

# Využití procesních kapalin při obrábění mikrosoučástí

Bc. Miroslav Holeček

---

Diplomová práce  
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

|                   |  |
|-------------------|--|
| Jméno a příjmení: | <b>Bc. Miroslav Holeček</b>                                  |
| Osobní číslo:     | <b>T18336</b>  |
| Studijní program: | <b>N3909 Procesní inženýrství</b>                            |
| Studijní obor:    | <b>Výrobní inženýrství</b>                                   |
| Forma studia:     | <b>Kombinovaná</b>   |
| Téma práce:       | <b>Využití procesních kapalin při obrábění mikrosoučástí</b> |

### Zásady pro vypracování

1. Teoretická studie na dané téma
2. Posouzení současného stavu využití procesních kapalin ve firmě
3. Návrh a realizace opatření vedoucích k optimalizaci využívání procesních kapalin
4. Rozbor přínosů zavedených opatření

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- VASILKO, Karol a Jan MÁDL. *Teorie obrábění*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012, 2 sv. (298 s., s. 303-526). ISBN 978-80-7414-459-2.
- TSCHÄTSCH, Heinz. *Applied machining technology*. Springer Science & Business Media, 2010.
- KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- OBERG, Erik, Franklin Day JONES, Holbrook Lynedon HORTON, Henry H. RYFFEL a Christopher J. MCCAULEY. *Machinery's handbook: a reference book for the mechanical engineer, designer, manufacturing engineer, draftsman, toolmaker, and machinist*. 30th edition. South Norwalk: Industrial Press, 2016, XI, 2883 s. ISBN 978-0-8311-3092-3.

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

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

---

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

Ve Zlíně dne 10. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

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

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta: Miroslav Holeček

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá využitím procesních kapalin při obrábění mikrosoučástí ve firmě, vyrábějící díly a precizní součástky pro textilní průmysl. V práci jsou obecně popsány vlastnosti procesních kapalin, jejich účinky na obráběcí proces a komplexní péče o ně, a to jak ve výrobním procesu, tak i zkoušení a ověřování jejich vlastností v laboratoři. Část teoretické studie popisuje znečištění pracovního prostředí, vznikající použitím procesních kapalin při obrábění a jeho vliv na lidské zdraví.

Experimentální část diplomové práce je věnována nalezení a pojmenování potenciálů ke zlepšení při využívání procesních kapalin ve výrobních procesech a jejich následnému prosazení do praxe.

Klíčová slova: procesní kapalina, obrábění, řezný proces, chladičí účinek, mazací účinek, pracovní prostředí

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the use of process liquids in the machining operation of micro-components in a company which produces parts and precise components for the textile industry. In general, the thesis describes the process liquids characteristics, their effects on the machining operation and a total care of them, both in the production process, as well as testing and verification of their characteristics in the laboratory. The part of the theoretical study describes the working environment contamination resulting from the use of process liquids in the machining operation and its impact on human health.

The experimental part of the thesis is devoted to potentials' discovery and designation for improvement while using of process liquids in production processes and their subsequent implementation in practice.

Keywords: processing liquid, machining, cutting process, cooling effect, lubricating effect, working environment

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D., za ochotu a cenné rady při vedení této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval mistrům, seřizovačům a výrobním technologům z pracovišť broušení a frézování, za jejich vstřícný přístup při poskytování informací, potřebných ke zpracování této práce.

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

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....   | <b>11</b> |
| <b>1 PROCESNÍ KAPALINY</b> .....   | <b>12</b> |
| 1.1 ÚKOLY PROCESNÍ KAPALINY PŘI OBRÁBĚNÍ A DŮLEŽITÉ FAKTORY PRO JEJICH VOLBU ..... | 12        |
| 1.1.1 Mechanismus tvorby třísky .....  | 12        |
| 1.1.2 Obráběcí nástroj .....   | 13        |
| 1.1.3 Obráběný materiál .....  | 13        |
| 1.1.4 Jakost obrobené plochy .....   | 14        |
| 1.2 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI PROCESNÍCH KAPALIN .....                          | 15        |
| 1.2.1 Chladicí účinek.....   | 16        |
| 1.2.2 Mazací účinek .....  | 17        |
| 1.2.3 Čistící účinek.....  | 17        |
| 1.2.4 Ochranný účinek .....  | 18        |
| 1.2.5 Provozní stálost .....   | 19        |
| 1.2.6 Přiměřené náklady.....   | 19        |
| 1.2.7 Zdravotní nezávadnost .....  | 20        |
| 1.3 ROZDĚLENÍ PROCESNÍCH KAPALIN .....   | 21        |
| 1.3.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny s převažujícím chladícím účinkem .....     | 21        |
| 1.3.1.1 Vodní roztoky .....  | 22        |
| 1.3.1.2 Emulzní kapaliny .....   | 22        |
| 1.3.2 Vodou nemísitelné procesní kapaliny s převažujícím mazacím účinkem .....     | 23        |
| 1.3.2.1 Mastné oleje a tuky .....  | 23        |
| 1.3.2.2 Minerální oleje.....   | 24        |
| 1.3.2.3 Organické sloučeniny .....   | 24        |
| 1.3.2.4 Pevná maziva .....   | 24        |
| 1.3.3 Syntetické a polosyntetické kapaliny .....                                   | 24        |
| <b>2 ZKOUŠENÍ A PÉČE O PROCESNÍ KAPALINY</b> .....                                 | <b>25</b> |
| 2.1 PROVOZNÍ ZKOUŠKY .....   | 25        |
| 2.1.1 Vizualní kontrola zbarvení procesní kapaliny.....                            | 26        |
| 2.1.2 Kontrola zápachu procesní kapaliny .....                                     | 27        |
| 2.1.2.1 Možné příčiny zápachu procesní kapaliny.....                               | 27        |
| 2.1.2.2 Odstranění příčin zápachu procesní kapaliny.....                           | 27        |
| 2.1.3 Koncentrace.....   | 28        |
| 2.1.4 Stanovení hodnoty pH.....  | 29        |
| 2.2 LABORATORNÍ ZKOUŠKY .....  | 29        |
| <b>3 FILTRACE NEČISTOT Z PROCESNÍCH KAPALIN</b> .....                              | <b>30</b> |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.1       | SEDIMENTAČNÍ FILTRACE .....   | 30        |
| 3.2       | MAGNETICKÉ FILTRY .....   | 32        |
| 3.3       | TKANINOVÉ PÁSOVÉ FILTRY .....   | 33        |
| 3.4       | VYNÁŠECÍ PÁSY A DOPRAVNÍKY TRÍSEK .....   | 34        |
| 3.5       | SEPARÁTORY ÚKAPOVÝCH OLEJŮ .....  | 35        |
| 3.6       | MOBILNÍ FILTRAČNÍ JEDNOTKY .....  | 36        |
| <b>4</b>  | <b>ZNEČIŠTĚNÍ PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ VZNIKAJÍCÍ PŘI OBRÁBĚNÍ.....</b>                   | <b>37</b> |
| 4.1       | ODSÁVÁNÍ EMULZNÍ A OLEJOVÉ MLHY .....   | 37        |
| 4.1.1     | Elektrostatické filtrační systémy .....   | 37        |
| 4.1.2     | Odstředivé filtrační systémy .....  | 38        |
| 4.1.3     | Filtrační věže s aktivními prvky .....  | 39        |
| 4.2       | TOXIKOLOGICKÉ A PRACOVNĚ-LÉKAŘSKÉ ASPEKTY PŘI ZACHÁZENÍ S PROCESNÍMI KAPALINAMI ..... | 41        |
| 4.2.1     | Expozice částí lidského těla procesním kapalinám .....                                | 41        |
| 4.2.2     | Onemocnění kůže .....   | 42        |
| 4.2.2.1   | Toxicko-degenerativní kontaktní ekzém .....   | 42        |
| 4.2.2.2   | Alergický kontaktní ekzém .....   | 42        |
| 4.2.2.3   | Olejové akné .....  | 43        |
| 4.2.3     | Onemocnění dýchacích cest .....   | 43        |
| 4.2.4     | Karcinogenní a mutagenní účinky .....   | 43        |
| 4.2.5     | Vliv mikroorganismů .....   | 44        |
| <b>5</b>  | <b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>                 | <b>45</b> |
| <b>II</b> | <b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>6</b>  | <b>PRACOVNÍ ÚSEK FRÉZOVÁNÍ.....</b>   | <b>48</b> |
| 6.1       | POPIS SOUČASNÉHO STAVU PRACOVIŠTĚ FRÉZOVÁNÍ.....                                      | 48        |
| 6.2       | PROCESNÍ KAPALINY NA PRACOVIŠTI .....   | 50        |
| 6.3       | PROBLÉMY S OTISKY NA OBROBKU.....   | 51        |
| 6.3.1     | Analýza výchozí situace.....  | 52        |
| 6.3.2     | Návrh řešení .....  | 55        |
| 6.3.3     | Realizace .....   | 55        |
| 6.3.4     | Zhodnocení přínosu zavedených opatření.....   | 56        |
| 6.4       | OLEJOVÁ MLHA NA PRACOVIŠTI .....  | 57        |
| 6.4.1     | Analýza výchozí situace.....  | 58        |
| 6.4.1.1   | Čištění, popř. na výměna měřících přístrojů.....                                      | 59        |
| 6.4.1.2   | Kondenzace olejových par.....   | 59        |
| 6.4.1.3   | Pracovní úrazy z důvodu uklouznutí .....  | 60        |
| 6.4.2     | Návrh řešení .....  | 61        |
| 6.4.3     | Realizace .....   | 62        |
| 6.4.4     | Zhodnocení přínosu zavedených opatření.....   | 62        |
| <b>7</b>  | <b>PRACOVNÍ ÚSEK BROUŠENÍ MĚKKÝCH DÍLŮ .....</b>                                      | <b>63</b> |



|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 7.1      | POPIS SOUČASNÉHO STAVU PRACOVIŠTĚ BROUŠENÍ MĚKKÝCH DÍLŮ.....                      | 63        |
| 7.2      | PROCESNÍ KAPALINY NA PRACOVIŠTI .....   | 65        |
| 7.3      | NÁHRADA FILTRAČNÍHO ZAŘÍZENÍ U CNC BROUSÍČÍHO STROJE.....                         | 66        |
| 7.3.1    | Analýza výchozí situace.....  | 67        |
| 7.3.2    | Návrhy řešení a jejich realizace .....  | 68        |
| 7.3.2.1  | Modifikace stávajícího způsobu filtrace – navýšení počtu magnetických patron..... | 68        |
| 7.3.2.2  | Změna typu filtrační patrony .....  | 69        |
| 7.3.2.3  | Změna způsobu filtrace.....   | 70        |
| 7.3.3    | Realizace .....   | 70        |
| 7.3.4    | Zhodnocení přínosu zavedených opatření.....                                       | 71        |
| <b>8</b> | <b>PRACOVNÍ ÚSEK BROUŠENÍ TVRDÝCH DÍLŮ .....</b>                                  | <b>72</b> |
| 8.1      | POPIS SOUČASNÉHO STAVU PRACOVIŠTĚ BROUŠENÍ TVRDÝCH DÍLŮ .....                     | 72        |
| 8.2      | PROCESNÍ KAPALINY NA PRACOVIŠTI .....   | 74        |
| 8.3      | PROBLÉMY SE SPRÁVNOU KONCENTRACÍ EMULZE.....                                      | 76        |
| 8.3.1    | Analýza výchozí situace.....  | 76        |
| 8.3.2    | Návrh řešení .....  | 77        |
| 8.3.3    | Realizace .....   | 78        |
| 8.3.3.1  | Dávkovací zařízení Dosatron D3RE10 – parametry.....                               | 78        |
| 8.3.3.2  | Manipulace a dávkovací systém v praxi.....  | 79        |
| 8.3.4    | Zhodnocení přínosu zavedených opatření.....                                       | 81        |
| 8.4      | ZNEČIŠTĚNÍ PROCESNÍ KAPALINY .....  | 82        |
| 8.4.1    | Analýza výchozí situace.....  | 83        |
| 8.4.2    | Návrh řešení .....  | 83        |
| 8.4.2.1  | Změna filtračního plátna.....   | 83        |
| 8.4.2.2  | Dodatečná filtrace filtrační patronou .....                                       | 84        |
| 8.4.3    | Realizace .....   | 84        |
| 8.4.3.1  | Filtrační patrona Kohler SP9229 MIC10.....  | 84        |
| 8.4.3.2  | Submikronová filtrační patrona Micromag MM10 .....                                | 85        |
| 8.4.4    | Zhodnocení přínosu zavedených opatření.....                                       | 87        |
| <b>9</b> | <b>SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ ZAVEDENÝCH OPATŘENÍ.....</b>                       | <b>90</b> |
|          | <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>91</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>   | <b>92</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>                                    | <b>95</b> |
|          | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>   | <b>96</b> |
|          | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>  | <b>98</b> |
|          | <b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>   | <b>99</b> |

## ÚVOD

Procesní média mají nedílné zastoupení ve všech odvětvích průmyslu. V oboru třískového obrábění si bez nich některé operace ani nedokážeme představit. V tomto odvětví plní procesní média hned několik důležitých funkcí jako například chlazení, mazání a čištění.

Každá metoda a technologie nejen třískového obrábění vyžaduje určitou převahu některé z funkcí procesních médií. Kapaliny používané pro obrábění, už v současné době neplní pouze jednu funkci – mazací, chladicí, atd., ale splňují většinou několik požadavků pro podporu obráběcích procesů. V moderní literatuře se pro tyto kapaliny nejčastěji používá označení procesní kapaliny. Proto i pro účely této diplomové práce je dále používáno tohoto označení.

Má diplomová práce je zaměřena na vybrané pracovní úseky ve firmě, zabývající se výrobou dílů a precizních součástek pro textilní průmysl. Tato pracoviště využívají ke svému výrobnímu procesu procesní kapaliny. Jejich využívání s sebou přináší nejen nesporné přínosy pro obráběcí proces, ale může přinášet i nepříjemnosti pro zaměstnance a tím i pro firmu. Správné pojmenování těchto nepříjemností, se stává potenciálem ke zlepšení, vedoucím ke spokojenosti zaměstnanců, zaměstnavatele a v neposlední řadě zákazníka.

V teoretické části jsem se zaměřil, jak na vlastnosti procesních kapalin a jejich účinky na obráběcí proces, tak na znečištění pracovního prostředí, vznikající jejich používáním. Část teoretické studie popisuje i vliv na lidské zdraví.

Experimentální část diplomové práce je věnována nalezení a pojmenování potenciálů ke zlepšení, souvisejících s využíváním procesních kapalin ve výrobních procesech a jejich následnému prosazení do praxe.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 PROCESNÍ KAPALINY

Využití procesních kapalin při obrábění je velmi důležité pro vytvoření vhodného řezného prostředí a vytvoření takových podmínek, které mají příznivý vliv na odvod tepla z místa řezu, prodloužení trvanlivosti řezného nástroje a na zvýšení povrchové a rozměrové jakosti výrobku.

### 1.1 Úkoly procesní kapaliny při obrábění a důležité faktory pro jejich volbu

Primárním úkolem procesních kapalin je odvádět teplo z obráběného kusu a nástroje, dále pak zajistit mazání v místě řezu, čímž dochází ke zmenšení jak vnitřního, tak vnějšího tření. Sekundárním požadavkem je jejich hygienická nezávadnost, provozní stálost a v neposlední řadě provozní náklady.

Při rozhodování a volbě procesní kapaliny se vychází z následujících vlivů:

- mechanismus tvoření třísky
- vlastnosti obráběcího nástroje
- vlastnosti obráběného materiálu
- požadovaná jakost obráběné součásti

#### 1.1.1 Mechanismus tvorby třísky

Řezání je proces plastické deformace, kdy její poslední fáze je zakončena oddělením odebírané vrstvy materiálu ve tvaru třísky. Tento proces řezání je možné chápat jako proces postupného stlačování, deformování a oddělování částic materiálů.

Plastická deformace probíhající před břitem nástroje souvisí také s řezným prostředím, tj. s přívodem procesní (řezné) kapaliny. Přívod procesní kapaliny může ovlivnit plastickou deformaci tak, že zmenšuje, usměrňuje nebo zhoršuje její průběh. Velikost deformací se projevuje změnami součinitele pěchování třísky a řezné prostředí významně ovlivňuje. Tyto změny se projeví i u součinitele tření.

Proces řezání je provázen řadou průvodních jevů. Jedním z nich je tvoření nárůstku. Procesní kapalina ovlivňuje tvorbu nárůstku tím, že působí na velikost teploty řezání, velikost plastické deformace a ovlivňuje i velikost tření. Obsahuje-li procesní kapalina

přísady, které zmenšují tření, potom je možné počítat s tím, že s přívodem takovéto řezné kapaliny dojde v celém rozsahu řezných podmínek ke zmenšení tvorby nárůstky a tím i ke zlepšení jakosti obrobeného povrchu. [2]

### 1.1.2 Obráběcí nástroj

Volba nástrojového materiálu se provádí podle prováděné operace, podle objemu výroby, podle použitého stroje, vlastností obráběného materiálu. Procesní kapalina je jedním z činitelů, které mohou volbu nástrojového materiálu ovlivnit.

Rychlořezné oceli se musí vždy chladit, především tehdy, když se obráběcí operace uskutečňují za ztížených řezných podmínek. Slinuté karbidy, které jsou nejrozšířenějšími nástrojovými materiály, mohou běžně pracovat bez přívodu procesní kapaliny. Na obráběcích centrech ale často pracují společně s nástroji rychlořeznými, a tak je nutné využít přívodu procesní kapaliny i při obrábění slinutými karbidy. Keramické nástrojové materiály umožňují obrábět bez chlazení.

Jednou z hlavních příčin poškození řezného materiálu je teplo. Teplo totiž ovlivňuje jeho trvanlivost i pevnost. To se projeví opotřebením nástroje na obou jeho funkčních plochách, tj. na čele a na hřbetě. Řezné prostředí, které ovlivňuje teplotní podmínky řezání, působí proto i na proces opotřebením nástroje.

Významné je chemické působení procesní kapaliny. Toto snižuje adhezní tření, snižuje součinitel tření a tím i opotřebením. Snížení teploty řezání ovlivňuje i difúzní formu opotřebením. [2]

### 1.1.3 Obráběný materiál

Zvětšuje-li se pevnost obráběného materiálu, dochází k většímu namáhání nástroje, plastická deformace je větší a proto je nutné volit procesní kapalinu s vysokotlakými přísadami nebo o vyšší koncentraci. Tím se zvýší pevnost mazací vrstvy i při vyšších teplotách.

Křehké materiály, jako např. litina, se obrábí snadno za sucha. I zde je možné využít procesní kapaliny, ale spíše pro zamezení šíření nečistot, než pro zlepšení procesu řezání. Litina sama je velmi náchylná na korozi.

U ostatních materiálů je nutné, aby zvolená procesní kapalina nereagovala s obráběným materiálem. Chemické složení materiálů, především oceli, určuje jejich charakteristiky ve velkém rozsahu. [2]

#### 1.1.4 Jakost obrobené plochy

Významnou funkcí procesní kapaliny je její vliv na jakost obrobené plochy. Procesní kapalina může ovlivňovat jak rozměrovou a tvarovou přesnost, tak i drsnost povrchu.

Přívod procesní kapaliny způsobuje, že se mění objem plasticky deformované oblasti, odstraní se tvoření nárůstku na čele nástroje, což se projeví i na výsledné drsnosti povrchu. Zkoušky procesních kapalin potvrdily, že správně zvolená a připravená procesní kapalina může zlepšit drsnost povrchu o 1 až 2 třídy oproti zkouškám za sucha.

Vliv procesních kapalin se projeví i na fyzikálním stavu povrchové vrstvy obrobku. Obvykle se při přívodu procesní kapaliny zmenšuje hloubka zpevněné vrstvy. Podle některých studií se přívodem emulze zmenšila hloubka zpevněné vrstvy o 34% a při přívodu oleje o 44%. Jedním z praktických ukazatelů stupně zpevnění povrchové vrstvy je porovnání tvrdosti výchozího materiálu s tvrdostí povrchové vrstvy. Tato tvrdost bývá 2 až 3krát vyšší než u výchozího materiálu. Přívodem procesní kapaliny se tento rozdíl zmenší. [2]

## 1.2 Charakteristika a vlastnosti procesních kapalin

Procesní kapaliny se zpravidla rozdělují do dvou hlavních skupin podle účinku kapaliny na řezný proces. Těmi jsou kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Jejich přínosem je zvýšení hospodárnosti obrábění, zvýšení trvanlivosti nástrojů a zlepšení jakosti obráběné plochy. To vše při nízké spotřebě energie.



Obr. 1 Chladící a mazací účinek procesních kapalin na řezný proces [1]

Kromě těchto hlavních kritérií jsou pro obráběcí proces velmi přínosné i následující charakteristiky a vlastnosti procesních kapalin:

- chladící účinek
- mazací účinek
- čistící účinek
- ochranný účinek
- provozní stálost
- přiměřené náklady
- zdravotní nezávadnost

### 1.2.1 Chladicí účinek

Chladícím účinkem procesní kapaliny je schopnost odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu, pokud existuje tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Na odvodu tepla se nepodílí řezná kapalina samostatně. Schopnost odvádět teplo mají i třísky vzniklé při obrábění a obrobek samotný. [2]

Velikost tepla vznikajícího v místě řezu je závislá na řezných podmínkách, zejména na řezné rychlosti, hloubce záběru a také na mechanických vlastnostech materiálu. Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na produktivitu práce se především vlivem vysokých řezných rychlostí zvyšuje množství tepla, které je nutné odvádět. Teplo, které není účinně odvedeno, se akumuluje do obrobku i do nástroje. Následné hromadění v obrobku má negativní vliv na jeho požadovanou přesnost. Nahromaděná teplota v nástroji (dochází převážně u nástrojů z rychlořezné oceli) může mít zase za následek překročení teploty popouštění. Nástroj tímto ztrácí své vlastnosti, jako je například tvrdost a dochází k jeho velkému opotřebení. [7]

Chladicí účinek procesních kapalin bude záviset na jejich smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší, bude větší i chladicí účinek procesní kapaliny. Stejně důležitým parametrem je i průtokové množství. Výparné teplo zvětšuje chladicí účinek kapaliny, ale přílišné odpařování kapaliny není žádoucí. Aby byla procesní kapalina využita hospodárně z hlediska čistoty a zdraví, je nutné vznikající páry odsávat. Po následné filtraci se vrací zpět do oběhu. [2], [11]

Z hlediska ochlazování procesu a vyplachování třísek jsou nejvhodnější emulzní kapaliny, které jsou vhodné především při vyšších řezných rychlostech, nemají však vhodný mazací účinek při větších hloubkách řezu. [10]



### 1.2.2 Mazací účinek

Mazací účinek procesních kapalin se projevuje především zmenšením tření, třecí práce a tepla vzniklého třením na stykových plochách mezi nástrojem a obrobkem. Způsobuje zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Je proto vyžadován u dokončovacích operací a při provádění náročných operací, jakými jsou protahování, výroba závitů, nebo výroba ozubení. [2]

Nutným předpokladem pro uplatnění mazacího účinku je jeho možnost vniknutí na třecí plochy. To je možné pouze u bodového styku. Dalším předpokladem účinného uplatnění je dostatečná pevnost mazacího filmu řezného prostředí.

Se zřetelem na vlastnosti řezných prostředí, kterých se využívá ke zlepšení mazání na stykových plochách, lze konstatovat, že řezné oleje umožňují vytvoření mazacího filmu s alespoň polosuchým třením, do teploty řezání přibližně 125 až 150°C. Této teploty se dosahuje pouze při velmi nízkých řezných rychlostech, např. při řezání závitů, vystružování apod.

Mazací filmy větší pevnosti umožňují povrchově a chemicky aktivní látky přidávané do řezných kapalin. Vznikají tím takzvané aditivované řezné kapaliny.

