



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**VYHODNOCENÍ KONTAMINACE  
PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ AEROSOLY  
ŘEZNÝCH KAPALIN PŘI SOUSTRUŽENÍ KOVŮ**

EVALUATION OF CUTTING FLUIDS AEROSOL CONTAMINATION OF WORKING  
ENVIRONMENT DURING METAL TURNING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Svetozár Svoboda

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

BRNO 2017



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Bc. Svetozár Svoboda</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	<b>Ing. Luboš Kotek, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2016/17

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

## **Vyhodnocení kontaminace pracovního prostředí aerosoly řezných kapalin při soustružení kovů**

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

Významným faktorem pracovního prostředí při obrábění kovů na strojích bez dostatečného krytování je zasažení pracovního prostředí aerosolem řezných kapalin. Ten ohrožuje zdraví pracovníků, zejména působením chemických a biologických vlivů. Měření a vyhodnocení rozptylu aerosolu řezných kapalin je proto velmi významný úkol pro zlepšení ochrany zdraví pracovníků ve strojírenských výrobcích.

### **Cíle diplomové práce:**

Rešerše problematiky kontaminace pracovního prostředí kapalnými aerosoly při soustružení kovů.

Popis metod měření a vyhodnocení, jejich výhod a nevýhod.

Příprava algoritmu pro analýzu záznamu rozptylu aerosolu vysokorychlostní kamerou.

Vyhodnocení naměřených dat.

Formulace závěrů a doporučení.

### **Seznam doporučené literatury:**

ASTAKHOV, Viktor a Stefan JOKSCH. Metalworking fluids (MWFs) for cutting and grinding: fundamentals and recent advances. Philadelphia: Woodhead Pub., 2012.

HNILICA, Richard, Miroslav DADO a Marián SCHWARZ. Kontaminácia pracovného ovzdušia kvapalnými aerosolmi pri sústružení kovov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2013.

HSE MDHS 95/3. Measurement of personal exposure of metalworking machine operators to airborne water-mix metalworking fluid. London: Health and Safety Executive, 2014.

KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.

KOTEK, Luboš, at. al. Effects of a Cutting Fluid on Aerosol Size Distribution during Turning. Manufacturing TECHNOLOGY, 2015, roč. 13, č. 3, s. 367-373.

SEMANOVÁ, Petra. Výskum procesu generovania disperzie aerosólu v pracovnom ovzduší pri obrábání kovov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2015.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práca sa zaoberá kontamináciou pracovného prostredia kvapalným aerosólom, ktorý vzniká rozptylom, vyparovaním procesnej kvapaliny do ovzdušia. Procesné kvapaliny majú slúžiť hlavne na mazanie, chladenie a čistenie nástroja a obrobku, no neželanou vedľajšou vlastnosťou je aj vznik kvapalného aerosólu, ktorý sa drží v ovzduší pracovného priestoru. V takto kontaminovanom pracovnom prostredí je obsluha vystavená určitej dávke kvapalného aerosólu, ktorý spôsobuje dermatologické a respiračné zdravotné ťažkosti. Cieľom diplomovej práce preto bolo zistenie počtu častíc kvapalného aerosólu, ktorý vznikne za meniacich sa pracovných podmienok (zmena otáčok vretena a prietoku chladiacej kvapaliny) a jeho rozptýlenie v priestore. Toto množstvo bolo zistené obrazovou analýzou za pomoci vysokorýchlostnej kamery.

## **ABSTRACT**

The thesis deals with the contamination of the workspace with a liquid aerosol, which is generated by scattering and evaporation of the cooling fluid. Cooling fluid are primarily intended to lubricate, cool and clean the tool and the workpiece, but the unwanted side effect is the formation of a liquid aerosol that holds in the air of the workspace. In such a contaminated work environment, the operator is exposed to a certain dose of a liquid aerosol that causes dermatological and respiratory problems. The topic of the thesis was to find out the number of particles of liquid aerosol that arises under varying working conditions and its dispersion in space. This amount was determined by image analysis using a high-speed camera.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

aerosól, hmotnostná koncentrácia, distribučná veľkosť častíc, pracovné prostredie, kontaminácia

## **KEYWORDS**

Aerosol, analysis of particle size, distribution of particle size, contamination, work space



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

Svoboda, S. *Vyhodnotenie kontaminácie pracovného prostredia, aerosóly řezných kvapalín pri sústružení kovov*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 61 s., Vedúci diplomovej práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D.





