-3, [cit. 2013-17-3]. Dostupný z WWW <<http://katalog.mav.cz/detail.php?id=12764&lang=0>>.

- [12] Stránka oddelenia environmentálnej techniky ÚSETM. *Výrobné stroje a zariadenia*. [online]. Posledná aktualizácia 2013-6-2, [cit. 2013-6-2]. Dostupný z WWW <http://www.kvt.sjf.stuba.sk/WEB/prednaskyVS/04_prednaska_VyrStroje_16_3_09.pdf>.
- [13] Strojárska technológia | zlievarenstvo, obrábanie, tvárnenie, tepelné spracovanie povrchov, povrchové úpravy povlakovaním, montáž. *31. Brusne nástroje* [online]. Posledná aktualizácia 2013-14-1, [cit. 2013-14-1]. Dostupný z WWW <<http://www.strojarskatechnologia.info/31-brusne-nastroje-%E2%80%93-druh-brusiva-tvrдост-zrnitost-brusnych-kotucov-a-poziadavky-na-volbu-brusneho-kotuca/>>.
- [14] ZOZEI – Za odbornými znalosťami evropsky a interaktívne. *Broušení* [online]. Posledná aktualizácia 2012-23-2, [cit. 2013-27-1]. Dostupný z WWW <<http://zozei.sssebrno.cz/brouseni---podstata-brousici-nastroje-tvary-a-znacenikotoucu/>>.

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

HRC	Tvrdosť podľa Rockwella.
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý – umelý korund.
SiC	Karbid kremika.
B ₄ C	Karbid bóru.
N ₂ B ₃	Kubický nitrid bóru.
R _a	Stredná aritmetická úchylka profilu.
R _z	Výška nerovností profilu z desiatich bodov.
R _m	Najväčšia výška nerovností profilu.
S _m	Stredný rozostup nerovností profilu.
S	Stredný rozostup miestnych výstupkov profilu.
S _{mi}	Rozostup nerovností profilu.
t _p	Nosný podiel.
R _{mr}	Materiálový pomer.
y _p	Výška výstupkov profilu.
l _p	Nosná dĺžka profilu.
CNC	Computer Numeric Control.
NC	Numeric Control.
ISO	International Organization for Standardization.
EN	Európska norma.
DIN	Deutsches Institut für Normung.
ČSN	Československá štátna norma.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
16MnCr5	Nízkolegovaná ušľachtilá mangán-chrómová oceľ na cementovanie.
HV1	Tvrdosť podľa Vickersa.

ZOZNAM OBRÁZKOV

<i>Obr. 1</i> Brúsny nástroj a geometria brusných zrn [9]	12
<i>Obr. 2</i> Štádia brúsenia [8]	13
<i>Obr. 3</i> Príklad označenia brúsneho kotúča [11]	17
<i>Obr. 4</i> Hlavné rezné podmienky [9]	19
<i>Obr. 5</i> Hrotové brúsky pre pozdĺžne a zapichovacie brúsenie [12]	22
<i>Obr. 6</i> Typy rovinných brúsok [12]	23
<i>Obr. 7</i> Požiadavky metód obrábania na chladenie a mazanie [4]	28
<i>Obr. 8</i> Klasifikácia úchyliet povrchu [1]	30
<i>Obr. 9</i> Schéma elektromagnetického snímača [7]	34
<i>Obr. 10</i> Schéma elektroindukčného snímača [7]	35
<i>Obr. 11</i> Schéma piezoelektrického snímača [7]	35
<i>Obr. 12</i> Výrobok a skúmaná brúsená plocha	43
<i>Obr. 13</i> Brúska BPV 40	43
<i>Obr. 14</i> Brúsny segment – ilustračná fotografia [11]	44
<i>Obr. 15</i> Drsnomer Mitutoyo na mernom stredisku	45
<i>Obr. 16</i> Karta záznamov o kontrole procesnej kvapaliny	46
<i>Obr. 17</i> Prípravok pre 1 obrobok, meradlo, 6 kusov prípravkov s upnutými obrobkami na pracovnom stole brúsky	47
<i>Obr. 18</i> Drsnosť R_z pri rôznych parametroch brúsenia.....	52
<i>Obr. 19</i> Percento materiálového pomeru R_{mr} pri rôznych parametroch brúsenia.....	52
<i>Obr. 20</i> Závislosť drsnosti R_z na druhu reznej kvapaliny	53
<i>Obr. 21</i> Závislosť materiálového pomeru R_{mr} na druhu reznej kvapaliny.....	54
<i>Obr. 22</i> Závislosť charakteristiky R_z na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay S455	55
<i>Obr. 24</i> Závislosť materiálového pomeru R_{mr} na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay S455.....	55
<i>Obr. 23</i> Závislosť charakteristiky R_z na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay C 231 TC	56
<i>Obr. 25</i> Závislosť materiálového pomeru R_{mr} na koncentrácii reznej kvapaliny ToolWay S455.....	56