Povrchově aktivními látkami jsou např. alkoholy s dlouhými uhlíkovými řetězci, aldehydy a estery. Chemicky aktivními látkami jsou např. sloučeniny síry, fosforu nebo chlóru. Některé látky jsou současně chemicky a povrchově aktivní, např. mastné kyseliny. [6]

### 1.2.3 Čistící účinek

Během obrábění dochází ke znečišťování procesních kapalin jak třískami vznikajícími při obrábění, tak také zanášením různých nečistot z ovzduší (prach apod.). To s sebou nese řadu problémů. Dochází ke zvýšenému otupení nástrojů i zhoršení jejich řezných vlastností. Znečištění také může poškodit samotné obráběcí stroje respektive jejich funkční plochy. Pro čištění je velice důležité, aby procesní kapalina umožnila nečistotám usadit se v nádrži a tím jim zabránila v dalším pohybu v oběhu (směrem k místu řezu). [7]

Vysoký čistící účinek mají především kapaliny s malou viskozitou a bez aktivních přísad. Čistící účinek je velmi důležitý především u technologie broušení, kde je nutné rychle odvádět třísky z místa řezu za účelem snížení tepla v místě řezu, které zde vlivem velmi vysokých řezných rychlostí a nedokonalé geometrii nástroje vzniká. Dalším přínosem

při obrábění broušením, je zlepšení vlastností brousícího kotouče, vyplavováním zanesených pórů kotouče. To má za následek zlepšení drsnosti povrchu. Stejně důležitý je tento účinek také u řezání závitů nebo vrtání hlubokých otvorů. [2]

#### 1.2.4 Ochranný účinek

Ochranný účinek je charakterizován vlastností nenapadat kovy a nezpůsobovat jejich korozi. Tento požadavek na vlastnost procesní kapaliny je důležitý proto, aby nebylo nutné obrobky mezi operacemi konzervovat a aby také obráběcí stroje byly chráněny před korozi. Za účelem vytvoření dokonalého antikorozního účinku, jsou do procesních kapalin přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dalším důležitým požadavkem na procesní kapalinu je, aby nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním. [1]



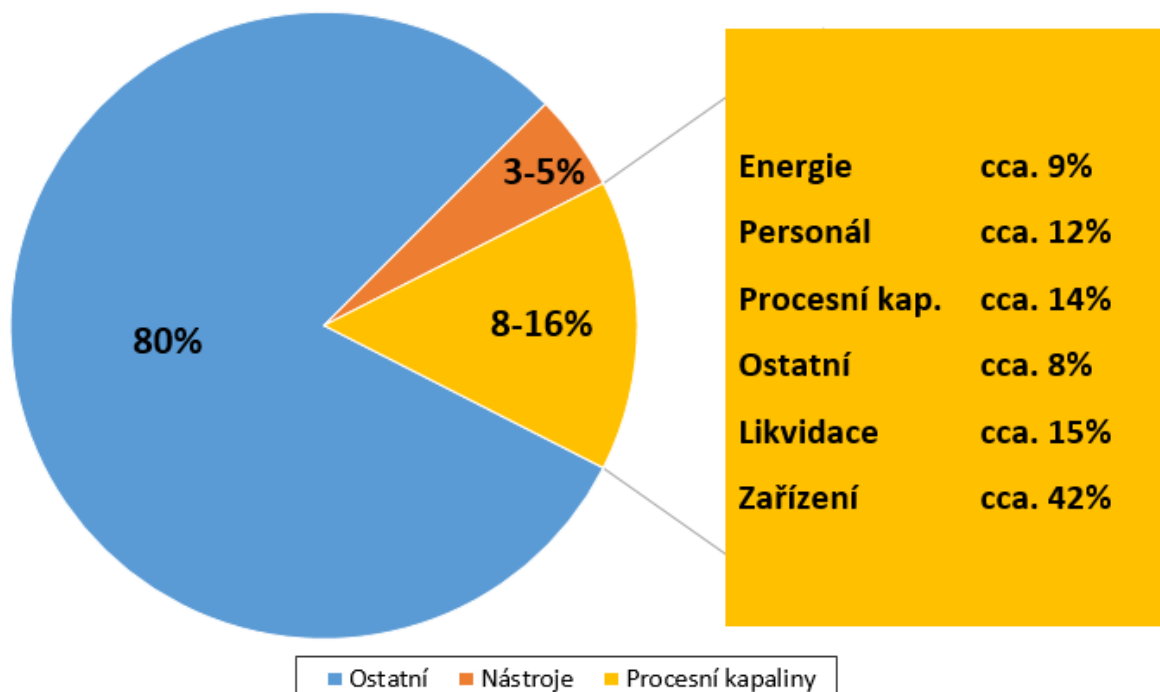
Obr. 2 Účinky provozních kapalin [5]

### 1.2.5 Provozní stálost

Stárnutí procesní kapaliny olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností kapaliny, její rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátu ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad. Provozní stálost procesní kapaliny závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech a na teplotě. Hodnotícím měřítkem provozní stálosti procesní kapaliny je časový interval mezi výměnami. [2]

### 1.2.6 Přiměřené náklady

Náklady na procesní kapaliny a na hospodaření s nimi, tvoří z hlediska celkových nákladů na obráběcí proces poměrně významnou část (*Obr. 3*). Přiměřenými náklady na procesní kapaliny je myšlena především jejich spotřeba při obráběcím procesu. Při posuzování nákladů na procesní kapaliny je především nutné nejdříve posoudit jejich vliv na trvanlivost nástroje, jakost obrobku a spotřebu energie. Následně je nutné hodnocení procesní kapaliny s ohledem na její provozní stálost, spotřebu a interval výměny. V neposlední řadě je nutné zvážit i náklady na likvidaci použité procesní kapaliny. [2]



*Obr. 3 Náklady na obráběcí proces [12]*

Náklady na procesní kapaliny a hospodaření s nimi tvoří 8-16% výrobních nákladů. Jsou vyšší než náklady na nástroje, které se pohybují okolo 3-5 % výrobních nákladů. [12]

### 1.2.7 Zdravotní nezávadnost

Velký důraz na ochranu zdraví při práci jsou v dnešní době nedílnou součástí pracovního procesu. Je proto velmi důležité, aby byly kladeny vysoké požadavky na zdravotní nezávadnost procesní kapaliny. Při práci na obráběcích strojích dochází k přímému kontaktu s kůží obsluhujícího pracovníka nebo může být ve formě aerosolu vdechnuta. Procesní kapalina nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku, nesmí být jedovatá a nesmí znečišťovat ovzduší nepříjemným a škodlivým zápachem. Zdravotní nezávadnost závisí také na provozní stálosti kapaliny a na její čistotě.

Při práci s procesními kapalinami je nutné klást důraz na dodržování hygienických opatření, dostatečné větrání, odsávání par a aerosolů vznikajících při obrábění, používání ochranných pracovních prostředků a zavedení plánu na preventivní ochranu pokožky. [11]

### 1.3 Rozdělení procesních kapalin

Základním rozdělením procesních kapalin je dělení dle dvou hlavních kritérií. Na vodu mísitelné procesní kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a na procesní kapaliny vodou nemísitelné, na bázi řezných olejů, s převažujícím mazacím účinkem.

Díky současným trendům v oblasti obrábění a požadavkům na moderní procesní kapaliny, nemusí být toto rozdělení tak jednoznačné. Stále více se projevuje snaha zvyšovat mazací účinky i u procesních kapalin s převažujícím chladícím účinkem. [11]

Mazací vlastnosti vody mohou být zlepšeny, chladící účinek oleje však ne.

Tab. 1 Vybrané vlastnosti vody a minerálního oleje [9]

| Vlastnosti   | Voda   | Minerální olej |
|--|--------|----------------|
| Tepelná kapacita [J/K]                             | 4,2    | 1,9            |
| Výparné teplo [kJ/Kg]                              | 2257   | 283            |
| Tepelná vodivost [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ] | 0,6    | 0,13           |
| Chladící účinek                                    | dobrý  | špatný         |
| Mazací účinek                                      | špatný | dobrý          |

#### 1.3.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny s převažujícím chladícím účinkem

Vodou mísitelné procesní kapaliny jsou mnohem rozšířenější než procesní kapaliny na bázi řezných olejů, a to zejména kvůli nižším pořizovacím nákladům. Vodou mísitelné kapaliny jsou oproti olejům lepšími chladícími médii, což je způsobeno čtyřnásobně vyšší tepelnou vodivostí a dvojnásobnou měrnou tepelnou kapacitou. Díky tomu jsou schopné držet nízkou teplotu a zabraňovat tření mezi obráběným materiálem a řeznou kapalinou, což prodlužuje životnost nástroje (Tab. 1).

Výhodou vodou mísitelných procesních kapalin je lepší chladící účinek. Sekundárním významem je minimalizace uhlovodíkových emisí, což ve výsledku ovlivní vypařovací tlak olejové fáze. Další výhodou je ohnivzdornost. Kupříkladu při obrábění hliníku je nutné použít emulzi, aby se předešlo přímému kontaktu oleje s povrchem obráběného dílu

a nedošlo ke vzplanutí. Třetí výhodou je použití menšího množství oleje, kvůli požadované koncentraci.

Naopak za jejich nevýhodu se považuje nízká antikorozní ochrana a velké množství aditivních látek, které jsou ideálním prostředím pro anaerobní bakterie. Díky tomu dochází k větší degradaci kapalin, která musí být vystavována častým kontrolám. Vzhledem k tomu, že voda tvoří jejich hlavní část, je zapotřebí, aby splňovala potřebnou kvalitu a měla požadované vlastnosti. Musí se u ní sledovat obsah vápníku a hořčíku, obsah minerálů, způsobujících tvrdost vody. Naopak příliš měkká voda vede k nadměrnému pění kapalin, které je nežádoucí. Další významný problém představují anionty, například chloridy, nitráty či fosfáty, podporující korozi a žluknutí. Množství prvků ve vodě závisí na jejím původu. Jiné složení bude mít voda z řeky, jiné voda z jezera. Na složení má vliv i změna počasí, s tím spojené střídání ročních období, kdy kolísá kyselost vody. [9]

#### ***1.3.1.1 Vodní roztoky***

Vodní roztoky jsou nejjednodušší a tím i nejlevnější procesní kapaliny, neposkytují ale žádné další výhody. Mají velmi dobrý chladicí účinek, jedná se o alkalické roztoky, které většinou nemají dostatečnou stálost. Voda, která je jejich základem, vyžaduje řadu úprav, jako jsou změkčování a přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnívosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický. U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. Vodní roztoky mají velmi dobrý chladicí a čistící účinek, ale téměř žádný mazací účinek. [11]

#### ***1.3.1.2 Emulzní kapaliny***

Emulze tvoří disperzní soustavu dvou nerozpustných složek, z nichž jedna vytváří disperzní kapky, které jsou rozptýleny v kapalině druhé. Většinou se jedná o olej a vodu. Pro lepší spojení se přidávají další látky – emulgátory, které zapříčiní zmenšení povrchového napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi.

Emulzní kapaliny jsou výbornou volbou pro spojení vlastností vody a mazacího oleje. Jejich chladicí účinek se odvíjí od koncentrace emulze. Antikorozní schopnost je závislá

na hodnotě pH emulze. Jejich další vlastnosti závisí na jejich přípravě. V ní je důležité se řídit přesným postupem:

- použít vhodně upravenou vodu,
- za stálého míchání pozvolně přidávat emulgátory,
- koncentraci emulze volit podle druhu operace a ochranných látek,
- koncentrace emulze se pohybuje zhruba mezi 2 –10 %.

Právě koncentrace je nejdůležitější parametr, který musí být kontrolován. [2]

### **1.3.2 Vodou nemísitelné procesní kapaliny s převažujícím mazacím účinkem**

Jedná se o zušlechtěné minerální oleje, přísady těchto látek zvyšují tlakovou únosnost a mazací vlastnosti. Používají se pro vysoký mazací účinek a výrazné snížení tření v místě řezu. Moderní oleje mají sníženou viskozitu a prokazují i určité chladicí schopnosti. Pořizovací náklady jsou vyšší, ale jsou kompenzovány vysokou životností.

Pro lepší funkci olejů se mohou přidávat přísady (mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva). Mají velice dobrou smáčivost, dobrou vzlínavost, vysoký mazací účinek, ale nízký chladicí účinek. Při vyšších řezných rychlostech se může vytvářet nadměra dýmu v obráběcím prostoru. Některé řezné oleje mohou při vysokém překročení řezné rychlosti i vzplanout. Řezné oleje mají v porovnání s emulzními kapalinami lepší mazací účinky, ale jsou ve větší míře odnášeny společně s třískami, více je smáčí a kapičky se špatně oddělují, tím je obtížnější vrátit je zpět do procesu. Je zapotřebí použití odlučovacích a filtračních zařízení. [10]

#### **1.3.2.1 Mastné oleje a tuky**

Jsou látky živočišného a rostlinného původu, mající prakticky stejné vlastnosti jako minerální olej. Mají ale menší povrchové napětí a tím i lepší smáčivost, což přispívá k účinnějšímu odvádění tepla.

Velkou nevýhodou těchto mastných látek je značný sklon ke stárnutí, tj. zvyšuje se jejich kyselost a tvoří se pryskyřičné látky. Mezi mastné látky užívané při obrábění patří řepkový olej, ricinový olej, lněný olej a další. [2]

### **1.3.2.2 Minerální oleje**

Minerální oleje jsou výrobky z ropy, mající dobrý mazací, ale horší chladicí účinek. Vyznačují se dobrým ochranným účinkem a dobrou odolností proti stárnutí. [2]

### **1.3.2.3 Organické sloučeniny**

Jsou vytvořeny na bázi síry, chloru, nebo fosforu. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu předmětů vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňují svařování a usnadňují kluzný pohyb třecích se ploch. Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jejich účinnost klesá při teplotách nad 400°C. Sloučeniny s fosforem mají vyšší účinek a jako nejúčinnější se projevily kombinace sloučenin síry, chloru a fosforu. [2]

### **1.3.2.4 Pevná maziva**

Používají se jako přísady do řezných olejů, působí při řezání navíc mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu, odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a siričák molybden. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu. [2]

## **1.3.3 Syntetické a polosyntetické kapaliny**

Tento druh řezných kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. [2]

Syntetické řezné kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel (glykolů), které ve vodě emulgují, nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu.

Aplikace syntetických řezných kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, dobrý čistící účinek a jednoduchou přípravu. V syntetických řezných kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polosyntetické řezné kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti. V polosyntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích. [11]



## 2 ZKOUŠENÍ A PÉČE O PROCESNÍ KAPALINY

Aby byl proces obrábění co nejefektivnější, musíme znát faktory, které ho ovlivňují. Z těchto důvodů je důležitá snaha o co nejpodrobnější zmapování procesních kapalin jakožto jednoho z nejdůležitějších faktorů při obrábění vůbec. Různé technologie obrábění mají odlišné řezné podmínky a tím i zcela odlišné požadavky na procesní kapaliny. Procesní kapaliny se testují mnoha způsoby v závislosti na tom, co je pro danou kapalinu či technologii, při které bude používána, důležité.

Vhodný účinek procesní kapaliny lze zajistit pouze tehdy, pokud nebude po určitou, pokud možno co nejdéle dobu, měnit své mechanické a chemické vlastnosti, které jsou požadovány pro danou technologii obrábění. Vlivem působení okolního prostředí a podmínek vznikajících při procesu obrábění však ztrácejí svoje původní vlastnosti a změny tak mohou způsobit problémy, které se mohou projevit zvýšeným opotřebením nástroje, zhoršením kvality obrobku, případně i zdravotními riziky. Pokud míra zhoršení vlastností procesní kapaliny překročí přípustnou mez, musí dojít k její výměně. To ovšem zvyšuje náklady výroby. Kromě nákladů spojených s nákupem nové, musíme také počítat s náklady na likvidaci použité procesní kapaliny a s prostoji stroje. Proto je celkem logická snaha o zvýšení lhůty potřebné pro výměnu. Kontrola způsobilosti procesní kapaliny, by měla pokud možno být, co nejjednodušší. Často se omezuje pouze na kontrolu vzhledu popřípadě pachu. Pokud tato kontrola nestačí, pak je třeba přistoupit k dalším zkouškám. [13]

### 2.1 Provozní zkoušky

Jak už z názvu vyplývá, jedná se o zkoušky prováděné přímo v provozu. Jsou zajišťovány obsluhou nebo seřizovači obráběcích strojů a musí být uzpůsobeny tak, aby pokud možno co nejméně časově zatěžovaly obsluhující personál a neomezovaly provoz výrobních strojů.

Mezi provozní zkoušky, prováděné přímo na pracovištích patří vizuální kontroly zabarvení procesních kapalin, rutinní kontroly koncentrace pomocí ručních refraktometrů a rutinní kontroly hodnoty pH používané procesní kapaliny. V některých provozech je navíc obsluhou obráběcích strojů, v pravidelných intervalech kontrolováno i množství dusitanů, obsažených v procesní kapalině.

### 2.1.1 Vizuální kontrola zbarvení procesní kapaliny

Vizuální kontrola zbarvení procesní kapaliny je důležitým ukazatelem pro posouzení její nezávadnosti, popřípadě potřeby testování v laboratoři. Změna zbarvení kapaliny může znamenat prosakování olejů do jejích částí nebo vysoký obsah chemických prvků, které následně mají za následek znehodnocení procesní kapaliny, nebezpečí koroze obráběných dílů nebo zdravotní komplikace pro obsluhující personál.

- šedá - znečištění jemnými částicemi, například při obrábění šedé litiny
- hnědá - prosakování oleje nebo vysoký obsah hydroxidu železa - nebezpečí koroze
- zelená - znečištění vznikající při obrábění mědi
- růžová - vysoký obsah kobaltu vznikající při obrábění tvrdokovů
- fialová - velmi vysoký obsah kobaltu

Kapalné znečištění představují nežádoucí látky, které se buď postupně vyloučí jako pevné úsady, nebo zůstávají v kapalně fázi a ovlivňují složení procesní kapaliny. Typickým příkladem jsou tzv. úkapové oleje, což jsou všechny nežádoucí oleje, které se během používání dostávají do procesní kapaliny. Mohou pocházet z mnoha zdrojů, např. olej na součásti z předchozích operací, nebo uniklý z hydraulického systému, z kluzného vedení, z vřetene nebo z převodů.

Úkapové oleje mohou být příčinou mnoha problémů, např. zvýšenou tvorbou aerosolů nebo dýmu, destabilizací emulze, skvrn na některých kovech, zhoršením životnosti nástrojů, zhoršením kvality obráběného povrchu, ale také např. obtížnější likvidací použité procesní kapaliny. Úkapové oleje v komplexní směsi se složkami provozované procesní kapaliny představují zdroj podráždění pokožky a vzniku dermatitid nebo dokonce alergických reakcí. K tomu významně přispívají také různé organické látky a mikroorganismy, které se dostanou do procesních kapalin mísitelných s vodou a mohou dráždit pokožku nebo sliznice dýchacích orgánů, dokonce i vytvářet toxické látky. [19]

### **2.1.2 Kontrola zápachu procesní kapaliny**

Při provozu může být odchylka od normálního stavu procesní kapaliny signalizována nejen předepsanými kontrolními mechanizmy a při vizuální kontrole, ale může být pracovníkovi obsluhy signalizována i ve formě zápachu procesní kapaliny.

Možnými příčinami odchylky od normálního stavu kapaliny může být několik faktorů, na které je nutno obsluhu obráběcího stroje upozornit, případně na jejich identifikaci a následné odstranění proškolit.

#### ***2.1.2.1 Možné příčiny zápachu procesní kapaliny***

- Obrábění nevhodného materiálu
- Přítomnost bakterií
- Silné znečištění procesní kapaliny
- Stroj nebyl dlouho spuštěn
- Nedostatečné odvětrání v systému
- Přítomnost cizích těles v kapalině - zbytky jídla, cigaret
- Příliš nízká hodnota pH kapaliny

#### ***2.1.2.2 Odstranění příčin zápachu procesní kapaliny***

- Zkontrolovat a popřípadě upravit čistící systém
- Spustit stroj, promíchat procesní kapalinu
- Proškolit zaměstnance na správné zacházení a starostlivost o procesní kapalinu
- Po přezkoušení přidat přípravek proti bakteriím
- Zkontrolovat a zajistit předepsanou hodnotu pH

### 2.1.3 Koncentrace

Jednou z nejvýznamnějších charakteristik procesních kapalin je její koncentrace. Jedná se o objemový poměr vodní fáze procesní kapaliny a základního koncentrovaného oleje. Podle použití může být objemová koncentrace v procesní kapalině od 1 do 12% a je specifická pro jednotlivé způsoby využití. Koncentrace je určena technickým listem výrobce koncentrátu. V případě, že je koncentrace nižší než doporučená, snižuje se stabilita celé náplně procesní kapaliny. Pokud jsou doporučené koncentrace překračovány, může to mít za následek zhoršení pracovního prostředí pro zaměstnance, v důsledku zvýšené kouřivosti při opracování dílů. Dalším negativním efektem může být poškození vnitřních částí stroje (nátěry, gumové části, izolace kabelů).

Stálost koncentrace provozní kapaliny může být ovlivněna odparem kapaliny, přítomností olejů ze ztrátového mazání stroje nebo správným objemem koncentrátu v kapalině.

K měření koncentrace jsou v provozech používány ruční refraktometry. Měření se provádí v pravidelných předepsaných intervalech. Před každým měřením je potřeba refraktometr, dle pokynů výrobce uvedených v technickém listu, kalibrovat. [13]



Obr. 4 Ruční (vlevo) a digitální (vpravo) refraktometry [27]

### 2.1.4 Stanovení hodnoty pH

Ke stanovení hodnoty pH se používají indikační papírky. Papírek se namočí do zkoušené kapaliny na přibližně 1 sekundu a po vyjmutí se podle zbarvení zjistí příslušné pH. Zbarvení papírku se porovná se standardní barevnou stupnicí, která je k tomu určena. Přesnější výsledek pak může poskytnout potenciometrické měření přenosným pH-metrem se skleněnou elektrodou. To však za předpokladu, že bude tento přístroj kalibrován v rozsahu měřené hodnoty pH. [13]



*Obr. 5 Indikační papírky pro stanovení hodnoty pH [27]*

## 2.2 Laboratorní zkoušky

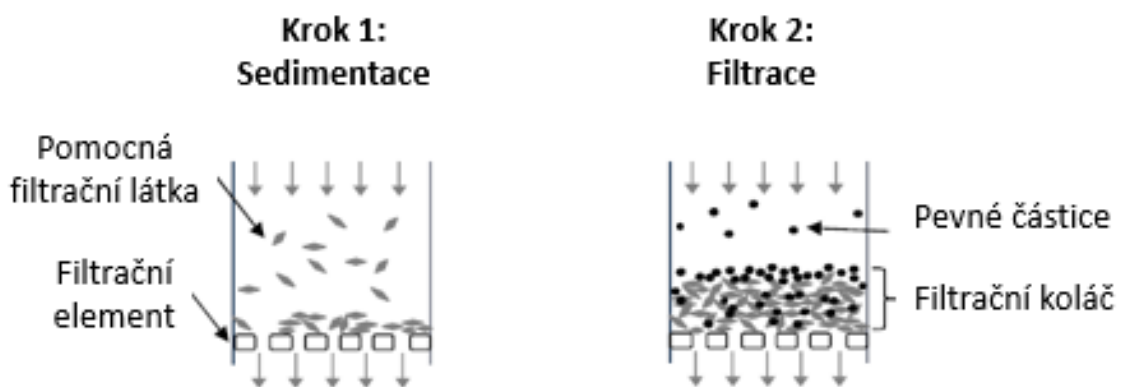
Laboratorní zkoušky slouží k ověřování jakosti a druhu procesních kapalin před jejich použitím v provozu nebo v pravidelných intervalech. Při analýze jsou zjišťovány jejich chemické a mechanické vlastnosti, např. jejich mazací nebo chladicí účinek, životnost apod. Cílem je zhodnotit vlastnosti procesní kapaliny bez ohledu na to, pro jakou konkrétní technologii obrábění a za jakých režných podmínek bude použita. Zkoumají se vlastnosti, které jsou důležité z hlediska jejich provozu, tj. např. provozní stálost, antikorozi vlastnosti apod. Pokud je procesní kapalina používána v daném stavu, jako např. řezný olej, je ověřován její stav. Prostředky, které se používají k přípravě procesní kapaliny, se zkouší již v připraveném stavu. Většina těchto zkoušek je normována a technické podmínky pro procesní kapaliny na ně odkazují. [22]

### 3 FILTRACE NEČISTOT Z PROCESNÍCH KAPALIN

Nečistoty, které se dostávají do procesní kapaliny, negativně ovlivňují výslednou jakost obráběné plochy z hlediska drsnosti a mají vliv na trvanlivost obráběcího nástroje. To se výrazně projevuje především u dokončovacích operací. Nečistoty lze odstranit pouze dokonalou filtrací a čištěním. Dokonalé čištění je vyžadováno zejména při broušení. Procesní kapaliny se čistí zpravidla dlouhodobým usazováním nebo filtrací. Usazování procesní kapaliny v nádrži po jejím odvodu z místa řezu je nejjednodušším způsobem čištění procesní kapaliny. Jeho nevýhodou však je, že probíhá nerovnoměrně a pomalu. [2]

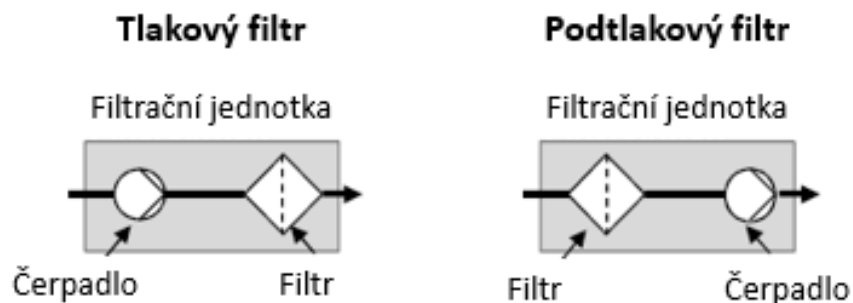
#### 3.1 Sedimentační filtrace

Při sedimentační filtraci dochází průtokem procesní kapaliny přes filtrační médium k naplavení a sedimentaci pevných látek. Zadržené pevné částice přebírají filtrační funkci při separování pevných látek z filtrované kapaliny a jsou označovány jako tzv. „filtrační koláč“. Před vlastní filtrací se na filtrační prvek ve formě textilie, která má funkci nosiče, nanáší pomocná filtrační látka ve formě prášku, která tvoří uzavřenou propustnou vrstvu. Tato vrstva pak slouží jako filtrační médium. Pro sedimentační filtraci procesních kapalin se jako filtrační látka používá křemelina, perlit a celulóza. [20]



Obr. 6 Schematické znázornění sedimentační filtrace [20]

Podle typu provedení se filtry rozlišují například na pásové, svíčkové nebo talířové. Pro zajištění průtoku přes filtrační koláč, musí být jako hnací síla generován diferenční tlak. Způsob generování diferenčního tlaku se v závislosti na použitém typu tlakových, vakuových nebo gravitačních filtrů liší. V případě tlakových filtrů je médium tlačeno čerpadlem přes filtr a u podtlakových je čerpadlo zařazeno až za filtrem a médium je přes filtr nasáváno podtlakem. Filtrační čerpadlo a filtr jsou společně označovány jako filtrační jednotka (Obr. 7). U gravitačních filtrů proudí filtrované médium bez použití čerpadla vlivem gravitace.



Obr. 7 Uspořádání filtru a čerpadla u tlakové a podtlakové filtrace [20]

Kal a špína zadržena ve filtru, v něm zvyšují hydrodynamický odpor. Proto musí být v určitém časovém bodě filtrační koláč z filtru odstraněn. Tento proces se nazývá regenerací filtru. Regenerace se spustí po dosažení regeneračního kritéria, například po dosažení stanoveného diferenčního tlaku na filtru. Při regeneraci se filtrační koláč vysušuje profukováním stlačeným vzduchem a následně je z filtrační jednotky vypuštěn nebo se z filtrační jednotky odstraní zpětným proplachováním proti směru proudění. Tento proces může být kontinuální nebo diskontinuální. Filtry s nepřetržitým provozem jsou konstruovány tak, že regenerace filtru probíhá během provozu filtru, takže proces filtrace nemusí být přerušen. Naproti tomu při diskontinuální regeneraci, je nutné provoz filtru při regeneraci zastavit. [20]

### 3.2 Magnetické filtry

Principem magnetických filtrů je průchod kapaliny přes otáčející se zmagnetizovaný buben, na němž se zachytávají třísky. Třísky jsou následně stírány a zachytávány do třískového boxu. Nevýhodou magnetických filtrů je jejich funkčnost pouze při obrábění magnetických materiálů. Řešením je kombinace s dalšími filtry, které zachycují nemagnetický materiál. Příkladem mohou být stroje obrábějící jak nerezové, tak i běžné magnetické oceli. [14]



*Obr. 8 Magnetický filtr IFE Processing Technology CZ [17]*



### 3.3 Tkaninové pásové filtry

Principem filtrace pomocí tkaninových pásových filtrů je oddělení nečistot od procesní kapaliny, přecházející přes tkaninový pás. Tyto filtry jsou zařízení, určená ke kontinuálnímu odstraňování nečistot s vysokou účinností. Filtrované médium je přiváděno na filtrační tkaninu nebo filtrační papír. Filtračním materiálem kapalina prostoupí a na povrchu filtračního materiálu jsou zachycovány pevné částice z procesní kapaliny. Po dosažení definované vrstvy nečistot, usazených na vrchní vrstvě filtračního materiálu, dají snímače impuls k pootočení filtračního materiálu a do pracovního prostoru filtru je navinuta nová tkanina nebo nový filtrační papír. Znečištěná část se odvinutím dostává do sběrné nádoby na nebezpečný odpad. Po prostupu filtrační tkaninou je kapalina odváděna do dolní části, přečerpávána do zásobní nádrže nebo přiváděna zpět do místa řezu.

Čistota přefiltrované kapaliny a velikost zachycených nečistot, je dána druhem a parametry použitého filtračního materiálu. Rozhodujícími parametry jsou jeho gramáž, určující hustotu filtračního materiálu a tloušťka vrstvy filtračního materiálu. Obvyklá dosažená čistota u těchto filtrů je až do velikosti filtrovaných částic  $30\mu\text{m}$ .

Výhodou je filtrace všech druhů materiálů, které pásem prochází. Většinou obsahují motor, který pás odvíjí z navinuté role. Průtok tímto filtrem určuje především šířka tkaniny. Nevýhodou pásových filtrů je nutnost likvidace odpadové tkaniny. [14]



Obr. 9 Tkaninový pásový filtr Broxfil FS [16]

### 3.4 Vynášecí pásy a dopravníky třísek

Vynášecí pásy a dopravníky třísek jsou do filtračního systému zařazovány jako první filtrační zařízení, s nejméně účinným stupněm filtrace. Jejich úkolem je především zajistit oddělení hrubých třísek, vzniklých při obrábění. Umísťují se zpravidla do spodní části CNC strojů, které jsou výrobci vhodně upraveny, aby bylo oplachem kapalinou splaveno co největší množství třísek do prostoru, kde je dopravníkem zabezpečen odvod třísek do připraveného sběrného boxu.

Procesní kapalina, prochází přes vynášecí pás do vany stroje. Ta je většinou rozdělena sítí, která zabezpečují, aby se do prostoru, kde jsou umístěna čerpadla, nedostaly menší nečistoty, které prošly dopravníkem třísek.

Na konci dopravníku je také možné umístit drtič pro redukci objemu třísek, různá zařízení pro sušení třísek (centrifugy), popřípadě briketovací zařízení pro jejich zhutnění. [14]



Obr. 10 Dopravník třísek od firmy Broxtec s.r.o. [15]

### 3.5 Separátory úkapových olejů

Při úniku provozních kapalin do procesní kapaliny, se pro jejich vyseparování dají využít separátory úkapových olejů. Separátory pracují na principu sběru úkapových olejů z hladiny procesní kapaliny, zachycené ve vaně stroje (*Obr. 11*).



*Obr. 11 Separátor úkapového oleje z hladiny procesní kapaliny [27]*

U jiných zařízení pro separování úkapového oleje se využívá čerpadlo, které dopravuje procesní kapalinu s obsahem úkapového oleje přes omyvatelný filtr s plastovou kazetou do separátoru, kde dochází k jejich oddělení (*Obr. 12*).

Pokud jsou úkapové oleje kapalinou pohlcovány, nedokáže je separátor od kapaliny oddělit. Použitím separátoru je možno až několikanásobně prodloužit životnost procesní kapaliny. [14]



*Obr. 12 Separátor úkapového oleje FT-SOE 4 [18]*

### **3.6 Mobilní filtrační jednotky**

Mobilní filtrační jednotky jsou kompaktní zařízení, která je možno dle potřeby přemístit k okruhu, ve kterém potřebujeme procesní kapalinu vyčistit.

Pro oddělení nečistot jsou používány odstředivé separátory nebo separátory sestavené na bázi soustavy několika filtrů, které odlučují různé druhy nečistot.

Z praktického hlediska je výhodnější odstředivý separátor, pracující na principu odstředivé síly, jejímž působením dojde k odloučení nečistot z procesní kapaliny, která se vrací zpět do okruhu. Nečistoty se usazují v zařízení a jejich množství je monitorováno čidly.

## 4 ZNEČIŠTĚNÍ PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ VZNIKAJÍCÍ PŘI OBRÁBĚNÍ

Ze své podstaty jsou procesní kapaliny především velmi „milé a přátelské“ k povrchům obráběných kovů. Tento popis už však nemusí odpovídat jejich působení na zdraví člověka, který s nimi manipuluje a přichází v každodenní praxi do styku. Dlouhodobé vystavení se nepříznivým účinkům, může způsobovat podráždění či alergické reakce na nekrytých částech těla. Vdechování aerosolů vznikajících při opracování výrobků, může zase způsobit podráždění sliznic dýchacího ústrojí.

Zájmem a povinností současných moderních firem je ochrana svých zaměstnanců před možným poškozením jejich zdraví. Je velmi důležité zajistit dodržení správných vlastností procesních kapalin, použití ochranných bezpečnostních pomůcek a vhodné odsávání vnitřních prostor obráběcích strojů.

### 4.1 Odsávání emulzní a olejové mlhy

Při opracování výrobků vysokými reznými rychlostmi, které jsou v dnešní době běžné a interakcí kapaliny s pohybujícími se částmi, vzniká mlha. Když kapalina zasáhne rychle se pohybující část zařízení nebo obrobku, je odvržena zpět a rozptýlena ve formě jemných kapiček. Tvorba mlhy závisí především na rychlosti nástroje nebo objemu, rychlosti a místě dodávky procesní kapaliny do místa řezu.

Jak už zmíněno, vdechování vznikajících aerosolů má neblahé účinky na lidské zdraví. Jako příslušenství k obráběcím strojům se proto dodávají odsávací a filtrační systémy. Jsou určeny k odseparování olejů, aerosolů, jemných částic a případných dýmů. Vyčištěný vzduch je přiváděn zpět do pracovního prostředí firmy.

Filtrační systémy používané v praxi, fungují na principu elektrostatických nebo odstředivých sil.

#### 4.1.1 Elektrostatické filtrační systémy

Elektrostatické filtrační systémy jsou systémy pro čištění a odsávání olejové a emulzní mlhy. Znečištěný vzduch je nejprve nasáván do předfiltru, ve kterém jsou odloučeny hrubé částice o velikosti nad 3 $\mu$ m. Předfiltr slouží zároveň jako ochrana pro následující filtrační komponenty před vniknutím cizích těles. Poté probíhá v elektrickém poli ionizátoru nabití přiváděných neutrálních aerosolů na kladný náboj. Při následném průchodu kolektorem,

dojde pomocí kolektorových desek se záporným nábojem k odklonění a odloučení kladně nabitých částic a tím tedy k odloučení kapalných a pevných částic. Zbývající kladně nabitě částice jsou vybíjeny prostřednictvím neutralizačního filtru. V posledním kroku prochází čištěný vzduch přes výstupní vzduchový filtr ven z tělesa filtru, zpět do pracovního prostředí. Předfiltry a hlavní filtry jsou omyvatelné a jsou pravidelně předávány k čištění a regeneraci. Volitelně lze namontovat koncové filtry, například pro eliminaci kouře nebo zápachu. [21]



*Obr. 13 Dvoukomorový elektrostatický filtr od firmy Bristol [21]*

#### 4.1.2 Odstředivé filtrační systémy

Odstředivé filtrační systémy fungují na principu rozdílných hmotností částic kapaliny a vzduchu, které jsou v aerosolu obsaženy. Nasávaný, znečištěný vzduch je přiváděn na lopatky separačního bubnu, rotujícího velkou rychlostí. Při nárazu částic na speciálně tvarované lopatky bubnu dochází k oddělení molekul vzduchu a částic použitého média. Odstředivá síla pak posunuje odloučené médium přes technologické vložky, ve kterých jsou jemné submikronové částice slučovány do větších kapek. Ty procházejí perforací separačního bubnu na vnitřní plochy vnějšího pláště separátoru, odkud jsou odváděny odpadním svodem na libovolné místo, dle potřeby. Vzduch, který je ze separátoru přiváděn zpět do pracovního prostoru dílny, může být ještě dodatečně filtrován.

Zmiňované technologické vložky nemají primárně za úkol zachytávat odloučené médium, pouze pomáhají procesu separace. Jejich dalším efektem, je snížení hladiny hluku, vytvořeného proudícím vzduchem. [21]

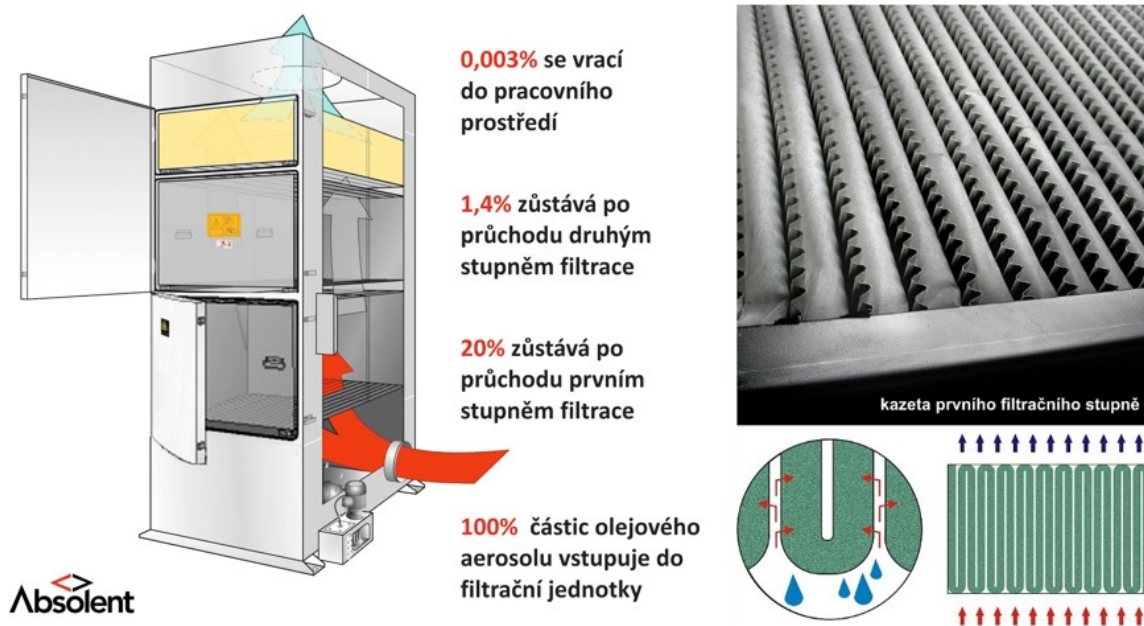


*Obr. 14 Aplikace filtračního separátoru od firmy Filtermist International Ltd. [21]*

#### **4.1.3 Filtrační věže s aktivními prvky**

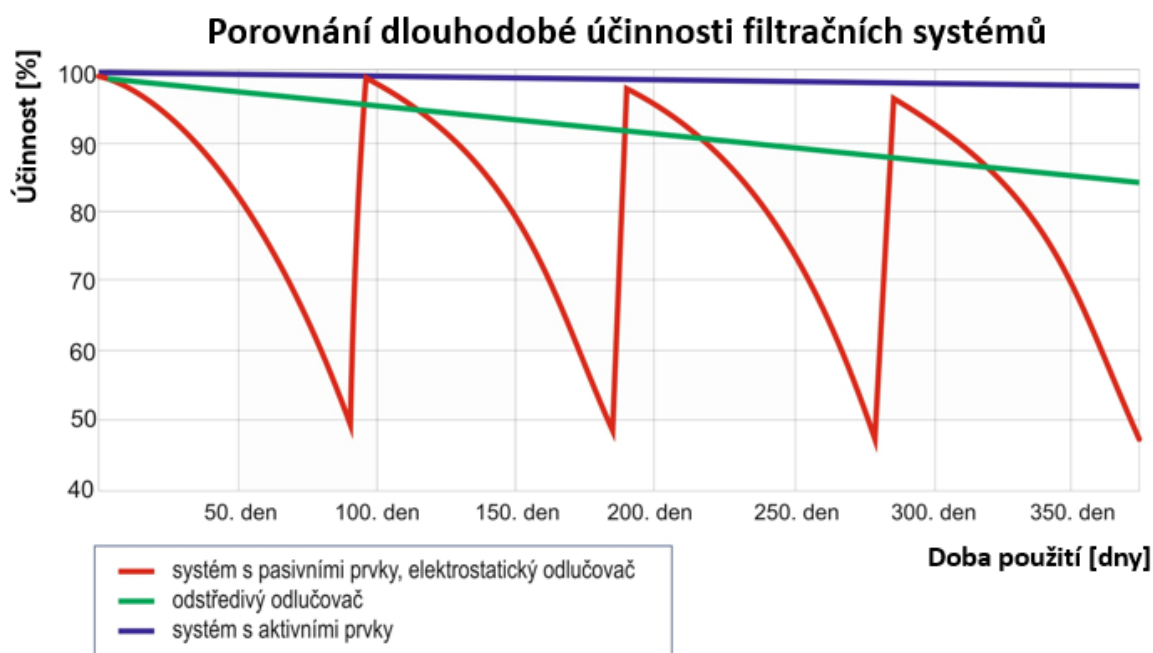
Filtrační věže s aktivními prvky fungují na principu kaskádové filtrace. Jsou vybaveny prvním a druhým stupněm filtrace, tvořenými aktivními filtračními kazetami, složenými ze skládaného filtračního rouna. Tato rouna se sestavují z několika různých vrstev a navrhují se tak, aby odpovídala charakteru odsávaného aerosolu. Filtrační rouna jsou připevněna na kovových lamelách a fungují jako aktivní filtrační prvek.

Jakmile je odsávací věž odsáván znečištěný vzduch, materiál filtračního rouna absorbuje jeho částice. Po dosažení určitého stupně nasycení, se začnou částice aerosolu ve filtračním rounu samovolně slučovat a stékat do sběrné nádrže. Díky tomuto principu samočištění, zůstává aktivní kazeta průchozí a filtrační věže si udržují vysokou účinnost. [21]



Obr. 15 Princip funkce filtrační věže s aktivními prvky od firmy Absolent AB [21]

Při porovnání dlouhodobé účinnosti výše zmíněných filtračních systémů, získáme graf (Obr. 16), který dokládá, že zatímco odstředivý separátor a filtrační systémy s aktivními prvky vykazují jen nepatrně klesající účinnost, účinnost elektrostatických separátorů a systémů s pasivními prvky značně kolísá. Je to dáno nutností pravidelné výměny filtračních komponent a prováděním údržby. [21]



Obr. 16 Porovnání dlouhodobé účinnosti filtračních systémů [21]



## 4.2 Toxikologické a pracovní-lékařské aspekty při zacházení s procesními kapalinami

Jak bylo již zmíněno v kapitolách výše, složení procesních kapalin, používaných v průmyslu, je velmi rozsáhlé a různorodé. Procesní kapaliny často představují směs látek, která je optimalizována pro uživatele a která má, vzhledem ke zvláštním okolnostem v oblasti aplikace, různé účinky na lidi, kteří s nimi pracují. Z tohoto důvodu je stěží možné nastavit jednotný model zacházení, který bude platit pro všechny procesní kapaliny. Zkušenosti z pozorování a se zacházením s procesními kapalinami nelze obecně převést plošně na všechny, ale je nutno ke každému způsobu použití přistupovat individuálně. [24]

### 4.2.1 Expozice částí lidského těla procesním kapalinám

Při používání procesních kapalin s nimi přicházejí obsluhy obráběcích strojů do kontaktu, ať už přímým stykem s kůží pracovníka nebo skrz částice aerosoly a par z okolního ovzduší. Ke kontaktu s pokožkou dochází například při plnění obráběcího stroje procesní kapalinou, při čištění obrobeneho dílu nebo použitím oděvu, potřísněného procesní kapalinou.

Kromě absorpce částic procesní kapaliny kůží, jsou dýchací cesty dalšími částmi těla, exponovanými nepříznivým účinkům. Při obrábění jsou procesní kapaliny vystaveny jak mechanickému, tak tepelnému namáhání, což vede ke vzniku aerosolů a odpařování částí procesní kapaliny. Aerosol sestává ze vzduchových kapiček o velikosti od 0,1 až do 10 $\mu\text{m}$ , které vstupují do dýchacích cest a mohou se tam ukládat. Transport a ukládání částic v dýchacím ústrojí závisí na jejich velikosti, tvaru a hustotě. Důležitým parametrem částic, větších 0,5 $\mu\text{m}$  je aerodynamický průměr  $d_{ae}$ . Částice s  $d_{ae} > 15\mu\text{m}$ , se ukládají výhradně v oblasti nosu, krku a hrtanu. Menší částice se mohou usazovat v tracheobronchiální oblasti. Část vdechnutých částic se v dýchacím traktu neusadí a jsou znovu vydechnuty. Rozpustné části jsou absorbovány a mohou působit lokálně v buňkách nebo systémově po vstupu do krevního řečiště. Nerozpustné a neabsorbované části se mohou dostat do zažívacího traktu pomocí mukociliárních čistících mechanismů z tracheobronchiální oblasti a z oblasti nosohltanu a hrtanu. [23]

#### 4.2.2 Onemocnění kůže

V seznamu látek, způsobujících v souvislosti s prací v kovozpracujícím průmyslu, kožní onemocnění jsou procesní kapaliny na prvním místě. Je jimi způsobeno 40% všech kožních onemocnění hlášených profesními asociacemi. Kožní onemocnění mohou vznikat z následujících důvodů:

- Příliš mnoho koncentrátu ve směsi s vodou
- Pravidelný kontakt s pokožkou, zejména zaschnutá procesní kapalina
- Příliš vysoké hodnoty pH
- Biocidy v procesních kapalinách na vodní bázi
- Třísky a materiál, způsobující poranění kůže

Kožní choroby mohou mít různé příčiny a různé formy. Často jsou popisována tato onemocnění:

##### 4.2.2.1 *Toxicko-degenerativní kontaktní ekzém*

Nejčastěji se vyskytující kožní onemocnění, nazývané také opotřebením dermatózy, vzniká opotřebením přirozené ochranné funkce pokožky. Může být vyvoláno minerálními oleji, majícími vysušující účinek nebo zásaditou hodnotou pH procesní kapaliny. Projevem onemocnění je zčervenání zasažených částí pokožky, která v dalším průběhu onemocnění praská a šupinatí. Později se projevuje svědění, puchýře nebo zánět. Tomuto onemocnění lze zabránit používáním vhodných ochranných pomůcek.

##### 4.2.2.2 *Alergický kontaktní ekzém*

Vznik alergické kontaktní dermatitidy je obtížné předvídat a opatřeními pro ochranu kůže ji lze jen zřídka zabránit. Vzniká přecitlivělostí jednotlivců na procesní kapaliny a projevuje se silnými kožními reakcemi. Biocidy, obsažené v procesních kapalinách, jsou častou příčinou alergického kontaktního ekzému. Důležitou roli tady hrají také tzv. uvolňovače formaldehydu, inhibitory koroze, emulgátory, vonné látky a vysokotlaká aditiva obsahující síru a soli kobaltu, chromu a niklu.

#### 4.2.2.3 Olejové akné

Olejové akné může vznikat v důsledku ucpaných a zanícených kožních žláz a projevuje se ve formě černých teček, hnisavých puchýřků a vřidků. Kromě rukou, paží a obličeje se vyskytuje tento efekt i na částech těla, které přicházejí do styku s oděvem, kontaminovaným olejem, nečistotami a kovovými částicemi. [23]

#### 4.2.3 Onemocnění dýchacích cest

Jak bylo již zmíněno dříve, kapičky aerosolu, které jsou menší než 5 $\mu$ m, dosáhnou dolních dýchacích cest a mohou se zde usazovat a být absorbovány buňkami. Při pokusech na zvířatech nebyly pozorovány žádné histologicky závažné zánětlivé reakce nebo změny plic při koncentraci minerálního oleje 5mg/m<sup>3</sup>. Reakce na cizí tělesa a zánět plic byly detekovány pouze při koncentraci 100mg/m<sup>3</sup>.

U lidí byly u vysoce koncentrovaných olejových mlh popsány nespecifické příznaky, jako jsou bolest hlavy, závratě, nevolnost a celková únava. Navíc se vyskytlo mnoho případů, které popisovaly podráždění horních cest dýchacích, plicní dysfunkce a bronchitidu. [23]

#### 4.2.4 Karcinogenní a mutagenní účinky

Karcinogenní složky procesních kapalin jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), které se vyskytují v produktech minerálních olejů nebo se vytvářejí během používání. Procesní kapaliny na bázi kyselých minerálních olejů, které se často používaly až do roku 1970, měly vysoké koncentrace PAH (30-300ppm hlavní složky benzo-a-pyrenu). Po roce 1970 se používají rafináty rozpouštědel s výrazně nižšími koncentracemi PAH (přibližně 1ppm). Takto nízké koncentrace PAH mají vliv více na zatížení pokožky a méně významně na inhalační expozici. Bylo prokázáno, že procesní kapaliny s vysokým obsahem PAH mohou způsobit rakovinu kůže. [24]

V padesátých, šedesátých a sedmdesátých letech minulého století byly v procesních kapalinách na vodní bázi pozorovány koncentrace až 2000ppm N-nitrosodiethanolaminu (NDELA) jako produkt nitrosace diethanolaminu. Ukázalo se, že nitrosaminy jsou geneticky škodlivé v řadě testů mutagenity a karcinogenní při pokusech na zvířatech, někdy dokonce i ve velmi malých dávkách. U některých pracovníků bylo také nalezeno poškození DNA v krevních buňkách. V dnešních moderních procesních kapalinách, které neobsahují dusitany a sekundární aminy, mohou nitrosaminy vznikat z degradačních a oxidačních procesů chladicích a mazacích složek. [23]

#### 4.2.5 Vliv mikroorganismů

Mikroorganismy, obsažené ve vodních emulzích, mohou také představovat zdravotní riziko. Ve vědeckých studiích byly popsány přítomnosti patogenů, které mohou také být zodpovědné například za spouštění respiračních onemocnění. Každá procesní kapalina má během svého cyklu životnosti, vlastní flóru mikroorganismů. Pokud dojde k prudkému nárůstu počtu bakterií v procesní kapalině, je nutné kapalinu vyměnit nebo ošetřit speciálním biocidem. Tento parametr velmi závisí na složení procesní kapaliny a nastavených podmínkách ve firmě. Nastavení kontrolního intervalu na tento parametr je nutností v každém provozu, který procesní kapaliny využívá. Kromě zdravotní zátěže, vede příliš vysoký počet bakterií také ke zhoršení výkonnosti procesní kapaliny [23].