ZOZNAM TABULIEK

<i>Tab. 1 Prehľad odporúčaných rezných kvapalín pre rôzne metódy obrábania [4].....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 2 Charakteristiky drsnosti povrchu [7]</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 3 Vybrané orientačné údaje závislosti drsnosti povrchu a zrnitosti [2].....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 4 Zahraničné ekvivalenty označovania ocele 14220 [10]</i>	<i>42</i>
<i>Tab. 5 Percentuálne chemické zloženie ocele 14220 [13].....</i>	<i>43</i>
<i>Tab. 6 Kontrolované znaky s toleranciami a početnosťou meraní na pracovisku a na mernom stredisku</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 7 Parametre 1 - brúsenie s použitím kvapaliny ToolWay S455.....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 8 Opracovanie pri parametroch 1</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 9 Parametre 2 - brúsenie s použitím kvapaliny ToolWay C 231 TC – po prvej úprave.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 10 Opracovanie pri parametroch 2</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 11 Parametre 3 - brúsenie s použitím kvapaliny ToolWay C 231 TC – po druhej úprave.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 12 Opracovanie pri parametroch 3</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 13 Cena operácie brúsenia pred optimalizáciou.....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 14 Cena operácie brúsenia po optimalizácii.....</i>	<i>58</i>

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha PI: Operačno-kontrolná návodka pre brúsenie strižného kotúča

Príloha PII: Namerané hodnoty pri pôvodnej technológii

Príloha PIII: Namerané hodnoty po optimalizácii

**PRÍLOHA P II: NAMERANÉ HODNOTY PRI PÔVODNEJ
TECHNOLÓGII**

<i>Dávka</i>	<i>Koncentrácia procesnej kva- paliny</i>	<i>Namerané hodnoty</i>		
		<i>Vzorka</i>	<i>R_z</i>	<i>R_{mr}</i>
1	4,5%	1	0,68	100
		2	1,32	100
		3	1,47	94
		4	1,1	100
		5	0,9	100
2	4,0%	1	1,83	98,1
		2	1,33	99,1
		3	1,43	98,7
		4	1,36	98,8
		5	1,21	99,2
3	3,0%	1	1,99	98
		2	1,87	91,9
		3	1,97	96,5
		4	1,69	97,8
		5	1,98	96,6
4	3,0%	1	1,22	99,9
		2	1,68	98,6
		3	2,08	96,7
		4	1,98	97,7
		5	1,71	96,2
5	4,0%	1	1,28	96,5
		2	1,67	92,3
		3	1,92	93,7
		4	1,2	98,13
		5	1,74	92,8

PRÍLOHA P III: NAMERANÉ HODNOTY PO OPTIMALIZÁCIÍ

<i>Dávka</i>	<i>Koncentrácia procesnej kva- paliny</i>	<i>Namerané hodnoty</i>		
		<i>Vzorka</i>	<i>R_z</i>	<i>R_{mr}</i>
1	5,0%	1	1,53	98,5
		2	1,08	99,8
		3	0,56	100
		4	0,32	100
		5	0,47	100
2	3,5%	1	1,57	99,1
		2	0,88	99,7
		3	1,38	98,1
		4	1,12	99,7
		5	1,25	98,4
3	3,5%	1	0,92	100
		2	0,88	99,1
		3	0,86	100
		4	0,84	100
		5	0,93	100
4	4,5%	1	1,11	99,6
		2	1,12	99,1
		3	1,07	100
		4	1,03	99,7
		5	1,28	99,6
5	4,5%	1	1,2	99,5
		2	1,24	99,7
		3	1,27	98
		4	1,2	98
		5	1,3	99,7