## 5 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

V prvních kapitolách teoretické části diplomové práce jsem se věnoval vlastnostem procesních kapalin, jejich účinkům na obráběcí proces a jejich rozdělením do skupin podle látek, ze kterých jsou vyrobeny. Dále pak péči o procesní kapaliny, jejich zkoušení a kontrole, a to jak ve výrobním procesu, tak i zkoušení a ověřování jejich vlastností v laboratoři.

Ve druhé polovině teoretické části jsem se zabýval tématem filtrování nečistot z procesních kapalin a různými systémy, používanými k jejich čištění. Neméně důležitým tématem, na které jsem se v teoretické části zaměřil, je problematika znečištění pracovního prostředí vznikajícího při obrábění s procesními kapalinami.

Cílem diplomové práce je nalézt, pojmenovat a prosadit potenciály ke zlepšení při využití procesních kapalin ve firmě, zabývající se výrobou dílů a precizních součástek pro textilní průmysl. Pracovišti, která využívají pro své výrobní procesy procesní kapalinu a na které se zaměřím v praktické části své diplomové práce, jsou pracoviště Frézování, Broušení měkkých dílů a Broušení tvrdých dílů. Tato pracoviště lze kvůli náročnosti výroby a vysokým požadavkům na kvalitu, považovat za jedna ze stěžejních pracovišť v závodě.

Firma dnes po celém světě zaměstnává téměř deset tisíc spolupracovníků a se svými zastoupeními, výrobními a prodejními dceřinými společnostmi působí ve více než 150 zemích světa. Historie firmy sahá zpět až do roku 1852, kdy byla založena. Základním kamenem pro dnešní koncernovou společnost se sídlem v Německu bylo sloučení dvou konkurenčních továren na výrobu dílů a součástí pro textilní průmysl v roce 1937.



*Obr. 17 Příklady využití výrobků v textilním průmyslu [27]*

Zákazníky jsou přední producenti průmyslových, elektronicky řízených pletacích strojů a pletařské firmy zabývající se například výrobou funkčního prádla, triček, dámských punčochových kalhot, ponožek, svetrů, spodního prádla nebo potahových textilií v automobilovém průmyslu.

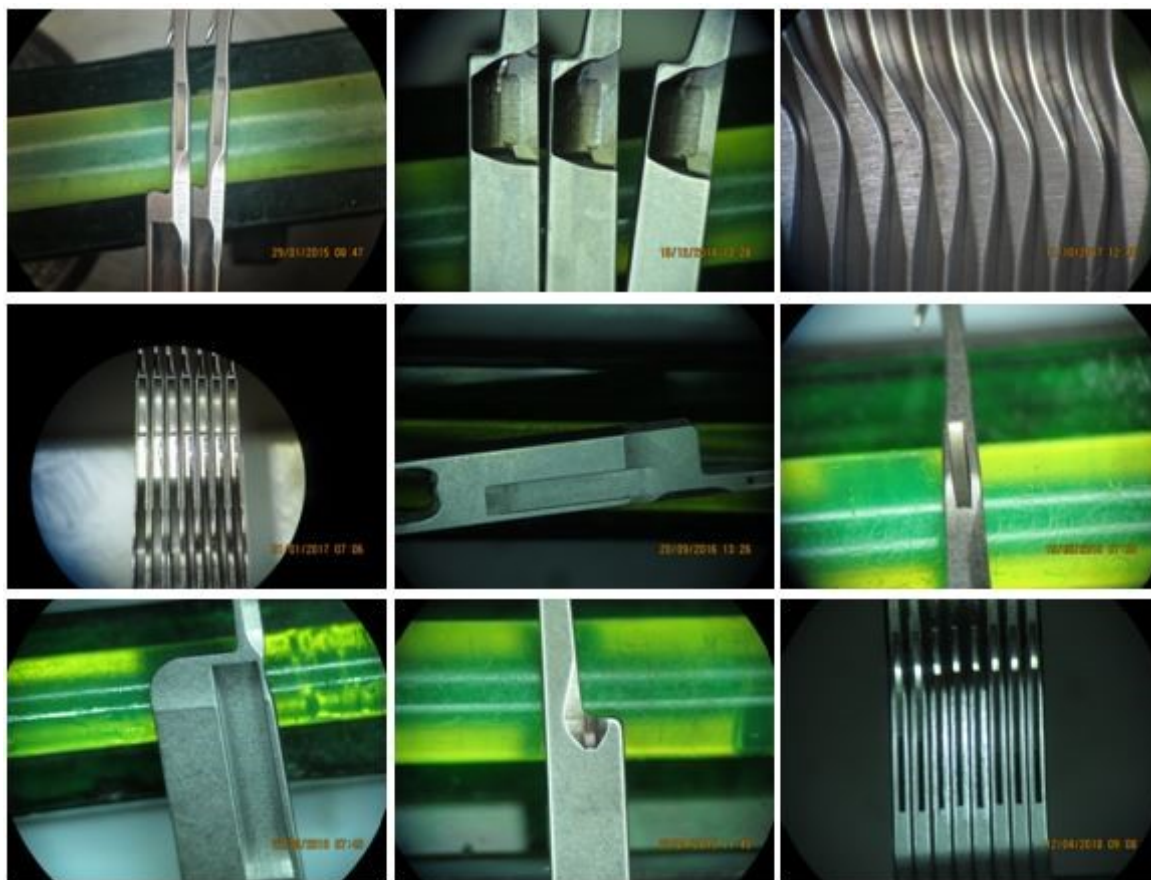
Technologie výroby těchto produktů je velmi náročná. Zahrnuje desítky pracovních operací, při nichž se pracuje s přesností až na tisíce milimetrů.

Produkty, které se ve firmě vyrábí, zahájí svou cestu výrobním procesem jako vylisované polotovary, které jsou dodávány z mateřského závodu v Německu. Po vybalení jsou zpracovávány, v závislosti na druhu a obtížnosti výrobku, na 25–30ti různých pracovních úsecích, což se odráží na poměrně dlouhé průběžné době zpracování, pohybující se v průměru okolo 45 pracovních dní.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 PRACOVNÍ ÚSEK FRÉZOVÁNÍ

Na výrobním úseku Frézování, který je jedním z pracovišť, využívajících ke svému výrobnímu procesu procesní kapalinu, jsou výrobky opracovávány technologií frézování. Na produktu jsou frézovány různé drážky, vylehčení, kapsy a úkosy, s požadovanou tolerancí přesnosti  $\pm 0,01\text{mm}$ . V naprosté většině případů je používáno válcové sousledné frézování.



*Obr. 18 Ukázky opracování výrobku na pracovišti Frézování [27]*

### 6.1 Popis současného stavu pracoviště Frézování

Pro zpracování výrobních zakázek je zde k dispozici 11 frézovacích CNC strojů. Každý ze strojů je schopen na osmi pracovních pozicích provádět na výrobku 8 různých typů frézování, ve 3 osách.



Nástroje a stroje pro frézování se nenakupují od externích dodavatelů, ale jsou konstruovány, vyráběny a dodávány mateřským závodem v Německu. Jsou považovány za velké know-how firmy a podle toho jsou i náležitě chráněny.

Pracuje se zde v nepřetržitém provozu, v tzv. modelu 24/7. Pro tento pracovní model jsou zapotřebí čtyři směny, pracující v 12hodinových směnách. Každá směna je obsazena čtyřmi seřizovači a jedním pracovníkem obsluhy (Tab. 2).

Tab. 2 Ukázka rozpisu směn na pracovišti Frézování [27]

| Rozpis směn na frézování - březen 2020 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|  | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. | 23. | 24. | 25. | 26. | 27. | 28. | 29. | 30. | 31. |   |
| Seřizovač 1                            |    | R  | R  |    |    | N  | N  | N  |    |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R |
| Seřizovač 2                            |    | R  | R  |    |    | N  | N  | N  |    |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R |
| Seřizovač 3                            |    | R  | R  |    |    | N  | N  | N  |    |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R |
| Seřizovač 4                            |    | R  | R  |    |    | N  | N  | N  |    |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R |
| Obsluha                                |    | R  | R  |    |    | N  | N  | N  |    |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     |     | R   | R |
| Seřizovač 1                            |    | N  | N  |    |    | R  | R  | R  |    |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N |
| Seřizovač 2                            |    | N  | N  |    |    | R  | R  | R  |    |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N |
| Seřizovač 3                            |    | N  | N  |    |    | R  | R  | R  |    |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N |
| Seřizovač 4                            |    | N  | N  |    |    | R  | R  | R  |    |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N |
| Obsluha                                |    | N  | N  |    |    | R  | R  | R  |    |     | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     |     | N   | N |
| Seřizovač 1                            |    | N  |    |    | R  | R  |    |    |    | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |   |
| Seřizovač 2                            |    | N  |    |    | R  | R  |    |    |    | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |   |
| Seřizovač 3                            |    | N  |    |    | R  | R  |    |    |    | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |   |
| Seřizovač 4                            |    | N  |    |    | R  | R  |    |    |    | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |   |
| Obsluha                                |    | N  |    |    | R  | R  |    |    |    | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |   |
| Seřizovač 1                            |    | R  |    |    | N  | N  |    |    |    | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |   |
| Seřizovač 2                            |    | R  |    |    | N  | N  |    |    |    | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |   |
| Seřizovač 3                            |    | R  |    |    | N  | N  |    |    |    | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |   |
| Seřizovač 4                            |    | R  |    |    | N  | N  |    |    |    | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |   |
| Obsluha                                |    | R  |    |    | N  | N  |    |    |    | R   | R   |     |     | N   | N   | N   |     |     |     | R   | R   |     |     | N   | N   |     |     | R   | R   | R   |     |   |

### Pracoviště Frézování v číslech:

- počet frézovacích strojů – 11
- počet seřizovačů – 12
- počet pracovníků obsluhy – 4
- roční plán – 60 milionů kusů
- průměrný denní plán – 165 tisíc kusů
- průměrný počet přeseřízení za měsíc – 40
- průměrný čas potřebný pro přeseřízení stroje – 840 minut

## 6.2 Procesní kapaliny na pracovišti

Na pracovišti Frézování se jako procesní kapalina používá řezný olej, který je dodáván v sudech, pod neutrálním názvem Compound 6601, z mateřského závodu v Německu. Složení řezného oleje podléhá utajení a je považováno za know-how firmy. Pro účely této diplomové práce, však není informace o složení řezného oleje relevantní.



*Obr. 19 Řezný olej používaný na pracovišti Frézování [27]*

Všechny stroje jsou připojeny na centrální filtraci, která je umístěna v technologické místnosti mimo pracoviště Frézování. Společným filtračním zařízením pro všechny frézovací stroje je pásová filtrace od firmy Knoll (*Obr. 20*).



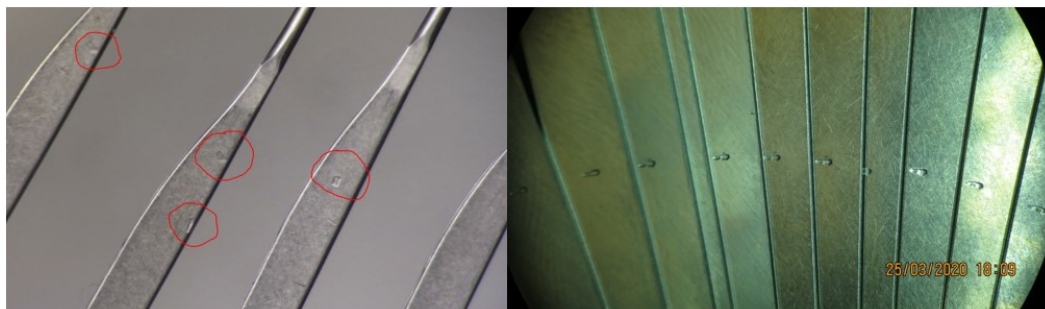
*Obr. 20 Filtrační zařízení Knoll PF 1200 [27]*

Do zařízení je sváděn použitý řezný olej společně s třískami, vznikajícími při obrábění. Péče o procesní kapalinu je zajišťována oddělením údržby a parametry a vlastnosti kapaliny jsou pravidelně kontrolovány místní laboratoří. Jednou měsíčně je kontrolován obsah nečistot v procesní kapalině a jednou za tři měsíce je kontrolována hodnota pH, která by se měla pohybovat mezi pH5 a pH7. Kromě toho se u této procesní kapaliny, také v 3měsíčním intervalu, kontroluje hodnota POZ, což je tzv. peroxidové číslo, stanovující obsah oxidu v tuku nebo oleji. Vyšší hodnota POZ znamená stárnutí (žluknutí) kapaliny. Vnitropodnikovou směrnicí je stanoven limit 0-3mmol/kg. Při překročení limitu je nutné zkontaktovat laboratoř a dle doporučení provést výměnu náplně nebo přidat do procesní kapaliny stabilizační prostředek. Jednou ročně jsou vzorky procesní kapaliny zaslány do centrální laboratoře v Německu, k rutinnímu srovnávacímu měření.

### 6.3 Problémy s otisky na obrobku

Procesní kapalina zde slouží jako chladicí a řezný olej při procesu frézování. Kromě účelu ke kterému je určena, chlazení a zlepšení řezného procesu, slouží také k odplavení třísek, vznikajících při obrábění. Kapalina s třískami je odplavena do centrálního filtračního zařízení, kde je přefiltrována přes textilní filtrační pás. Tím dojde k oddělení třísek, které jsou filtračním pásem odváděny do odpadní nádoby. Přefiltrovaná procesní kapalina se pomocí čerpadla vrací potrubím zpátky k frézovacím strojům.

Pokud se stane, že se spolu s přefiltrovanou kapalinou vrací k frézovacím strojům nečistoty ve formě třísek nebo většího množství kovového prachu, může to způsobit problémy při zpracování polotovarů. Polotovary jsou ve stroji při opracování sevřeny v upínacích čelistech, a pokud se dostane mezi upínací čelist a opracovávaný díl spolu s kapalinou nečistota ve formě třísky, dojde k zalisování nebo otisku třísky do povrchu výrobku. Tato chyba je považována za kritickou a výrobek je klasifikován jako zmetek (Obr. 21).



Obr. 21 Otisky od třísek na výrobku [27]

### 6.3.1 Analýza výchozí situace

Jednou z vlastností procesní kapaliny, která je kontrolována místní laboratoří v pravidelném měsíčním intervalu, je obsah nečistot. Průběh a podmínky provádění zkoušky jsou podrobně popsány vnitropodnikovou směrnicí. Do odměrného válce se nalije přesně 1000ml kontrolovaného zhomogenizovaného oleje. Směrnicí definovaný vzorek filtračního pásu se vloží na 2 hodiny do předehřáté sušičky na teplotu 105°C. Poté je zvážen a zjištěná hmotnost je zaznamenána pro pozdější výpočet. Filtrační pás se vloží do středu porcelánové misky a navlhčí několika mililitry perchlorethenu. Je vložen do sestavené aparatury (Obr. 22) a v systému je vytvořeno vakuum. Jakmile je navlhčený vzorek filtračního pásu nasán a přiléhá na plochu k systému, přelije se přes něj po částech obsah měřicího válce s kontrolovaným olejem do porcelánové odsávačky. Eventuální zbytky oleje a přilnutých nečistot v odměrném válci se rozpustí v perchlorethenu a jsou rovněž přefiltrovány. Dochází-li k velmi pomalému oddělování oleje z důvodu ucpávání pórů filtru, je možné proces částečně urychlit přidáním perchlorethenu. Po úplném odfiltrování se vzorek filtru opere ve 100ml perchlorethenu bez oleje a následně se pomocí 100ml acetonu uvolní poslední zbytky oleje. Po odsátí acetonu se ponechá ještě 5 minut působit vakuum, aby se dosáhlo úplného vysušení vzorku. Poté je vzorek vyjmut a opět kondicionován 2 hodiny v předehřáté sušičce o teplotě 105°C a zvážen. Rozdíl hmotnosti vzorků před zkouškou a po zkoušce určuje obsah nečistot v testovaném oleji.



Obr. 22 Aparatura pro laboratorní zjišťování obsahu nečistot v oleji [27]

Při zjištěném obsahu nečistot přesahujícím 20mg/litr je laborantem informován mistr nebo technolog, odpovědný za danou oblast.

Statistika prováděných měsíčních kontrol nepotvrdila pravidelné překračování stanovených limitů. (Tab. 3).

Tab. 3 Statistika obsahu nečistot v procesní kapalině pro Frézování [27]

| <b>Obsah nečistot</b>                                 |                              |   |
|---|------------------------------|---|
| <b>Compound 6601</b>                                  |                              |   |
| <b>KNOLL 1 (0.0910/01/005)</b>                        |                              |   |
| <b>Frézování</b>                                      |                              |   |
| <b>Dle pracovních instrukcí A-K 00507 a A-U-00099</b> |                              |   |
| <b>Datum</b>  | <b>Obsah nečistot [mg/l]</b> | <b>Poznámka</b>                                   |
| <b>16.01.2019</b>                                     | 3                            |   |
| 15.02.2019  | 3                            |   |
| 13.03.2019  | 8                            | kovový "prach"                                    |
| 10.04.2019  | 4                            |   |
| 20.05.2019  | 4                            |   |
| 14.06.2019  | <b>25</b>                    | drobné i <b>větší</b> kovové i nekovové nečistoty |
| 15.07.2019  | 5                            |   |
| 22.08.2019  | 6                            |   |
| 18.09.2019  | 6                            | kovový "prach"                                    |
| 17.10.2019  | 4                            |   |
| 14.11.2019  | 10                           | kovový "prach"                                    |
| 16.12.2019  | 8                            | kovový "prach"                                    |
| <b>21.01.2020</b>                                     | 12                           | drobné kovové nečistoty                           |
| 18.02.2020  | 10                           | kovový "prach"                                    |

Mapováním situace na pracovištích Frézování a centrální filtrace bylo zjištěno, že se jedná o problém nahodilý, vyskytující se pouze jednou až dvakrát za rok. Ze zkušeností pracovníka servisního oddělení, které filtrační zařízení servisuje, vyplynulo, že problém může být způsoben náhodně se vyskytující poruchou posuvu filtračního pásu a následným přepravením filtrované procesní kapaliny přes jeho okraj. To má za následek přivedení nepřefiltrované procesní kapaliny zpět do výrobního procesu.



*Obr. 23 Ucpaný díl rozvodu procesní kapaliny třískami [27]*

Při výskytu problémů s otisky a podezření na vysoké znečištění kapaliny, provádí seřizovač rychlý test pomocí instalace magnetu na přívod procesní kapaliny k obráběné části (*Obr. 24*).



*Obr. 24 Rychlý test znečištění procesní kapaliny [27]*

### 6.3.2 Návrh řešení

Přestože se jedná o problém čistě nahodilý a vyskytující se pouze zřídka, je vhodné se jím zabývat. Způsobuje ztrátu na produkčním výkonu z důvodu neproduktivních prostojů stroje a pracovníka, více práce laboratoře a pracovníka servisního oddělení. Dalším ztrátou jsou zmetkové díly.

Návrhem pro řešení tohoto problému, je montáž dodatečné magnetické filtrace na zpětný přívod procesní kapaliny na pracoviště. Ta bude fungovat jako pojistka filtračního systému proti výše popsanému nahodilému jevu.

### 6.3.3 Realizace

Zpětný přívod procesní kapaliny k pracovišti frézování byl osazen magnetickou filtrací, zajišťující dodatečnou filtraci kapaliny. Filtrace byla navržena pracovníky servisního oddělení a vyrobena a dodána spolupracující externí zámečnickou firmou.



*Obr. 25 Magnetický filtr pro dodatečnou filtraci [27]*

Byl zaveden pravidelný servisní interval pro údržbu a čištění filtru. Pracovník servisního oddělení pomocí bypass smyčky odstaví magnetický filtr z provozu a odstraní nečistoty zachycené na magnetech (*Obr. 25 - vpravo*). Tuto činnost provádí jednou měsíčně.

### 6.3.4 Zhodnocení přínosu zavedených opatření

Při pravidelné údržbě a čištění magnetického filtru je viditelně prokazována účinnost zařízení. Daří se zachytávat nečistoty ve formě kovového prachu, které nebyly zachyceny filtračním pásem. Vzhledem k nahodilosti výskytu problému s přeplavením procesní kapaliny přes okraj filtračního pásu, je však nutné účinnost opatření prokázat v dlouhodobějším časovém horizontu.

Tab. 4 Náklady na zavedení dodatečné magnetické filtrace [27]

| Náklady na zavedení dodatečné magnetické filtrace |               |                    |                 |                   |               |
|---|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|---------------|
| Položka   | Materiál [Kč] | Montáž [Kč/hodina] | Montáž [hodiny] | Cena montáže [Kč] | Náklady [Kč]  |
| Magnetická filtrace                               | 48 600        | 630                | 1               | 630               | 49 230        |
| Potrubní systém                                   | 12 300        | 630                | 16              | 10 080            | 22 380        |
| Náklady na údržbu a čištění (rok)                 | 0             | 630                | 3               | 1 890             | 1 890         |
| <b>Celkem:</b>                                    |               |                    |                 |                   | <b>73 500</b> |

Tab. 5 Úspora po zavedení dodatečné magnetické filtrace [27]

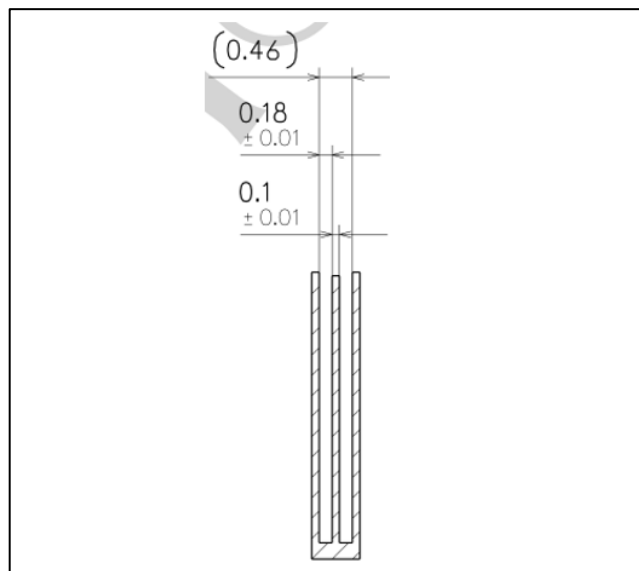
| Úspora po zavedení dodatečné magnetické filtrace |                             |                               |                           |                         |                 |
|--|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|
| Položka  | Časový prostož [hodiny/rok] | Náklady pracovník [Kč/hodina] | Náklady stroj [Kč/hodina] | Náklady výrobky [Kč/ks] | Úspora [Kč/rok] |
| Ztráta na výkonu z důvodu odstávky               | 10                          | 480                           | 565                       | 0                       | 10 450          |
| Laboratoř mimo interval (2x ročně)               | 4                           | 630                           | 0                         | 0                       | 2 520           |
| Zmetky z důvodu otisků (2019)                    | 0                           | 0                             | 0                         | 32 350                  | 32 350          |
| <b>Celkem:</b>                                   |                             |                               |                           |                         | <b>45 320</b>   |

Jak vyplývá z (Tab. 4) a (Tab. 5), je teoretická návratnost na zavedení dodatečné magnetické filtrace přibližně 1,6 let (19 měsíců), což bylo z hlediska vedení firmy přijatelné a investice byla schválena.



## 6.4 Olejová mlha na pracovišti

Na pracovišti jsou dva stroje vyčleněny pro specifický druh frézování, při kterém dochází k tvorbě olejové mlhy. Jedná se o frézování drážek do zpracovávaného výrobku. Na výrobku zůstávají po vyfrézování drážky, velmi tenké stěny materiálu o velikosti 0,1mm (Obr. 26). Při obrábění takto malých dílů je potřeba místo frézování intenzivně proplachovat. Procesní kapalina má v tomto případě nejen funkci chlazení a mazání, ale má podstatný význam i pro odvedení třísek z místa řezu. Při nedostatečném odvodu třísek se frézovaná drážka ucpává a hrozí nebezpečí zničení nástroje nebo zborcení zbytkové stěny výrobku.



Obr. 26 Výstřižek z výkresové dokumentace [27]

Při opracování výrobků vysokými reznými rychlostmi a interakcí kapaliny s pohybujícími se částmi vzniká olejová mlha. Když kapalina zasáhne rychle se pohybujících část nástroje, je odvržena zpět a rozptýlena ve formě jemných kapiček.

Vznikající olejová mlha znečišťuje okolní pracoviště a má několik nepříznivých důsledků.

#### 6.4.1 Analýza výchozí situace

Jak už zmíněno v teoretické části diplomové práce, vdechování vznikajících aerosolů má neblahé účinky na lidské zdraví. Výše zmíněné stroje byly do firmy přesunuty z mateřské firmy, ve které byly připojeny na systém centrálního odsávání. V dceřiné firmě není centrální odsávání nainstalováno a stroje nejsou vybaveny příslušenstvím pro odsávání. Stroje jsou vybaveny posuvným zakrytváním, což je pouze částečné řešení problému, protože při obsluze nebo kontrole procesu, je obráběcí prostor na krátký časový úsek otevírán a tím dochází ke znečištění pracovního prostředí.

Je potřeba podotknout, že znečištění není nijak kritické. Na pracovišti probíhá pravidelně měření zátěže ovzduší aerosoly, a to jak externě krajskou hygienickou stanicí, tak interně podle vnitropodnikové směrnice.

Limitní hodnoty pro množství aerosolů obsažených v ovzduší na pracovišti se udávají v  $\text{mg}/\text{m}^3$  a jsou popsány v „Nařízení vlády č.361/2007 Sb.“, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. Zákonný limit je  $10\text{mg}/\text{m}^3$ .

Limitní hodnota určená vnitropodnikovou směrnicí firmy, při jejímž překročení je potřeba nápravných opatření, byla stanovena na  $5\text{mg}/\text{m}^3$ .

Na pracovišti Frézování se tato hodnota dlouhodobě pohybuje okolo  $2\text{mg}/\text{m}^3$  (*Příloha II*), což bez problémů vyhovuje jak zákonnému, tak i vnitropodnikovému požadavku.

Vznik olejové mlhy s sebou však přináší jiné nepříznivé důsledky:

- Náklady na čištění, popř. na výměnu měřících přístrojů
- Kondenzaci olejových par na částech stroje a vybavení dílny a následné skapávání na podlahu, pracovníky, atd.
- Nebezpečí pracovního úrazu v důsledku uklouznutí

#### 6.4.1.1 Čištění, popř. na výměna měřících přístrojů

Na zmíněném pracovním úseku byla oproti vedlejšímu pracovišti, kde se frézují jiné výrobky, jiným způsobem frézování, zaznamenána zvýšená frekvence čištění nebo výměny měřících přístrojů.



Obr. 27 Znečištěné měřidlo působením aerosolu [27]

#### 6.4.1.2 Kondenzace olejových par

Olejová mlha kondenzuje na částech strojů (Obr. 28) nebo na potrubních systémech vzduchotechniky. Zatímco u strojů to není až takový problém, skapávání kapek oleje na podlahu, vybavení dílny nebo na pracovníky je nepříjemným efektem tohoto jevu.



Obr. 28 Kondenzace oleje na stroji [27]



Obr. 29 Kondenzace oleje na vzduchotechnice [27]

#### 6.4.1.3 Pracovní úrazy z důvodu uklouznutí

Nejnepříjemnějším důsledkem znečištění pracoviště aerosolem je vznik pracovních úrazů pracovníků z důvodu uklouznutí. Skapávání zkondenzovaných kapek oleje a aerosol v ovzduší znečišťují podlahu, po které se pracovníci pohybují – v některých případech i s těžkými břemeny. Jako opatření proti uklouznutí, jsou na všech pracovištích ve firmě zavedena různá opatření.

- Všichni pracovníci mají povinnost používat ochrannou, protiskluzovou obuv
- Podlaha na všech pracovištích je jednou za směnu strojně vyčištěna úklidovou službou
- Povrchová struktura podlahy na olejem exponovaných pracovištích, byla upravena

Přes tato opatření se staly v roce 2019 na pracovišti Frézování 2 úrazy, způsobené uklouznutím a pádem na kluzké podlaze (Tab. 6).

Tab. 6 Přehled pracovních úrazů 2019 [27]

| Přehled pracovních úrazů v závodě 2019 |                |                  |                 |   |
|--|----------------|------------------|-----------------|---|
|  | Zaplaceno v Kč | Jiná platba v Kč | Zameškáno hodin | Příčina   |
| Úraz 1                                 | 5 116          | 150              | 356,08          | Uklouznutí na podlaze                             |
| Úraz 2                                 | 5 212          | 200              | 349,45          | Řezná rána na ruce - posunování frézovací stanice |
| Úraz 3                                 | 5 863          | 300              | 719,47          | Pád ze schodů                                     |
| Úraz 4                                 | 3 821          | 150              | 67,50           | Zapíchnutá špona v prstě                          |
| Úraz 5                                 | 2 132          | 500              | 45,75           | Uklouznutí na podlaze                             |
| <b>Celkem:</b>                         | <b>22 144</b>  | <b>1 300</b>     | <b>1 538,25</b> |   |

#### 6.4.2 Návrh řešení

Návrhem řešení je instalace vhodného odsavače vnitřního prostoru stroje. Je běžnou praxí u obráběcích strojů, že se odsávání dodává jako příslušenství ke stroji. Vzhledem k tomu, že stroje na Frézování byly navrženy a zkonstruovány interně, je potřeba najít a nainstalovat vhodné zařízení dodatečně.

Takovým zařízením může být odsávací věž od firmy 3Nine, která je už ve firmě používána na jiné oblasti.



Obr. 30 Odsávací věž 3Nine Lova 900 [27]

#### Parametry odsávací věže 3Nine Lova 900:

- Maximální odsávaný prostor – 9m<sup>3</sup>
- Průtočný objem – 900m<sup>3</sup>/h
- Provozní teplota – 5-50°C
- El. spotřeba – 1,5kW
- Hmotnost – 113kg
- Rozměry v/d/š – 936/833/777 mm
- Vnitřní průměr připojení odsávání – 200mm
- Hladina hluku – < 70db

### 6.4.3 Realizace

Navrhovaná odsávací věž svými parametry vyhovuje připojení obou frézovacích strojů, u kterých se problémy s olejovou mlhou vyskytují. U každého stroje je zapotřebí odsávat vnitřní prostor o objemu 2,5m<sup>3</sup>, takže na jedno instalované zařízení je možno připojit dva stroje tohoto typu.

Návrh na řešení a jeho realizace byl vedením firmy předběžně schválen, avšak v době odevzdání diplomové práce nebyl ještě projekt realizován.

### 6.4.4 Zhodnocení přínosu zavedených opatření

Relevantní zhodnocení přínosu zamýšleného opatření, bude možno provést až po realizaci a po odzkoušení zařízení v praxi. Zlepšení pracovního prostředí pro zaměstnance je však jednou z priorit firmy.

Tab. 7 Náklady na instalaci odsávací věže 3Nine Lova 900 [27]

| Náklady na instalaci odsávací věže 3Nine Lova 900 |               |                    |                 |                   |                |
|---|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Položka   | Materiál [Kč] | Montáž [Kč/hodina] | Montáž [hodiny] | Cena montáže [Kč] | Náklady [Kč]   |
| Odsávací věž 3Nine Lova 900                       | 190 030       | 630                | 3               | 1 890             | 191 920        |
| Instalace a nastavení                             | 3 500         | 630                | 6               | 3 780             | 7 280          |
| Náklady na údržbu a čištění (rok)                 | 0             | 630                | 10              | 6 300             | 6 300          |
| <b>Celkem:</b>                                    |               |                    |                 |                   | <b>205 500</b> |

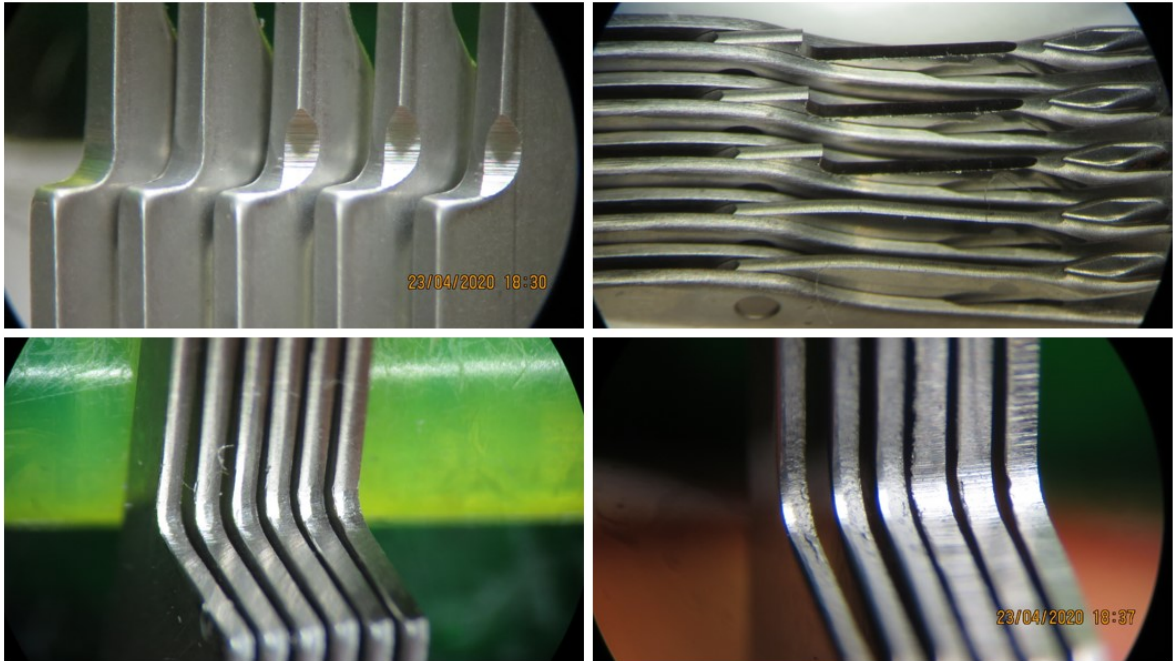
Tab. 8 Teoretická úspora po instalaci odsávací věže 3Nine Lova 900 [27]

| Úspora po instalaci odsávací věže 3Nine Lova 900   |                                |                                  |                   |                               |
|--|--------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Položka<br>(Náklady za rok 2019)                   | Časový prostor<br>[hodiny/rok] | Náklady pracovník<br>[Kč/hodina] | Jiné náklady [Kč] | Teoretická<br>úspora [Kč/rok] |
| Čištění a opravy měřidel                           | 40                             | 630                              | 0                 | 25 200                        |
| Oprava měřidla 6.468, poškozeného olejem (externě) | 0                              | 0                                | 46 000            | 46 000                        |
| Oprava měřidla 6.468, poškozeného olejem (externě) | 0                              | 0                                | 50 000            | 50 000                        |
| Nákup měřidla 6.103, poškozeného olejem            | 0                              | 0                                | 10 000            | 10 000                        |
| Pracovní úrazy způsobené uklouznutím               | 0                              | 0                                | 7 898             | 7 898                         |
| <b>Celkem:</b>                                     |                                |                                  |                   | <b>139 098</b>                |

Finanční návratnost investice je postavena na snížení úrazovosti na pracovišti a snížení více nákladů na údržbu a investice do měřících přístrojů. Z dnešního pohledu je proto nutné na ni pohlížet jako na teoretickou a bude ji možno potvrdit v dlouhodobějším časovém horizontu.

## 7 PRACOVNÍ ÚSEK BROUŠENÍ MĚKKÝCH DÍLŮ

Na výrobním úseku Broušení měkkých dílů, jsou výrobky opracovávány technologií broušení. Polotovary jsou opracovávány ve stavu před tepelným zpracováním, tzv. za měkka. Jsou na nich broušeny různé tvary, rádiusy a vylehčení nebo je redukován přídavek materiálu, který už pro další zpracování není nutný. Díly jsou zpracovávány s požadovanou tolerancí přesnosti  $\pm 0,01\text{mm}$ .



Obr. 31 Ukázky opracování výrobku na pracovišti Broušení měkkých dílů [27]

### 7.1 Popis současného stavu pracoviště Broušení měkkých dílů

Pro zpracování výrobních zakázek je zde k dispozici 6 konvenčních brousících strojů a 1 CNC stroj. Díly nejsou na strojích zpracovávány ve větších vsázkách, ale každý jednotlivý kus samostatně. Každý ze strojů má dvě pracovní pozice, což umožňuje opracování výrobku ve dvou fázích. Díky tomu je možné na výrobku vytvořit dva různé tvary podle zadání ve výrobním výkrese nebo lze dvou brousících stanic využít pro opracování jednoho tvaru, přičemž první brousící stanice odebere přídavek materiálu po vylisování polotovaru a druhá stanice obrousí tvar tzv. na hotovo, podle výrobní dokumentace. Stroje byly navrženy a zkonstruovány v technologickém a vývojovém středisku v mateřském závodě. Nejednalo se tedy nákup volně dostupných obráběcích

strojů z externích zdrojů. Z potřeby udržitelnosti přední pozice na trhu mezi výrobci dílů pro textilní průmysl, jsou považovány za velké know-how firmy.

Brousící kotouče jsou dceřiným závodem objednávány v mateřském závodě v Německu a jsou zajišťovány jako subdodávka z externích firem. Parametry brousících kotoučů jsou definovány oddělením zodpovědným za konstrukci nástrojů a jsou uvedeny ke každému jednotlivému typu výrobku ve výrobní dokumentaci.

Pracuje se zde v 3směnném provozu, v tzv. modelu 24/5. Pro tento pracovní model jsou zapotřebí tři směny, pracující v 8hodinových směnách. Každá směna je obsazena jedním seřizovačem a jedním pracovníkem obsluhy. Z důvodu plánovaného navýšení výroby na tomto pracovišti, je v současné době zaškolován další seřizovač, pracující pouze na ranní směně (Tab. 9).

Tab. 9 Ukázka rozpisu směn na pracovišti Broušení měkkých dílů [27]

| Rozpis směn na broušení měkkých dílů - březen 2020 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | 11. | 12. | 13. | 14. | 15. | 16. | 17. | 18. | 19. | 20. | 21. | 22. | 23. | 24. | 25. | 26. | 27. | 28. | 29. | 30. | 31. |
| Seřizovač 1  |    | R  | R  | R  | R  | R  |    |    | N  | N   | N   | N   | N   |     |     | O   | O   | O   | O   | O   |     |     | R   | R   | R   | R   | R   |     |     | N   | N   |
| Obsluha  |    | R  | R  | R  | R  | R  |    |    | N  | N   | N   | N   | N   |     |     | O   | O   | O   | O   | O   |     |     | R   | R   | R   | R   | R   |     |     | N   | N   |
| Seřizovač 2  |    | O  | O  | O  | O  | O  |    |    | R  | R   | R   | R   | R   |     |     | N   | N   | N   | N   | N   |     |     | O   | O   | O   | O   | O   |     |     | R   | R   |
| Obsluha  |    | O  | O  | O  | O  | O  |    |    | R  | R   | R   | R   | R   |     |     | N   | N   | N   | N   | N   |     |     | O   | O   | O   | O   | O   |     |     | R   | R   |
| Seřizovač 3  |    | N  | N  | N  | N  | N  |    |    | O  | O   | O   | O   | O   |     |     | R   | R   | R   | R   | R   |     |     | N   | N   | N   | N   | N   |     |     | O   | O   |
| Obsluha  |    | N  | N  | N  | N  | N  |    |    | O  | O   | O   | O   | O   |     |     | R   | R   | R   | R   | R   |     |     | N   | N   | N   | N   | N   |     |     | O   | O   |
| Seřizovač 4  |    | R  | R  | R  | R  | R  |    |    | R  | R   | R   | R   | R   |     |     | R   | R   | R   | R   | R   |     |     | R   | R   | R   | R   | R   |     |     | R   | R   |

#### Pracoviště Broušení měkkých dílů v číslech:

- počet strojů – 6 konvenčních a 1 CNC stroj
- počet seřizovačů – 3 + 1 v zaškolení
- počet pracovníků obsluhy – 3
- roční plán – 30 milionů kusů
- průměrný denní plán – 127 tisíc kusů
- průměrný počet přeseřízení za měsíc – 15
- průměrný čas potřebný pro přeseřízení stroje – 150 minut



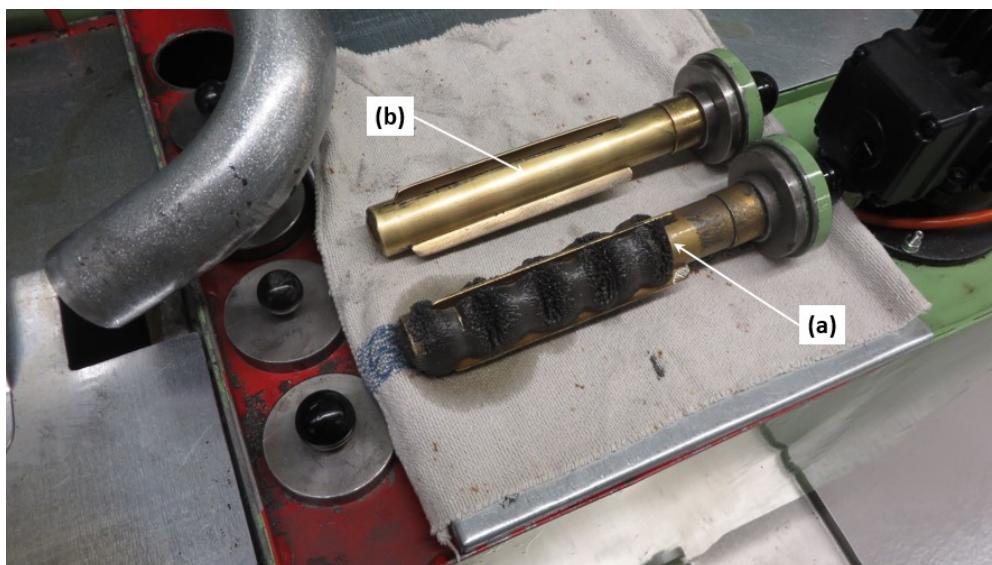
## 7.2 Procesní kapaliny na pracovišti

Procesní kapalinou, používanou na tomto pracovišti, je Ecocut HFN 32 LE, což je víceúčelový řezný olej, používaný pro broušení a obrábění s geometricky definovaným břitem. Tento olej může být také používán jako hydraulický olej.

### Parametry řezného oleje Ecocut HFN 32 LE:

- Kinematická viskozita (při 40°C): 33mm<sup>2</sup>/s
- Hustota (při 15°C): 861kg/m<sup>3</sup>
- Bod vzplanutí: > 210°C
- Bod tuhnutí: < -12°C

U konvenčních výrobních strojů je instalována samostatná záchytná nádrž s procesní kapalinou. Jedná se o samostatný okruh mezi strojem a filtrací. Procesní kapalina je odváděna do nádrže, ze které je pak čerpadlem přiváděna zpět k místu obrábění. Na konvenčních strojích jsou broušeny velmi malé úběry materiálu, čímž nedochází k významnějšímu znečištění řezného oleje. Část nečistot vzniklých obráběním je zachytávána magnetickými patronami, které jsou seřizovači čištěny v pravidelných týdenních intervalech (Obr. 32). Zbytek nečistot se usazuje na dně nádrží ve formě brusného kalu. Čištění nádrží, odstranění usazeného kalu a výměna náplně probíhá dle vnitřního předpisu jednou ročně, před letní odstávkou závodu. Kapalina není nijak filtrována.



Obr. 32 Znečištěná (a) a čistá (b) magnetická patrona [27]



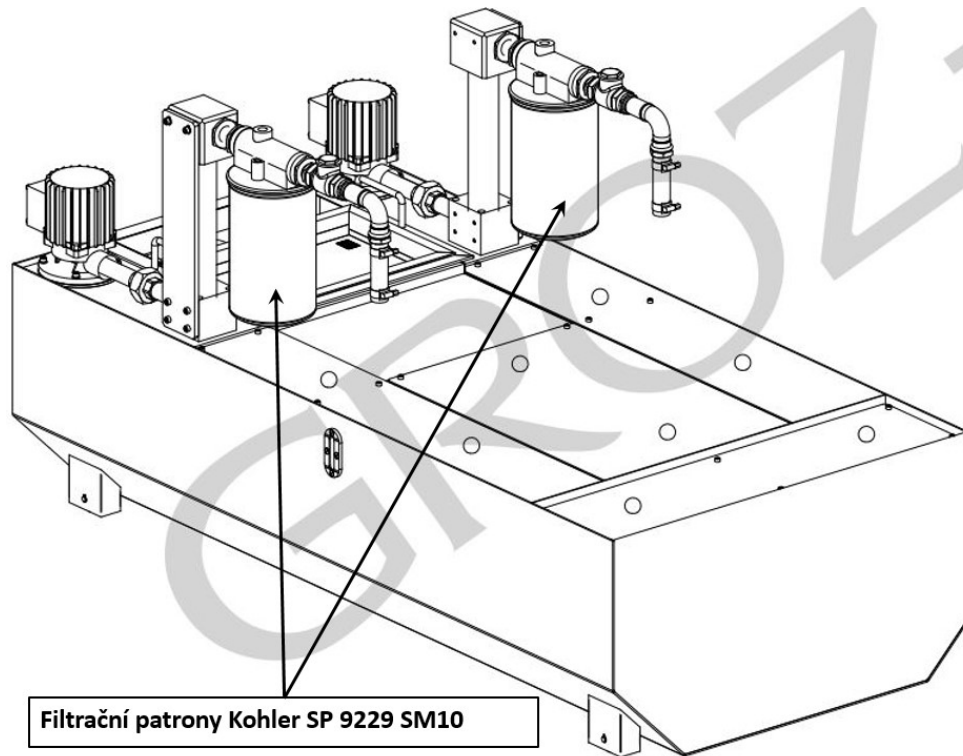
*Obr. 33 Záchytná nádrž procesní kapaliny u konvenčních strojů [27]*

### **7.3 Náhrada filtračního zařízení u CNC brousícího stroje**

U CNC brousícího stroje je situace poněkud odlišná. Odlišností, ve srovnání s konvenčními stroji, je fakt, že je obrobek v brousící pozici uchycen jiným způsobem, a to mezi čelistmi. Tím vzniká nebezpečí otisků na výrobku, v případě návratu znečištěné kapaliny do oblasti obrábění.

Z uvedeného důvodu, již nebylo vhodné použití stejného konceptu záchytných nádrží, tak jako u konvenčních strojů. Pro zpracování na CNC stroji, bylo zapotřebí oddělením vývoje navrhnout záchytnou nádrž s možností filtrace (*Obr. 34*).

Navržené řešení vyhovovalo požadavkům až do doby, kdy se na stroji začal zpracovávat nový sortiment. Na základě zákaznického požadavku byly do výrobního programu zařazeny produkty, mající vyšší nároky na výslednou kvalitu broušeného povrchu a u kterých je až 3násobně větší úběr odbrušovaného materiálu, než u produktů stávajících.



Obr. 34 Záchytná nádrž s filtračními patronami [27]

### 7.3.1 Analýza výchozí situace

Při zpracování nových produktů, dochází k výrazně vyššímu znečištění procesní kapaliny. To má za následek návrat kapaliny s částicemi nečistot do prostoru obrábění, nebezpečí vzniku otisků na výrobku a produkci zmetků.

Dalším nepříjemným důsledkem znečištěné procesní kapaliny, je rychlé ucpávání instalovaných filtračních patron, což má za následek více práce, spojené s jejich výměnou a čištěním, ztrátu výkonu stroje a zvýšené finanční náklady na filtraci.

- Čištění magnetických patron – 1x týdně
- Brusný kal se usazuje na dně nádrže
- Čištění nádrže s procesní kapalinou a výměna náplně – 1x ročně
- Ztráta průtoku z důvodu ucpávání filtračních patron – z 35litrů/min na 20Litrů/min
- Snížený průtok – nedostatečný odvod tepla – spálená místa na obrobku
- Filtrační patrona Kohler SP 9229 SM10
- Životnost nové filtrační patrony – přibližně 24 hodin do ucpání
- Životnost propláchnuté filtrační patrony – přibližně 8 hodin
- Ztráta na výkonu z důvodu čištění – 20 minut (přibližně 80krát za měsíc)

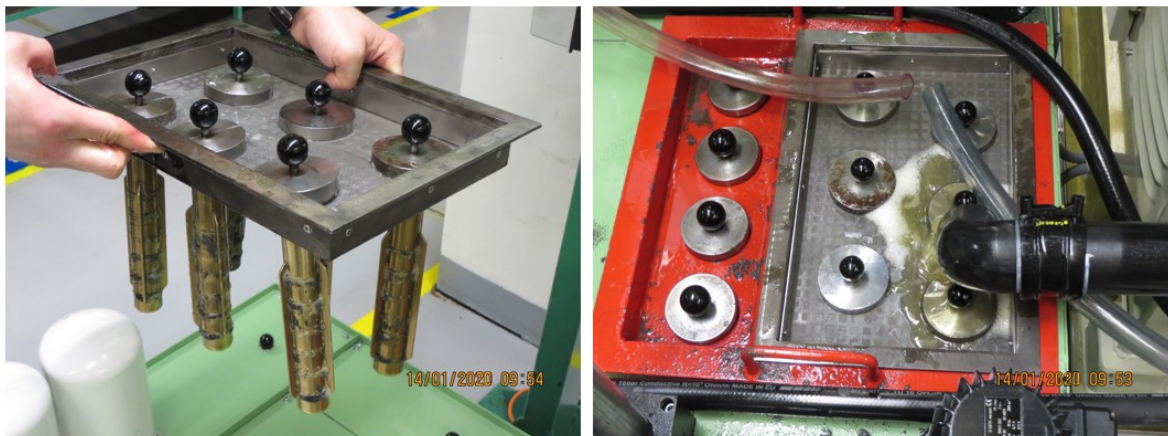
### 7.3.2 Návrhy řešení a jejich realizace

Navrhovaná řešení problému se znečištěnou procesní kapalinou:

- Modifikace stávajícího způsobu filtrace
- Testování jiného druhu filtračních patron
- Změna způsobu filtrace

#### 7.3.2.1 Modifikace stávajícího způsobu filtrace – navýšení počtu magnetických patron

Jako nejjednodušší a nejlevnější navrhované zlepšení, bylo navýšení počtu magnetických patron, které zachytávají brusný kal, vracející se spolu s procesní kapalinou od stroje. V původní konstrukci záchytné nádrže byly navrženy a instalovány 4 záchytné magnetické patrony. Návrhem řešení bylo, navýšit jejich počet na vstupu do nádrže na 10 kusů. Realizace zkoušky nevyžadovala velkou finanční, ani časovou náročnost. Magnetické patrony byly k dispozici skladem a realizace proběhla interně v rámci školicího střediska ve firmě.



Obr. 35 Navýšení počtu magnetických patron [27]

Navrhovaným řešením došlo k nepatrnému zlepšení situace, které však nevedlo k vyřešení problému se sníženým průtokem a problémům se ztrátami na výkonu, kvůli ucpávání filtračních patron.

### 7.3.2.2 Změna typu filtrační patrony

Dalším navrhovaným řešením, byla náhrada stávajícího typu filtračních patron za jiný. Pro test byla vybrána filtrační patrona, která byla k dispozici skladem ve firmě. Jedná se o filtrační patronu, používanou ve firmě na jiném pracovišti, u jiné technologie zpracování.



Obr. 36 Zkoušení filtračních patron [27]

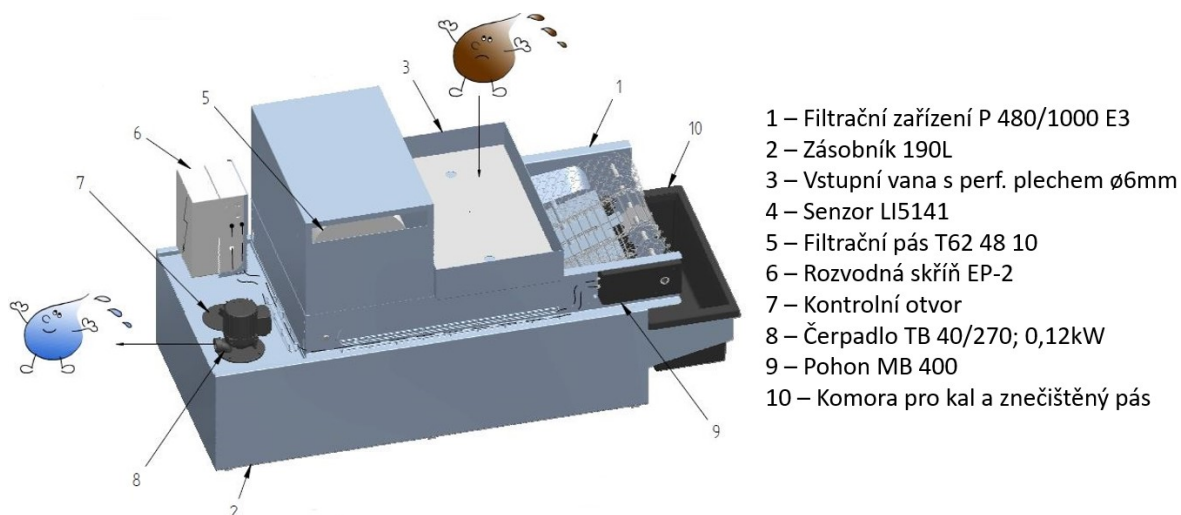
Jak vyplývá z (Tab. 10), s novou filtrační patronou se podařilo snížit četnost čištění a výměn filtračních patron. Po přepočtu na měsíční provoz, vychází z pohledu finančních nákladů použití filtrační patrony Mahle o 25% výhodněji. Z pohledu efektivity pracovníka a stroje se však nejedná o řešení, se kterým by bylo možné se spokojit.

Tab. 10 Porovnání parametrů a nákladů na filtrační patrony [27]

| Parametr                           | Jednotka          | Typ filtrační patrony |                        |
|------------------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
|                                    |                   | Kohler SP 9229 SM10   | Mahle PX36-13-2-MIC 25 |
| Univerzální značení                | -                 | HC 32                 | HC 30                  |
| Filtrační materiál                 | -                 | Skleněné vlákno       | Celulóza               |
| Propustnost                        | [ $\mu\text{m}$ ] | 10                    | 25                     |
| Filtrační plocha                   | [ $\text{cm}^2$ ] | 5 400                 | 9 700                  |
| Jmenovitý tlak                     | [bar]             | 16                    | 16                     |
| Životnost (nový)                   | [hodiny]          | 24                    | 48                     |
| Životnost (propláchnutý)           | [hodiny]          | 8                     | 12                     |
| Cena/ks                            | [Kč]              | 1 275                 | 1 725                  |
| Spotřeba                           | [ks]              | 16                    | 10                     |
| Náklady materiál / měsíc           | [Kč]              | 20 400                | 17 250                 |
| Výměna + čištění / měsíc / četnost | [1]               | 80                    | 50                     |
| Výměna + čištění / měsíc / prostoj | [minuty]          | 1 600                 | 1 000                  |
| Náklady na prostoje / měsíc        | [Kč]              | 20 320                | 12 700                 |
| <b>Náklady celkem / měsíc</b>      | <b>[Kč]</b>       | <b>40 720</b>         | <b>29 950</b>          |

### 7.3.2.3 Změna způsobu filtrace

Nejúčinnějším, avšak z pohledu vstupní investice nejnákladnějším řešením vzniklého problému, je změna způsobu filtrace. Návrhem řešení je pásové filtrační zařízení, které je běžně používáno u podobných typů strojů a technologií obrábění.



Obr. 37 Navržené filtrační zařízení od firmy ARO Bandfilter [27]

### 7.3.3 Realizace

Po nepříliš uspokojivých výsledcích testování jiného druhu filtračních patron a zkoušky s navýšením počtu magnetických patron, se podařilo vedení firmy přesvědčit o řešení se změnou způsobu filtrace, pomocí nového filtračního zařízení. Bylo zakoupeno a instalováno filtrační pásové zařízení od firmy ARO Bandfilter – P480/1000 E3 (Obr. 38).



Obr. 38 Nainstalované filtrační zařízení od firmy ARO Bandfilter [27]

### 7.3.4 Zhodnocení přínosu zavedených opatření

Funkčnost a vhodnost vybraného a instalovaného zařízení se potvrdila prakticky ihned po uvedení do provozu. Podařilo se odbourat prostoje stroje a pracovníků, vzniklé čištěním a výměnami filtračních patron. Kvalita zpracovávané produkce není ohrožována sníženým průtokem, ani obsahem nečistot v procesní kapalině.

Přepočtem a porovnáním nákladů na provoz původním a novým systémem filtrace, byla návratnost vstupní investice spočtena na necelých 8 měsících (Tab. 11) a (Tab. 12).

Tab. 11 Náklady na zavedení pásové filtrace ARO Bandfilter [27]

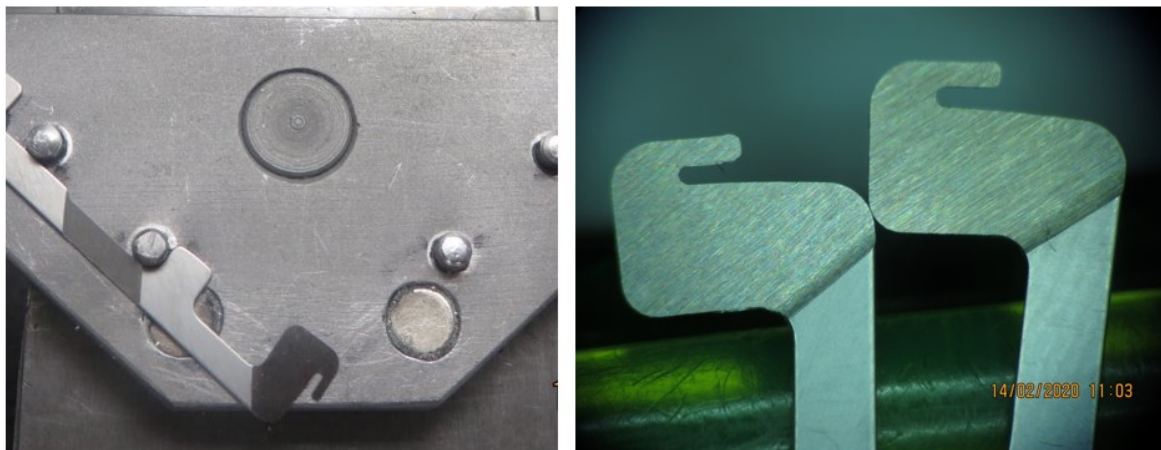
| Náklady na zavedení pásové filtrace ARO Bandfilter |               |                    |                 |                   |                |
|--|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Položka<br>(Náklady za 1.rok provozu)              | Materiál [Kč] | Montáž [Kč/hodina] | Montáž [hodiny] | Cena montáže [Kč] | Náklady [Kč]   |
| Filtrace ARO Bandfilter                            | 163 548       | 630                | 2               | 1 260             | 164 808        |
| Materiál pro instalaci                             | 2 500         | 630                | 8               | 5 040             | 7 540          |
| Filtrační pás (12ks/rok) + prostoje                | 39 288        | 762                | 2               | 1 524             | 40 812         |
| Náklady na údržbu a čištění (rok)                  | 0             | 630                | 5               | 3 150             | 3 150          |
|  |               |                    |                 | <b>Celkem:</b>    | <b>216 310</b> |

Tab. 12 Úspora po zavedení pásové filtrace ARO Bandfilter [27]

| Úspora po zavedení pásové filtrace ARO Bandfilter |               |                                |                                  |                              |                    |
|---|---------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Položka<br>(za 1 rok provozu)                     | Materiál [Kč] | Časový prostož<br>[hodiny/rok] | Náklady pracovník<br>[Kč/hodina] | Náklady stroj<br>[Kč/hodina] | Úspora<br>[Kč/rok] |
| Náklady na filtrační patrony (120ks)              | 183 000       | 0                              | 0                                | 0                            | 183 000            |
| Náklady na prostoje (výměna a čištění)            | 0             | 200                            | 262                              | 500                          | 152 400            |
|   |               |                                |                                  | <b>Celkem:</b>               | <b>335 400</b>     |

## 8 PRACOVNÍ ÚSEK BROUŠENÍ TVRDÝCH DÍLŮ

Na výrobním úseku Broušení tvrdých dílů, jsou výrobky opracovávány technologií rovinného broušení. Polotovary jsou opracovávány ve stavu po tepelném zpracování, tzn. po zakalení a popuštění. Jsou na nich broušeny různé tvary, rádiusy a vylehčení nebo je redukován přídavek materiálu, který už pro další zpracování není nutný. Díly jsou zpracovávány s požadovanou tolerancí přesnosti rozměrů  $\pm 0,01\text{mm}$ . Vzhledem k tomu, že se jedná o technologii rovinného broušení, je výsledný tvar brusu přenášen na výrobek díky brousícímu kotouči. Brousící kotouč je vyvažován pomocí automatického zařízení pro vyvážení kotouče přímo ve stroji. Toto zařízení obsahuje čidlo otáček a vibrací vřetene a elektroniku, která neustále vyhodnocuje data ze zmíněných čidel. Do požadovaného tvaru je orovnan pomocí CNC řízení na orovňovacím diamantovém kole.

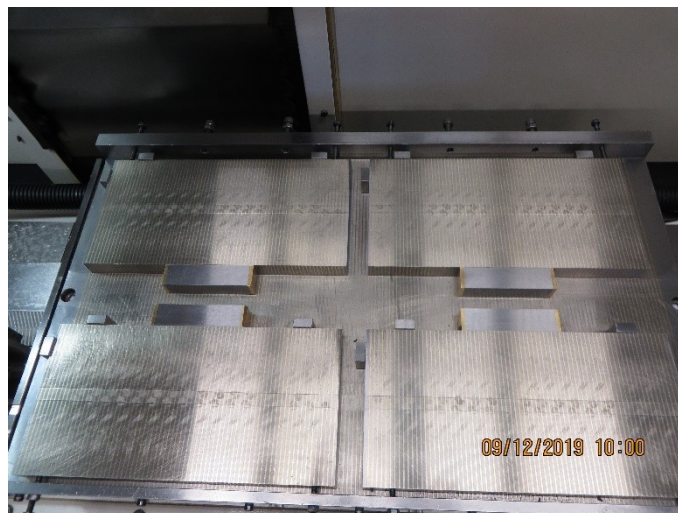


*Obr. 39 Ukázka opracování výrobků na pracovišti Broušení tvrdých dílů [27]*

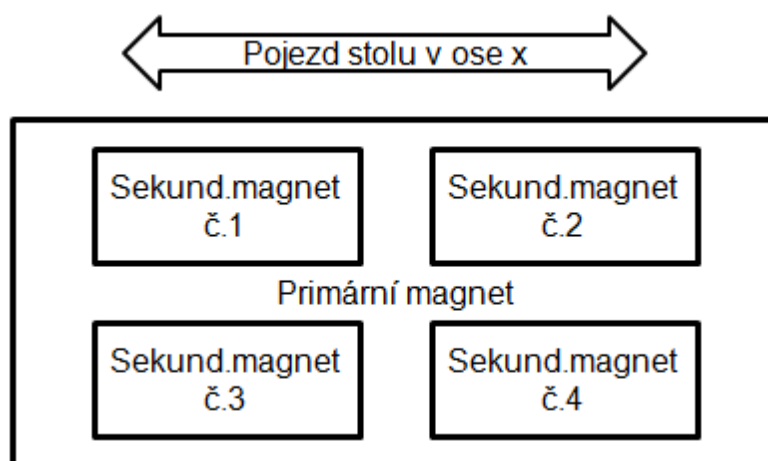
### 8.1 Popis současného stavu pracoviště Broušení tvrdých dílů

Pro zpracování výrobních zakázek je na pracovišti Broušení tvrdých dílů k dispozici 5 CNC brousících strojů pro rovinné broušení od externího dodavatele. Díly jsou k broušení dodávány jako tepelně opracované polotovary a naskládány ve stojanech po dávkách dle tloušťky dílu. Nejsou na strojích zpracovávány po jednotlivých kusech, jako je tomu u broušení dílů za měkka, ale ve větším množství po vsázkách. Jsou naskládány na pozičních šablonách a broušeny na čtyřech sekundárních magnetech, umístěných na magnetu hlavním (*Obr. 40*). V jednom brousícím cyklu je takto obroušeno, dle typů výrobku, 120 - 136ks dílů najednou.





Obr. 40 Uspořádání sekundárních magnetů [27]



Obr. 41 Schematické znázornění principu broušení na pracovišti Broušení tvrdých dílů [27]

Stejně jako u Broušení měkkých dílů, jsou brousící kotouče pro Broušení tvrdých dílů objednávány v mateřském závodě v Německu a jsou zajišťovány jako subdodávka z externích firem. Parametry brousících kotoučů jsou definovány oddělením zodpovědným za konstrukci nástrojů a jsou uvedeny ke každému jednotlivému typu výrobku ve výrobní dokumentaci.

Pracuje se zde v nepřetržitém provozu, v tzv. modelu 24/7. Pro tento pracovní model jsou zapotřebí čtyři směny, pracující v 12hodinových směnách, kdy každá směna je obsazena dvěma seřizovači a jedním pracovníkem obsluhy (Tab. 13).

Tab. 13 Ukázka rozpisu směn na pracovišti Broušení tvrdých dílů [27]

| Březen                            |  | Ne    | Po    | Út    | St    | Čt    | Pá    | So    | Ne    | Po    | Út    | St    | Čt    | Pá    | So    | Ne    | Po    | B<br>Ř<br>E<br>Z<br>E<br>N |
|-----------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|
|                                   |  | 1.3.  | 2.3.  | 3.3.  | 4.3.  | 5.3.  | 6.3.  | 7.3.  | 8.3.  | 9.3.  | 10.3. | 11.3. | 12.3. | 13.3. | 14.3. | 15.3. | 16.3. |                            |
| Seřizovač A/Seřizovač B/Obsluha A |  |       | ranní | ranní |       |       | noční | noční | noční |       |       | ranní | ranní |       |       |       | noční |                            |
| Seřizovač C/Seřizovač D/Obsluha B |  |       | noční | noční |       |       | ranní | ranní | ranní |       |       | noční | noční |       |       |       | ranní |                            |
| Seřizovač E/Seřizovač F/Obsluha C |  | noční |       |       | ranní | ranní |       |       |       | noční | noční |       |       | ranní | ranní | ranní |       |                            |
| Seřizovač G/Seřizovač H/Obsluha D |  | ranní |       |       | noční | noční |       |       |       | ranní | ranní |       |       | noční | noční | noční |       |                            |

| Březen                            |  | Út    | St    | Čt    | Pá    | So    | Ne    | Po    | Út    | St    | Čt    | Pá    | So    | Ne    | Po    | Út    | 2<br>0<br>2<br>0 |
|-----------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
|                                   |  | 17.3. | 18.3. | 19.3. | 20.3. | 21.3. | 22.3. | 23.3. | 24.3. | 25.3. | 26.3. | 27.3. | 28.3. | 29.3. | 30.3. | 31.3. |                  |
| Seřizovač A/Seřizovač B/Obsluha A |  | noční |       |       | ranní | ranní | ranní |       |       | noční | noční |       |       |       | ranní | ranní |                  |
| Seřizovač C/Seřizovač D/Obsluha B |  | ranní |       |       | noční | noční | noční |       |       | ranní | ranní |       |       |       | noční | noční |                  |
| Seřizovač E/Seřizovač F/Obsluha C |  |       | noční | noční |       |       |       | ranní | ranní |       |       | noční | noční | noční |       |       |                  |
| Seřizovač G/Seřizovač H/Obsluha D |  |       | ranní | ranní |       |       |       | noční | noční |       |       | ranní | ranní | ranní |       |       |                  |

### Pracoviště Broušení tvrdých dílů v číslech:

- počet brousících strojů – 5
- počet seřizovačů – 8
- počet pracovníků obsluhy – 4
- roční plán – 6 milionů kusů, z toho 3 miliony se brousí 2krát
- průměrný denní plán – 25 tisíc kusů
- průměrný počet přeseřízení za měsíc – 15
- průměrný čas potřebný pro přeseřízení stroje – 180 minut

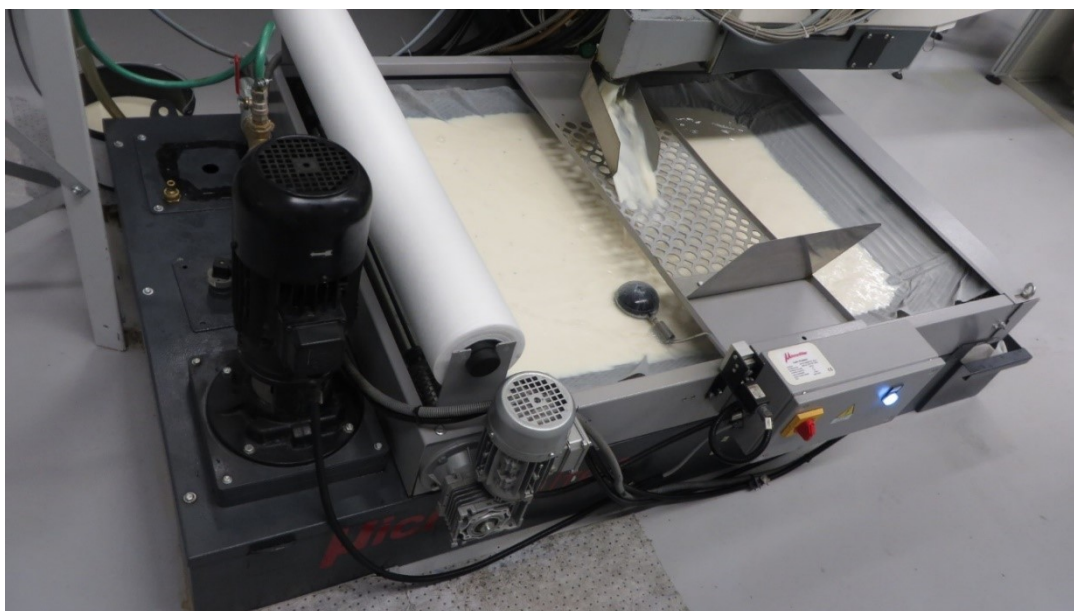
## 8.2 Procesní kapaliny na pracovišti

Jako procesní kapalina se na pracovišti používá chladicí emulze na vodní bázi, sestávající z vody z řádu a vodou mísitelné chladicí a mazací látky Blasocut Kombi, dodávané firmou Blaser Swissslube CZ s.r.o.

### Parametry chladicí a mazací kapaliny Blasocut Kombi:

- Kinematická viskozita (při 40°C): 30mm<sup>2</sup>/s
- Hustota (při 20°C): 960kg/m<sup>3</sup>
- Bod vzplanutí: > 130°C
- Podíl minerálního oleje: 53%
- Podíl vody: 7%
- Možná koncentrace: 3-20% (pro broušení 3-5%)

U každého výrobního stroje je instalováno pásové filtrační zařízení a jedná se tedy ve všech případech o samostatný okruh procesní kapaliny mezi strojem a filtrací (Obr. 42).



Obr. 42 Pásová filtrace Micronfilter Easyband 150 od firmy Fil-Tec Filter [27]

Procesní kapalina je při počátečním naplnění naředěna na 4 % koncentrát. Jednou týdně je pracovníky podle vnitropodnikové směrnice kontrolována (Tab. 14) a v případě potřeby doplněna. Kromě kontrolních měření na pracovišti, podléhají vzorky procesní kapaliny jednou měsíčně kontrole v místní závodní laboratoři a pro ověření správnosti měření jsou také v měsíčním intervalu odesílány ke kontrole do centrální laboratoře.

Tab. 14 Kontrola a péče o vodou mísitelné kapaliny, výňatek z vnitropodnikové normy [27]

| Parametr        | Mezní hodnota  | Četnost měření                     | Metoda  |
|-----------------|--|------------------------------------|---|
| Hodnota pH      | max. odchylka od nové náplně +/- 0,5                             | při plnění, resp. doplnění / týdně | Testovací proužky „KSS-Kombitest“ (SAP-č. 1792000081)   |
| Koncentrace     | Jako u nové náplně (stanoví odpovědný mistr podle údajů výrobce) | při plnění, resp. doplnění / týdně | Nastavitelný ruční refraktometr   |
| Nitrit          | 20 mg/l  | týdně                              | Testovací proužky „KSS-Kombitest“ (SAP-č. 1792000081)   |
| Vzhled a zápach | Žádné nápadné změny  | týdně                              | Vizuální kontrola zbarvení, tvoření pěny nebo usazenin, oddělování emulze, neznámý olej, zvláštní zápach nebo viditelné mikrobiální napadení. |

### 8.3 Problémy se správnou koncentrací emulze

Jak už zmíněno v předchozím odstavci, je koncentrace procesní kapaliny měřena pracovníky při doplnění nové náplně a dále při pravidelných týdenních kontrolách. K měření je používán ruční refraktometr, který je potřeba před každým měřením, dle pokynů výrobce uvedených v technickém listu, kalibrovat. Při provozu dochází často k nesrovnalostem při určování výsledné koncentrace procesní kapaliny. Zjištěné výsledky ne vždy korespondují s výsledky z laboratoře.



Obr. 43 Ruční refraktometr používaný na pracovišti [27]

#### 8.3.1 Analýza výchozí situace

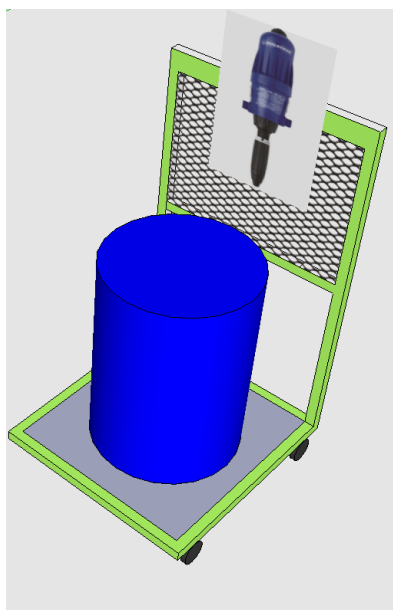
- Koncentrace emulzní látky je zajišťována pracovníky, kteří na strojích pracují
- Kontrola koncentrace se provádí odečtem z ručního refraktometru
- Doplnování kapaliny probíhá 1krát týdně
- Dávkování chladicí kapaliny tzv. „od oka“ z kanystrů – není výrobcem doporučováno z důvodu nestejněměrné koncentrace
- V případě vysoké koncentrace se voda doplňuje také tzv. „od oka“ z vodovodního řádu
- Koncentrace je ovlivňována odparem vody z emulze
- Odběr vzorků pro laboratoř probíhá nahodile – odpar vody zvyšuje koncentraci

### 8.3.2 Návrh řešení

Počátečním návrhem na řešení pro zamezení nesrovnalostí při přípravě a udržování správné koncentrace procesní kapaliny bylo zavést centrální systém pro hospodaření s procesní kapalinou. Jednalo by se o připojení všech strojů na jedno centrální filtrační zařízení, které by bylo umístěno mimo pracovní oblast, v technologické místnosti. Od tohoto návrhu se však ustoupilo, z důvodu nutnosti nemalé investice do nového, kapacitně dostačujícího filtračního zařízení. Dalším důvodem byly zkušenosti kolegů z mateřského závodu s tímto systémem. Minerální emulze mají tu nevýhodu, že způsobují na stěnách trubek vznik tzv. vápenatých mýdel, čímž se zužuje jejich průměr. To může vést k masivnímu problému s kontaminováním procesní kapaliny bakteriemi.

Řešením, pro které jsme se rozhodli, je zautomatizování systému dávkování přivedením vody z řádu ke každému stroji a zavedení opatření pro dávkování koncentráту pomocí dávkovače chladících a mazacích látek:

- Výběr a zakoupení automatického systému pro dávkování chladící a mazací kapaliny
- Otestování dávkovacího zařízení v praxi
- Změna dodávek chladící a mazací kapaliny z kanystrů na sudy
- Zajištění rozvodu vody k jednotlivým strojům
- Návrh a realizace pojízdného vozíku pro manipulaci se sudem a dávkovacím systémem



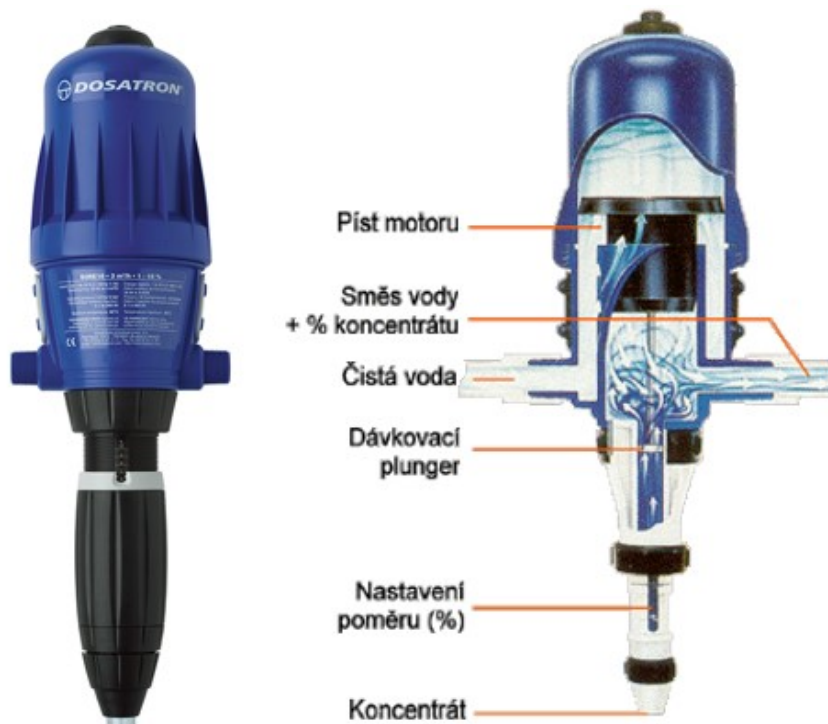
Obr. 44 Předběžný návrh manipulačního vozíku pro dávkovací systém [27]

### 8.3.3 Realizace

Jako dávkovací systém pro automatické dávkování chladicí a mazací kapaliny bylo vybráno zařízení od firmy Dosatron (*Obr. 45*). Jedná se o zařízení, které do vstupní vody přísává pod tlakem koncentrát ze zásobní nádoby, v tomto případě sudu. Požadovaná koncentrace je nastavitelná pomocí mechanického ovladače.

#### 8.3.3.1 Dávkovací zařízení Dosatron D3RE10 – parametry

- Průtok: 10 – 3000 litrů za hodinu
- Připojovací tlak: 0,5 – 6 bar
- Nastavitelná koncentrace 1 – 10%
- Přesné proporcionální dávkování
- Pracuje bez elektrické energie - princip zařízení na bázi hydromotoru
- Přesnost dávkování není závislá na změnách průtoku a tlaku v hlavním potrubí
- Automatické spuštění při průtoku vody
- Externě nastavitelné dávkování



*Obr. 45 Dávkovací zařízení Dosatron D3RE10 [25]*

### 8.3.3.2 Manipulace a dávkovací systém v praxi

Pro zavedení automatického dávkování do praxe byl navržen a zkonstruován manipulační vozík, díky kterému si může pracovník přivést sud s koncentrátem a dávkovačem Dosatron přímo ke stroji (Obr. 46).



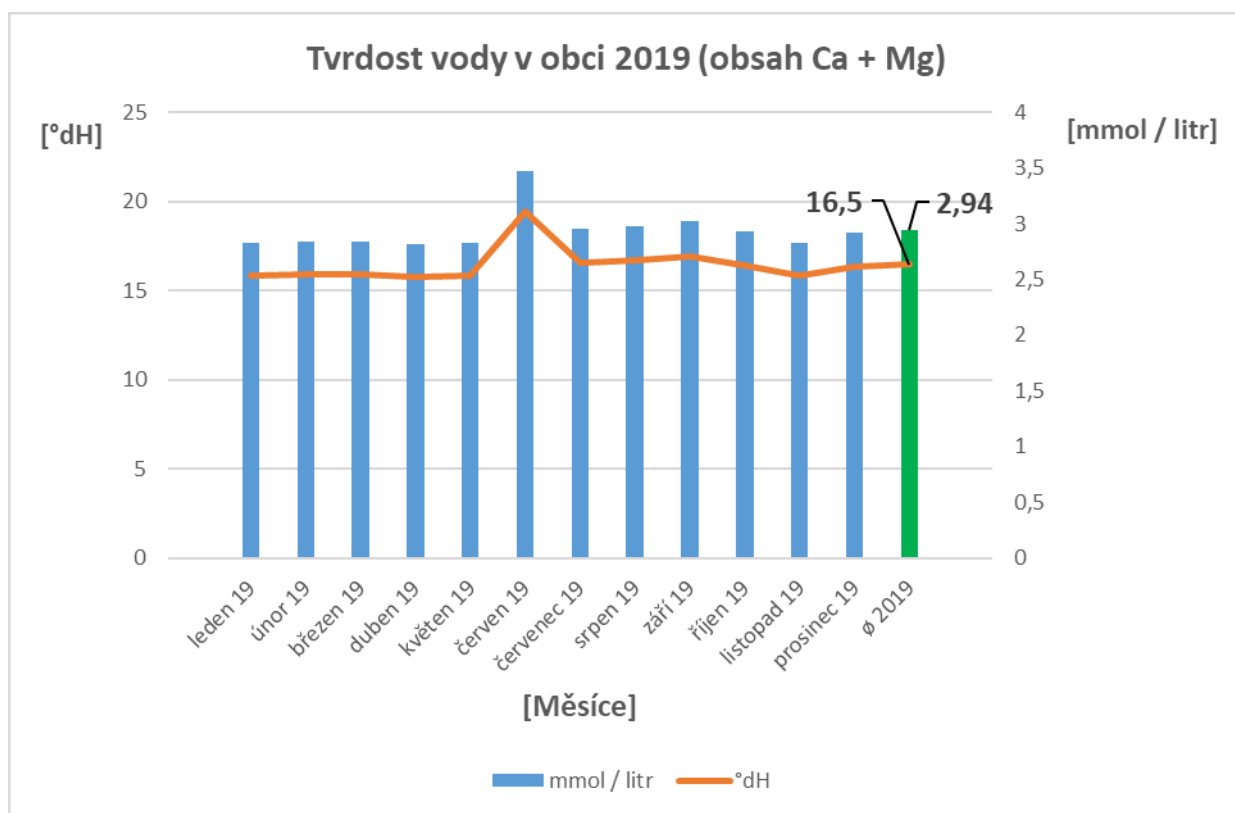
Obr. 46 Realizace manipulačního vozíku [27]

Na každém stroji byla připevněna rychlospojka pro snadné připojení dávkovacího systému (Obr. 47).



Obr. 47 Rychlospojka pro připojení dávkovacího systému [27]

Ke každému stroji byla, pro snadnější manipulaci při dávkování, přivedena voda z řádu. Ze zkušeností z minulosti, se ve firmě pro účely přípravy procesní kapaliny nepoužívá upravená, odvápněná voda. Ta totiž z důvodu nízké tvrdosti způsobuje tvorbu pěny, a proto bylo nutno dodatečně přidávat chemický odpěňovač. Voda z vodovodního řádu má v oblasti, kde firma působí vyhovující tvrdost, pohybující se okolo 2,9mmol/l (Obr. 48), tedy na spodní hranici pro označení tvrdé vody. Což je pro účely, ke kterým je používána dostačující a není ji proto nutno dodatečně upravovat.



Obr. 48 Přehled tvrdosti vody v obci za rok 2019 [26]



### 8.3.4 Zhodnocení přínosu zavedených opatření

Dá se konstatovat, že po 3měsíčním testování se nový systém dávkování osvědčil a byl pracovníky a mistry na oblasti kladně přijat.

Tab. 15 Náklady na zavedení automatického dávkovacího systému [27]

| Náklady na zavedení automatického dávkovacího systému |               |                    |                 |                   |               |
|---|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|---------------|
| Položka   | Materiál [Kč] | Montáž [Kč/hodina] | Montáž [hodiny] | Cena montáže [Kč] | Náklady [Kč]  |
| Dávkovací systém Dosatron D3RE10                      | 25 300        | 480                | 1               | 480               | 25 780        |
| Přívod vody ke strojům                                | 15 600        | 630                | 16              | 10 080            | 25 680        |
| Rychlospojky pro připojení                            | 1 500         | 630                | 3               | 1 890             | 3 390         |
| Manipulační vozík                                     | 2 000         | 480                | 4               | 1 920             | 3 920         |
| <b>Celkem:</b>  |               |                    |                 |                   | <b>58 770</b> |

Tab. 16 Úspora po zavedení automatického dávkovacího systému [27]

| Úspora po zavedení automatického dávkovacího systému |             |                         |                         |                               |                           |                 |
|--|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Položka  | Stroje [ks] | Čas. úspora/stroj [min] | Čas. úspora/týden [min] | Náklady pracovník [Kč/hodina] | Náklady stroj [Kč/hodina] | Úspora [Kč/rok] |
| Práce obsluhy stroje                                 | 5           | 10                      | 50                      | 480                           | 565                       | 45 283          |
| <b>Celkem:</b>                                       |             |                         |                         |                               |                           | <b>45 283</b>   |

Jak vyplývá z (Tab. 15) a (Tab. 16), je teoretická návratnost na zavedení automatického dávkovacího systému přibližně 1,4 roku (17 měsíců), což bylo pro vedení firmy přijatelné a investice byla schválena.

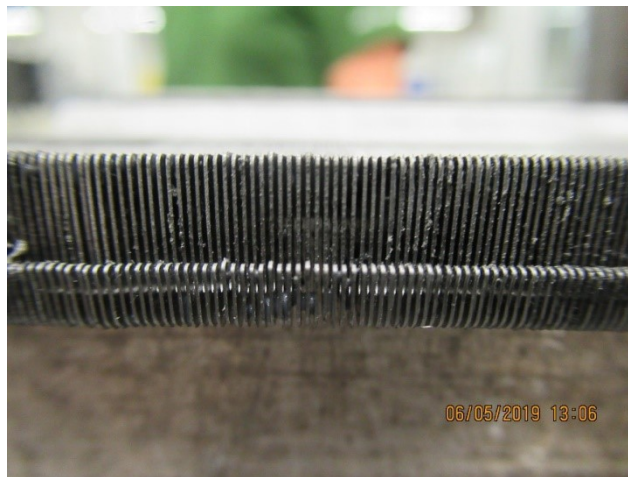
Kromě finanční návratnosti bylo zavedením systému dosaženo:

- Stejněměrné namíchání koncentrace na všech strojích
- Odstranění vlivu lidského faktoru při dávkování chladicí kapaliny tzv. „od oka“ z kanystrů
- Zlepšení manipulace pro pracovníky, zavedením mobilního dávkovacího systému
- Zlepšení manipulace pro pracovníky, nahrazením kanystrů o obsahu 25 litrů, sudy o obsahu 200 litrů
- Úspora produkčního času pracovníka a strojů – 50 minut/týdně

## 8.4 Znečištění procesní kapaliny

Znečištění procesní kapaliny ve formě brusného prachu a kalu, je filtrováno pomocí pásového filtračního zařízení Micronfilter Easyband 150 od firmy Fil-Tec Filter (*Obr. 42*). Filtrace procesních kapalin pomocí filtračních pásů, patří k nejčastějším způsobům filtrace, s poměrně vysokou účinností.

Pro velkou část výrobků, obráběných na pracovišti Broušení tvrdých dílů, je tento způsob čištění dostatečný. Na pracovišti jsou však broušeny i produkty, u kterých jsou nároky na obsah nečistot v kapalině, vracející se po přefiltrování k obrobku, mnohem vyšší. Díky svému tvaru a konstrukci funkčních částí, je jejich znečištění brusným kalem a abrazivními částicemi spojeno s náklady na dodatečné více práce.



*Obr. 49 Znečištění na výrobcích [27]*

Kromě znečištění výrobků, je účinnost odfiltrování nečistot z procesní kapaliny důležitá i pro stroje a jejich příslušenství (*Obr. 50*).



*Obr. 50 Znečištění odsávacího potrubí [27]*

#### 8.4.1 Analýza výchozí situace

- U určité části výrobků vzniká problém s nedostatečnou filtrací procesní kapaliny
- Podíl těchto výrobků vůči celkové produkci na pracovišti v roce 2019 – 3%
- Potřeba více práce – transport, tlakové čištění, skládání
- Náklady na více práce v roce 2019 – 99 692Kč
- Dosahovaná drsnost broušené části vyhovuje výrobním požadavkům
- Neprobíhá rutinní zjišťování obsahu nečistot v procesní kapalině – pouze pro účely zkoušek
- Viditelné znečištění příslušenství stroje

#### 8.4.2 Návrh řešení

Jedním z možných řešení výše uvedeného problému, by mohla být výměna stávajícího filtračního pásu, za filtrační pás s nižší propustností nečistot.

Dalším řešením je dodatečná filtrace přídavným zařízením, podobně jako na pracovišti Frézování.

##### 8.4.2.1 Změna filtračního plátna

Pro filtraci procesní kapaliny se používá filtrační pás z polyesteru od firmy Knoll, s gramáží 100g/m<sup>2</sup>.

##### **Filtrační pás Knoll PN 10/10-1020 – parametry:**

- Materiál: 100% Polyester
- Gramáž: 100g/m<sup>2</sup>
- Tloušťka vrstvy plátna: 1,1mm
- Šířka role: 1020mm
- Délka role: 50m
- Cena: 5 500Kč/ks
- Roční spotřeba 2019: 15ks

V nabídce výrobce je i filtrační pás o tloušťce vrstvy plátna 1,3mm a s tím odpovídající gramáží 150g/m<sup>2</sup>, kterým by mohl být stávající pás nahrazen.

#### **8.4.2.2 *Dodatečná filtrace filtrační patronou***

Dodatečná filtrace procesní kapaliny je řešením, které se osvědčilo u pracoviště Frézování a mohlo by být řešením problému se znečištěním i na pracovišti Broušení tvrdých dílů. Vzhledem k rozdílné povaze technologií a používaných procesních kapalin, je však nutno na problém nahlížet odlišným způsobem.

Pro testování byla vybrána dvě již hotová řešení, dostupná na trhu:

- Filtrační patrona Kohler SP9229 MIC10 (*Obr. 51*)
- Submikronová filtrační patrona Micromag MM10

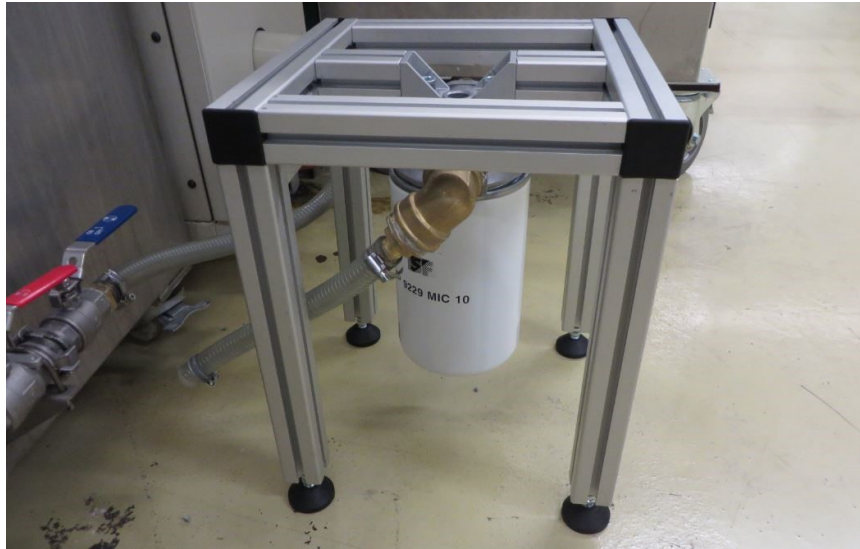
#### **8.4.3 Realizace**

Náhrada filtračního pásu za pás s vyšší gramáží se neukázala jako správné řešení. Podobné testy již byly provedeny v minulosti, kolegy z jiných dceřiných závodů. Neprokázaly uspokojivé výsledky a spolu se zvýšenými náklady na spotřebu filtračních pásů, byly vyhodnoceny jako neuspokojivé. Na základě těchto skutečností a doporučení, bylo od realizace tohoto návrhu upuštěno.

##### **8.4.3.1 *Filtrační patrona Kohler SP9229 MIC10***

Filtrační patrona Kohler SP9229 MIC10 byla vybrána pro počáteční testování, protože je již ve firmě na jiných pracovištích používána a byla ihned pro testování k dispozici. Použití na jiných pracovištích je však u jiné technologie třískového obrábění a s jiným charakterem odpadu, vznikajícím při obrábění.

Po týdenním testování se projevil znatelný pokles tlaku na přívodu procesní kapaliny k obrobku. Filtrační patrona byla ucpaná a bylo nutné ji vyměnit. Vzhledem k velmi nízké životnosti a ceně 1275Kč za kus, nebylo další použití tohoto typu relevantní a test se dá považovat za neúspěšný.



*Obr. 51 Neúspěšný test filtrační patrony Kohler SP9229 Mic10 [27]*

#### **8.4.3.2 Submikronová filtrační patrona Micromag MM10**

Podle údajů výrobce, je předností filtrační patrony Micromag vysoká filtrační účinnost a minimální provozní náklady. Filtrační patrona funguje na principu silných magnetů, které zachytávají kovové částice obsažené v procesní kapalině. Díky konstrukci patrony je umožněno čištění a odpadájí provozní náklady na spotřební materiál. Tím, že kapalina neprotéká přes filtrační médium, není její průtok nijak ovlivněn.



*Obr. 52 Zachycené nečistoty na magnetickém jádru [27]*

**Parametry filtrační patrony Micromag MM10:**

- Průtok: 100litrů/min
- Kapacita zachycených nečistot: 2kg
- Provozní tlak: max. 12bar
- Teplotní rozsah: 5-50°C
- Materiál: plášť ze SAN, víčko z hliníku



*Obr. 53 Nainstalovaná filtrační patrona na stroji [27]*

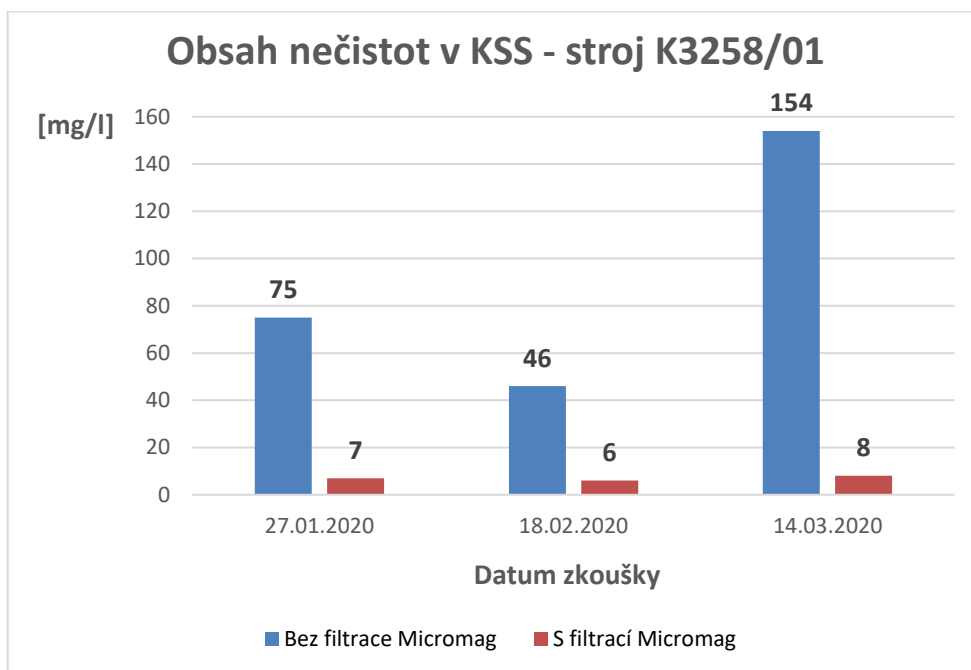


*Obr. 54 Filtrační patrona v provozu [27]*

#### 8.4.4 Zhodnocení přínosu zavedených opatření

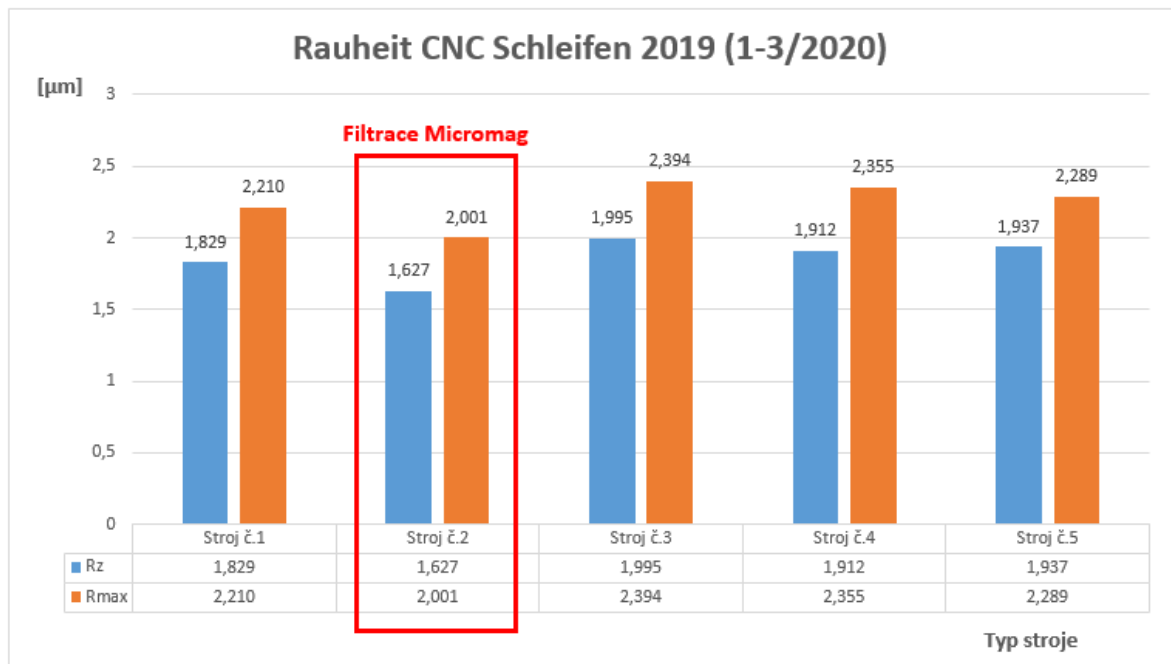
Řešení se submikronovou filtrační patronou se ukázalo jako optimální. Účinnost byla prokázána zpracováním tří zakázek dílů, u kterých byl minulosti problém se znečištěním po broušení, kdy ani u jedné z nich nebylo potřeba provádět opravné více práce.

Také kontrolní měření obsahu nečistot v procesní kapalině ukázala výrazné zlepšení tohoto parametru (*Obr. 55*).



*Obr. 55* Vyhodnocení zkoušek obsahu nečistot před a po filtraci [27]

U stroje s testovaným systémem filtrování došlo ke zlepšení kvality povrchu. Parametr drsnosti obrobenej plochy nebyl původně tím, který bylo potřeba navrhovaným řešením zlepšit. Jedná se ale o užitečný benefit, který umožňuje v budoucnu testy s urychlením procesních časů a tím také úsporu provozních nákladů (*Obr. 56*).



Obr. 56 Vyhodnocení kvality povrchu [27]

Po 3měsíčním testování se dá konstatovat, že se dodatečná filtrace procesní kapaliny osvědčila. S použitím dat, týkajících se nákladů na více práce z roku 2019, byla spočítána teoretická návratnost investice na přibližně 5 měsíců (Tab. 17) a (Tab. 18). S přihlédnutím na poměrně rychlou návratnost investice, bylo zakoupena ještě jedna filtrační patrona a namontována na další stroj. Tím je zajištěna větší flexibilita při plánování a zpracování zmiňovaných, komplikovaných produktů.

Kromě finančního přínosu, s sebou aplikované zlepšení přineslo i vedlejší pozitiva, která mohou být v budoucnosti zúročena:

- Zredukování procesních časů
- Markantní zlepšení kvality povrchu  $R_z$  a  $R_{max}$  o  $0,3\mu m$
- Možné zvýšení životnosti kapaliny
- Možné zvýšení životnosti brousících kotoučů
- Možné zvýšení životnosti orovnávacích nástrojů



Tab. 17 Náklady na instalaci submikronové filtrace [27]

| Náklady na instalaci submikronové filtrace Micromag MM10 |               |                    |                 |                   |               |
|--|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|---------------|
| Položka  | Materiál [Kč] | Montáž [Kč/hodina] | Montáž [hodiny] | Cena montáže [Kč] | Náklady [Kč]  |
| Micromag MM10  | 27 650        | 630                | 0,5             | 315               | 27 965        |
| Připojení filtrace do okruhu                             | 5 500         | 630                | 16              | 10 080            | 15 580        |
| <b>Celkem:</b>   |               |                    |                 |                   | <b>43 545</b> |

Tab. 18 Úspora po instalaci submikronové filtrace [27]

| Úspora po instalaci submikronové filtrace Micromag MM10 |                                  |                                  |                              |                               |
|---|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Položka<br>(Náklady za rok 2019)                        | Časová náročnost<br>[hodiny/rok] | Náklady pracovník<br>[Kč/hodina] | Náklady stroj<br>[Kč/hodina] | Teoretická<br>úspora [Kč/rok] |
| Náklady na více práce - transport                       | 6                                | 432                              | 0                            | 2 592                         |
| Náklady na více práce - tlakové čištění                 | 58                               | 480                              | 150                          | 36 540                        |
| Náklady na více práce - skládání                        | 80                               | 432                              | 325                          | 60 560                        |
| <b>Celkem:</b>  |                                  |                                  |                              | <b>99 692</b>                 |

## 9 SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ PŘÍNOSŮ ZAVEDENÝCH OPATŘENÍ

Na každém pracovním úseku se vyskytovaly problémy (potenciály ke zlepšení), které si zasluhovaly pozornost. Aktivním přístupem seřizovačů, mistrů, technologů a v neposlední řadě vedení firmy, se podařilo navrhnout a zrealizovat řešení, vedoucí k efektivnějšímu výrobnímu procesu, příjemnějšímu pracovnímu prostředí a v budoucnu i finančnímu profitu pro firmu.

Každé navrhované zlepšení, bylo posuzováno dle účinnosti, návratnosti vstupní investice a výpočtu teoretické roční úspory po realizaci.

Tab. 19 Souhrnné zhodnocení přínosů zavedených opatření [27]

| Pracovní úsek         | Řešený problém  | Navrhované zlepšení           | Realizace | Náklady na realizaci [Kč] | Návratnost vstupní investice [Měsíce] | Teoretická roční úspora [Kč]<br>(bez nákladů na vstupní investici) |
|-----------------------|---|-------------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------------------|--|
| Frézování             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Otisky na obrobku</li> <li>Znečištění kapaliny</li> </ul>  | Dodatečná magnetická filtrace | ano       | 73 500                    | 19                                    | 45 320   |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Olejevá mlha</li> <li>Servis měřících přístrojů</li> <li>Zvýšená úrazovost</li> </ul>                                    | Instalace odsávací věže       | ne*       | 205 500                   | 18                                    | 139 098  |
| Broušení měkkých dílů | <ul style="list-style-type: none"> <li>Znečištění kapaliny</li> <li>Snížený průtok</li> <li>Náklady na prostoje</li> </ul>                                      | Počet magnetických patron     | ne        | 216 310                   | 8                                     | 335 400  |
|                       |   | Druh filtrační patrony        | ne        |                           |                                       |  |
|                       |   | Změna způsobu filtrace        | ano       |                           |                                       |  |
| Broušení tvrdých dílů | <ul style="list-style-type: none"> <li>Koncentrace emulze</li> <li>Manipulace s kanystry</li> <li>Vliv lidského faktoru</li> <li>Náklady na prostoje</li> </ul> | Automatický dávkovací systém  | ano       | 58 770                    | 17                                    | 45 283   |
|                       |   | Změna filtračního plátna      | ne        | 43 545                    | 5                                     | 99 692   |
|                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Znečištění kapaliny</li> <li>Znečištění výrobků</li> <li>Náklady na více práce</li> </ul>                                | Dodatečná magnetická filtrace | ano       |                           |                                       |  |

\* realizace schválena, v době odevzdání diplomové práce ještě nerealizováno

## ZÁVĚR

Věřím, že se mi podařilo naplnit všechny cíle diplomové práce. Při jejím zpracování na pracovních úsecích, využívajících ke svému provozu procesní kapaliny, bylo navrženo několik změn a vylepšení, které se následně podařilo úspěšně zrealizovat.

V některých případech se podařilo navrhnout a zrealizovat řešení, vedoucí k zjednodušení výrobního procesu, jiná vedla k příjemnějšímu a bezpečnějšímu pracovnímu prostředí pro zaměstnance. Všechna navržená a zrealizovaná opatření mají však jednoho společného jmenovatele. Povedou do budoucna ke snížení nákladů na výrobní proces a tím také k posílení konkurenceschopnosti a pozice firmy na trhu.

Opět se mi potvrdilo, že potenciály ke zlepšení jsou všude kolem nás. Jen je potřeba se neuspokojit s aktuální situací, oprostít se od zažitých stereotypů a zkusit se na věci kolem sebe podívat jiným pohledem.

Prací na projektech jsem zjistil, jak důležitými nástroji jsou dobré zmapování a analýza výrobního procesu. Správné zachycení vstupní situace a schopnost naslouchat požadavkům zaměstnanců a vedení firmy, vede k rozhodnutí, která jsou přínosem pro všechny zúčastněné.

Budu rád, když se zrealizovaná zlepšení na pracovištích stanou standardem, inspirací a odrazovým můstkem pro další zlepšování.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [2] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [3] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles cz, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [4] TSCHÄTSCH, Heinz. *Applied machining technology*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [5] ŠIMÁNEK, Milan. *Enviromentalizace řezného procesu a obrábění za sucha, MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, roč. 2004, č. 4, ISSN 1212-2572 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/enviromentalizace-rezneho-procesu-a-obrabeni-za-sucha.html>
- [6] VASILKO, Karol a Jan MÁDL. *Teorie obrábění*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2012, 2 sv. (298 s., s. 303-526). ISBN 978-80-7414-459-2.
- [7] ČILLIKOVÁ, Mária, Jozef PILC a Jan MÁDL. *Top trendy v obrábění - VI. část - Procesné médiá (příručka)*. Žilina: MEDIA/ST, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-969789-3-9.
- [8] OBERG, Erik, Franklin Day JONES, Holbrook Lynedon HORTON, Henry H. RYFFEL a Christopher J. MCCAULEY. *Machinery's handbook: a reference book for the mechanical engineer, designer, manufacturing engineer, draftsman, toolmaker, and machinist*. 30th edition. SouthNorwalk: IndustrialPress, 2016, XI, 2883 s. ISBN 978-0-8311-3092-3.
- [9] TOTTEN, George a Robert W. BRUCE. *Handbook of lubrication and tribology*. 2nd ed. Boca Raton, CRC Press, 2012. ISBN 978-1-4200-6908-2.
- [10] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [11] HUMÁR, Anton. *Technologie I, Technologie obrábění – 1. část*. [online]. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění [online], 2003, [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)

- [12] SCHMIDT, Jan, Andreas HÜHSAM a Martin DYCK. *Technologienetz Trockenbearbeitung - Wege zur angewandten Trockenbearbeitung in der Produktion*. Dortmund: Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Berichte 1532, (s. 229-245), 2000. ISSN 0083-5560
- [13] JERSÁK, Jan a Alexey POPOV. *Ekologické obráběcí kapaliny nové generace*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, 88 s. ISBN 978-80-7494-142-9.
- [14] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
- [15] Broxtec s.r.o. *Dopravníky třísek – pásové*. [online], 2020, [cit. 2020-01-14]. Dostupné z: <http://www.broxtec.cz/page/67983.pasove-dopravniky-trisek/>
- [16] Broxtec s.r.o. *Dopravníky třísek – pásové*. [online], 2020, [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <http://www.broxtec.cz/page/68402.filtracni-stance-broxfil-fs/>
- [17] IFE Processing Technology CZ. *Magnetický bubnový separátor*. [online], 2020, [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://www.ife-bulk.com/cs/Magnetick%C3%A1-technika/magneticky-bubnovy-separator.html>
- [18] TRIBOLÓGIA. Separování úkapového oleje z emulze. : *TRIBOLÓGIA* : [online], 2008, [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42015/separovani-ukapoveho-oleje-z-emulze.html>
- [19] Techmagazín.cz. *Zdravotní a bezpečnostní hlediska obráběcích kapalin a jejich používání* [online], 2010, [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/1135>
- [20] STIESS, Matthias. *Mechanische Verfahrenstechnik 2*, Berlín: Springer, 2001. ISBN 978-35-4055-852-1.
- [21] Principy filtrace – Wemac. *Wemac – Odsávání a filtrace olejových a emulzních aerosolů, mlhovin a prachu* [online], 2020, [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.wemac.cz/principy-filtrace/principy-filtrace/>
- [22] KOCMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek: Svazek 7. Obrábění*. Praha, Dashöfer, 2001. ISBN 80-902247-2-5.

- [23] BAUMANN, Werner a Bettina HERBERG-LIEDTKE. *Chemikalien in der Metallbearbeitung: Daten und Fakten zum Umweltschutz*. Berlin: Springer-Verlag, 2013, 1616 s. ISBN 978-3-642-64651-5.
- [24] KLEBER, Marcus. *Kühlschmierstoffe: Analytisch-chemische Charakterisierung und Untersuchungen zur mutagenen Wirkung*, 2000. PhD Thesis. Dissertation. Universität Dortmund, Dortmund.
- [25] DOSATRON, *Water-powered proportional dosing pumps manufacturer since 1974*. [online], 2019, [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.dosatron.com/en>
- [26] Vodovody a kanalizace Hodonín, a.s., *Rozbory vody v obcích podle období* [online], 2019, [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: [http://www.vak-hod.cz/?page\\_id=1929](http://www.vak-hod.cz/?page_id=1929)
- [27] Podklady firmy, ve které probíhala optimalizace pracoviště.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|           |  |
|-----------|--|
| °dH       | Jednotka tvrdosti vody / Německý stupeň tvrdosti vody.                                   |
| CNC       | Computer Numeric Control / Počítačové řízené ovládání.                                   |
| $d_{ae}$  | Aerodynamic Diameter / Aerodynamický průměr.   |
| DNA       | Deoxyribonucleic Acid / Deoxyribonukleová kyselina.                                      |
| mmol/kg   | Jednotka peroxidového čísla / Miliekvivalent aktivního kyslíku na 1kg tuku.              |
| mmol/l    | Jednotka tvrdosti vody / Miliekvivalent obsahu vápníku a hořčíku na 1litr vody.          |
| NDELA     | N-Nitrosodiethanolamine / N-Nitrosodiethanolamin.  |
| PAH       | Polyaromatic Hydrocarbons / Polycyklické aromatické uhlovodíky.                          |
| POZ       | Peroxidzahl / Peroxidové číslo.  |
| ppm       | Parts per milion / Počet částic na milion.   |
| $R_{max}$ | Maximální výška profilu / Rozdíl mezi maximem a minimem profilu drsnosti.                |
| $R_z$     | Výška nerovnosti profilu / Průměrná hodnota z 5 maxim a 5 minim profilu křivky drsnosti. |
| SAN       | Styrenakrylonitril / Kopolymer styrenu.  |

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

|  |    |
|--|----|
| <i>Obr. 1 Chladicí a mazací účinek procesních kapalin na řezný proces [1]</i> .....              | 15 |
| <i>Obr. 2 Účinky provozních kapalin [5]</i> .....  | 18 |
| <i>Obr. 3 Náklady na obráběcí proces [12]</i> .....  | 19 |
| <i>Obr. 4 Ruční (vlevo) a digitální (vpravo) refraktometry [27]</i> .....                        | 28 |
| <i>Obr. 5 Indikační papírky pro stanovení hodnoty pH [27]</i> .....                              | 29 |
| <i>Obr. 6 Schematické znázornění sedimentační filtrace [20]</i> .....                            | 30 |
| <i>Obr. 7 Uspořádání filtru a čerpadla u tlakové a podtlakové filtrace [20]</i> .....            | 31 |
| <i>Obr. 8 Magnetický filtr IFE Processing Technology CZ [17]</i> .....                           | 32 |
| <i>Obr. 9 Tkaninový pásový filtr Broxfil FS [16]</i> .....                                       | 33 |
| <i>Obr. 10 Dopravník třísek od firmy Broxtec s.r.o. [15]</i> .....                               | 34 |
| <i>Obr. 11 Separátor úkapového oleje z hladiny procesní kapaliny [27]</i> .....                  | 35 |
| <i>Obr. 12 Separátor úkapového oleje FT-SOE 4 [18]</i> .....                                     | 36 |
| <i>Obr. 13 Dvoukomorový elektrostatický filtr od firmy Bristol [21]</i> .....                    | 38 |
| <i>Obr. 14 Aplikace filtračního separátoru od firmy Filtermist International Ltd. [21]</i> ..... | 39 |
| <i>Obr. 15 Princip funkce filtrační věže s aktivními prvky od firmy Absolent AB [21]</i> .....   | 40 |
| <i>Obr. 16 Porovnání dlouhodobé účinnosti filtračních systémů [21]</i> .....                     | 40 |
| <i>Obr. 17 Příklady využití výrobků v textilním průmyslu [27]</i> .....                          | 45 |
| <i>Obr. 18 Ukázky opracování výrobku na pracovišti Frézování [27]</i> .....                      | 48 |
| <i>Obr. 19 Řezný olej používaný na pracovišti Frézování [27]</i> .....                           | 50 |
| <i>Obr. 20 Filtrační zařízení Knoll PF 1200 [27]</i> .....                                       | 50 |
| <i>Obr. 21 Otisky od třísek na výrobku [27]</i> .....  | 51 |
| <i>Obr. 22 Aparatura pro laboratorní zjišťování obsahu nečistot v oleji [27]</i> .....           | 52 |
| <i>Obr. 23 Ucpaný díl rozvodu procesní kapaliny třískami [27]</i> .....                          | 54 |
| <i>Obr. 24 Rychlý test znečištění procesní kapaliny [27]</i> .....                               | 54 |
| <i>Obr. 25 Magnetický filtr pro dodatečnou filtraci [27]</i> .....                               | 55 |
| <i>Obr. 26 Výstřižek z výkresové dokumentace [27]</i> .....                                      | 57 |
| <i>Obr. 27 Znečištěné měřidlo působením aerosolu [27]</i> .....                                  | 59 |
| <i>Obr. 28 Kondenzace oleje na stroji [27]</i> .....   | 59 |
| <i>Obr. 29 Kondenzace oleje na vzduchotechnice [27]</i> .....                                    | 60 |
| <i>Obr. 30 Odsávací věž 3Nine Lova 900 [27]</i> .....  | 61 |
| <i>Obr. 31 Ukázky opracování výrobku na pracovišti Broušení měkkých dílů [27]</i> .....          | 63 |
| <i>Obr. 32 Znečištěná (a) a čistá (b) magnetická patrona [27]</i> .....                          | 65 |



|  |    |
|--|----|
| <i>Obr. 33 Záchytná nádrž procesní kapaliny u konvenčních strojů [27]</i> .....                        | 66 |
| <i>Obr. 34 Záchytná nádrž s filtračními patronami [27]</i> .....                                       | 67 |
| <i>Obr. 35 Navýšení počtu magnetických patron [27]</i> .....   | 68 |
| <i>Obr. 36 Zkoušení filtračních patron [27]</i> .....  | 69 |
| <i>Obr. 37 Navržené filtrační zařízení od firmy ARO Bandfilter [27]</i> .....                          | 70 |
| <i>Obr. 38 Nainstalované filtrační zařízení od firmy ARO Bandfilter [27]</i> .....                     | 70 |
| <i>Obr. 39 Ukázka opracování výrobků na pracovišti Broušení tvrdých dílů [27]</i> .....                | 72 |
| <i>Obr. 40 Uspořádání sekundárních magnetů [27]</i> .....  | 73 |
| <i>Obr. 41 Schematické znázornění principu broušení na pracovišti Broušení tvrdých dílů [27]</i> ..... | 73 |
| <i>Obr. 42 Pásová filtrace Micronfilter Easyband 150 od firmy Fil-Tec Filter [27]</i> .....            | 75 |
| <i>Obr. 43 Ruční refraktometr používaný na pracovišti [27]</i> .....                                   | 76 |
| <i>Obr. 44 Předběžný návrh manipulačního vozíku pro dávkovací systém [27]</i> .....                    | 77 |
| <i>Obr. 45 Dávkovací zařízení Dosatron D3RE10 [25]</i> .....   | 78 |
| <i>Obr. 46 Realizace manipulačního vozíku [27]</i> .....   | 79 |
| <i>Obr. 47 Rychlospojka pro připojení dávkovacího systému [27]</i> .....                               | 79 |
| <i>Obr. 48 Přehled tvrdosti vody v obci za rok 2019 [26]</i> .....                                     | 80 |
| <i>Obr. 49 Znečištění na výrobcích [27]</i> .....  | 82 |
| <i>Obr. 50 Znečištění odsávacího potrubí [27]</i> .....  | 82 |
| <i>Obr. 51 Neúspěšný test filtrační patrony Kohler SP9229 Mic10 [27]</i> .....                         | 85 |
| <i>Obr. 52 Zachycené nečistoty na magnetickém jádru [27]</i> .....                                     | 85 |
| <i>Obr. 53 Nainstalovaná filtrační patrona na stroji [27]</i> .....                                    | 86 |
| <i>Obr. 54 Filtrační patrona v provozu [27]</i> .....  | 86 |
| <i>Obr. 55 Vyhodnocení zkoušek obsahu nečistot před a po filtraci [27]</i> .....                       | 87 |
| <i>Obr. 56 Vyhodnocení kvality povrchu [27]</i> .....  | 88 |

**SEZNAM TABULEK**

|  |    |
|--|----|
| <i>Tab. 1 Vybrané vlastnosti vody a minerálního oleje [9] .....</i>                                      | 21 |
| <i>Tab. 2 Ukázka rozpisu směň na pracovišti Frézování [27] .....</i>                                     | 49 |
| <i>Tab. 3 Statistika obsahu nečistot v procesní kapalině pro Frézování [27] .....</i>                    | 53 |
| <i>Tab. 4 Náklady na zavedení dodatečné magnetické filtrace [27] .....</i>                               | 56 |
| <i>Tab. 5 Úspora po zavedení dodatečné magnetické filtrace [27] .....</i>                                | 56 |
| <i>Tab. 6 Přehled pracovních úrazů 2019 [27] .....</i>   | 60 |
| <i>Tab. 7 Náklady na instalaci odsávací věže 3Nine Lova 900 [27] .....</i>                               | 62 |
| <i>Tab. 8 Teoretická úspora po instalaci odsávací věže 3Nine Lova 900 [27] .....</i>                     | 62 |
| <i>Tab. 9 Ukázka rozpisu směň na pracovišti Broušení měkkých dílů [27] .....</i>                         | 64 |
| <i>Tab. 10 Porovnání parametrů a nákladů na filtrační patrony [27] .....</i>                             | 69 |
| <i>Tab. 11 Náklady na zavedení pásové filtrace ARO Bandfilter [27] .....</i>                             | 71 |
| <i>Tab. 12 Úspora po zavedení pásové filtrace ARO Bandfilter [27] .....</i>                              | 71 |
| <i>Tab. 13 Ukázka rozpisu směň na pracovišti Broušení tvrdých dílů [27] .....</i>                        | 74 |
| <i>Tab. 14 Kontrola a péče o vodu mísitelné kapaliny, výňatek z vnitropodnikové<br/>normy [27] .....</i> | 75 |
| <i>Tab. 15 Náklady na zavedení automatického dávkovacího systému [27] .....</i>                          | 81 |
| <i>Tab. 16 Úspora po zavedení automatického dávkovacího systému [27] .....</i>                           | 81 |
| <i>Tab. 17 Náklady na instalaci submikronové filtrace [27] .....</i>                                     | 89 |
| <i>Tab. 18 Úspora po instalaci submikronové filtrace [27] .....</i>                                      | 89 |
| <i>Tab. 19 Souhrnné zhodnocení přínosů zavedených opatření [27] .....</i>                                | 90 |

**SEZNAM PŘÍLOH**

|  |            |
|--|------------|
| <i>Příloha P I : Protokol o měření chladících a mazacích látek mísitelných vodou .....</i> | <i>100</i> |
| <i>Příloha P II: Protokol o měření zátěže aerosoly v ovzduší .....</i>                     | <i>101</i> |

PŘÍLOHA P I : PROTOKOL O MĚŘENÍ CHLADICÍCH  
A MAZACÍCH LÁTEK MÍSITELNÝCH VODOU**Protokol o měření chladicích a mazacích látek vodou mísitelných**

|   |             |   |
|---|-------------|---|
| Označení stroje                             |             | Faktor refraktometru                                |
| Číslo stroje/místo                          |             | Odpovědná osoba                                     |
| Hodnota pH nové náplně                      | vždy uvést! | Použitá voda (městská voda / Demineralizovaná)      |
| Označení chladicí a mazací látky            |             | Voda pro doplnění (městská voda / Demineralizovaná) |
| / Předepsaná hodnota koncentrace náplně [%] |             | Objem náplně [l]                                    |

| Datum měření         | Kontrolor | Datum plnění | Nitrid [ppm]   | Hodnota pH      | / Koncentrace [%] | Poznámky                          |
|----------------------|-----------|--------------|----------------|-----------------|-------------------|-----------------------------------|
| <i>mezni hodnota</i> |           |              | <i>max. 20</i> | <i>viz níže</i> | <i>viz výše</i>   | (např. změny v zápachu a vzhledu) |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |
|                      |           |              |                |                 |                   |                                   |

► **Detailní mezni hodnoty viz formulář „předepsané týdenní rutinní prohlídky chladicích a mazacích látek vodou mísitelných (TRGS 611)”**

Osoba odpovědná za chladicí a mazací látky:

GBCZ – České Budějovice: O. Janouch, 15 437, R. Harsa, 15 457, P. Junek, 15 431

GBCZ – Lužice: K. Koss, 16 452

GBCZ – Valašské Klobouky:

**Závodní lékař:**

GBCZ – České Budějovice: MUDr. M. Pavlásek, 387 411 287

GBCZ – Lužice: MUDr. R. Pernicová 518 315 673, MUDr. H. Výmolová 518 357 238

GBCZ – Valašské Klobouky: MUDr. MUDr. L. Kadlec 577 042 162

E-LCA / Salk.01.06.2010

Protokoll\_KSS\_cz.doc

Mezni hodnota pH  
Hodnota pH může poklesnout oproti pH nové náplně  
maximálně o 0,5 jednotky.

# PŘÍLOHA P II: PROTOKOL O MĚŘENÍ ZÁTĚŽE AEROSOLY V OVZDUŠÍ

Zentralbereich Entwicklung  
Zentrallabor

Corporate Engineering  
Labor Chemie

**Journal oil- mist and oil- vapor in the air (hydrocarbons, HC)**  
through adsorption on XAD2- resin

Terms of measurements

|                                      |  |  |
|--------------------------------------|--|--|
| Building / floor                     | H1 / GF  | H1 / GF  |
| Department                           | K-P31  | K-P31  |
| Production area                      | Profiling  | Milling  |
| Checkpoint / position No of machines | 2-6 / 1-5  | 1-3 / 4-2  |
| N° of machines / machines running    | 8 / 6  | 11 / 6   |
| Date [dd.mm.yyyy]                    | 12.11.2019   | 12.11.2019   |
| Start- time                          | 10:30  | 12:45  |
| Stop- time                           | 12:30  | 14:45  |
| Duration [minutes]                   | 120  | 120  |
| Flow (on Flow Meter) [L/min]         | 3  | 3  |
| Flow real (Hysteresis curve) [L/min] | 3,5  | 3,5  |
| Volume of the real air amount [L]    | 420  | 420  |
| Lufttemperatur [°C]                  | 24,8   | 24,7   |
| Air humidity [%rH]                   | 30,1   | 29,1   |
| Weather outside                      | Cloudy   | Cloudy   |
| Windows                              | <input type="checkbox"/> open <input checked="" type="checkbox"/> closed | <input type="checkbox"/> open <input checked="" type="checkbox"/> closed |
| Test tube- N°                        | 5 Profil   | 6 Fräsen   |
| Device                               | IMG 5399   | IMG 5399   |
| Person responsible                   | O. Blaha   | O. Blaha   |
| Distance of measuring point          | 1,5 m  | 1 m  |
| Height of measuring point            | 1,5 m  | 1,5 m  |
| Empty field for overview- drawing    | Compound 6602  | Compound 6602  |

**Results**

|  |             |             |
|--|-------------|-------------|
| main zone.: Mass of the resin [g]              | 0,5435      | 0,5438      |
| Hauptz.: Vol. Per z. Extrakt. [ml]             | 15          | 15          |
| main zone.: Result [mg HC / m³]                | 1523,9      | 1571,4      |
| sec. zone.: Mass of the resin [g]              |             |             |
| sec. z.: Volume Per f. extract. [ml]           |             |             |
| Nebenz.: Resultat [mg KW / m³]                 | 107,2       | 99,9        |
| <b>Result (sum of both zones) [mg HC / m³]</b> | <b>2,00</b> | <b>2,06</b> |