## **POĎAKOVANIE**

Chcel by som poďakovať mojej rodine za podporu počas celého štúdia, vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Lubošovi Kotekovi, Ph.D za cenné pripomienky a odborné rady pri štúdiu.



## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že táto diplomová práca je mojím pôvodným dielom a spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Luboša Koteka, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 26.05.2017

.....

Bc. Svetozár Svoboda



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY</b> .....	<b>17</b>
2.1	Sústruženie .....	17
2.2	Rezné kvapaliny, súčasný stav riešenej problematiky .....	18
2.3	Vlastnosti rezných kvapalín .....	18
2.4	Klasifikácia rezných kvapalín .....	21
2.5	Výber reznej kvapaliny .....	23
<b>3</b>	<b>ZDRAVOTNÉ RIZIKÁ PRI POUŽITÍ REZNÝCH KVAPALÍN</b> .....	<b>25</b>
3.1	Respiračné účinky .....	27
3.2	Dermatologické účinky .....	29
3.3	Ochranné opatrenia .....	30
<b>4</b>	<b>TVORBA KVAPALNÉHO AEROSÓLU</b> .....	<b>33</b>
4.1	Atomizácia rozstrekom .....	33
4.2	Rotačná atomizácia .....	33
4.3	Evaporácia/kondenzácia .....	34
<b>5</b>	<b>METÓDY MERANIA KVAPALNÝCH AEROSÓLOV</b> .....	<b>35</b>
5.1	Gravimetrická metóda .....	35
5.2	Spektroskopická metóda .....	35
5.3	Elektrostatické odlučovače .....	36
5.4	Rozptyl svetla .....	36
5.5	Obrazová analýza.....	36
5.6	Matematické modelovanie .....	36
<b>6</b>	<b>EXPERIMENT</b> .....	<b>39</b>
6.1	Opis experimentu .....	39
6.2	Stanovenie distribučnej veľkosti častíc aerosólu .....	40
6.3	Softvérový program FIJI (ImageJ) .....	42
6.4	Stanovenie hmotnostnej koncentrácie aerosólu .....	42
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY A ZHODNOTENIE</b> .....	<b>49</b>
7.1	Distribučná veľkosť častíc .....	49
<b>8</b>	<b>ZHODNOTENIE A DISKUSIA</b> .....	<b>53</b>
<b>9</b>	<b>ZÁVER</b> .....	<b>55</b>
<b>10</b>	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV</b> .....	<b>57</b>
<b>11</b>	<b>ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK</b> .....	<b>59</b>
11.1	Zoznam tabuliek .....	59
11.2	Zoznam obrázkov .....	59
<b>12</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH</b> .....	<b>61</b>



# 1 ÚVOD

Technológia obrábania je odvetvie, ktoré prechádza neustálym vývojom, či už ide o oblasť rezných nástrojov, alebo o oblasť obrábacích nástrojov. No takisto prebieha vývoj aj v oblasti rezných kvapalín.

Rezné kvapaliny, procesné kvapaliny, sa používajú v strojárskom priemysle pri sústružení, frézovaní, vŕtaní, brúsení a podobných operáciách. V súčasnosti sa používajú štyri základne skupiny kvapalín: oleje, vodou riedené oleje, syntetické kvapaliny a polysyntetické kvapaliny. Rezné kvapaliny majú niekoľko základných úloh: mazanie a chladenie stroja, chladenie a mazanie obrobku, odstraňovanie triesky, antikoročná ochrana, čistenie nástroja a čistenie obrobku, zlepšovanie povrchu obrobku a iné.

Procesné kvapaliny pri použití majú však aj neželaný vedľajší účinok, a to kvapalný aerosól (hmla), ktorý znečisťuje pracovné prostredie. Aerosól sú kvapalnú časticu procesnej kvapaliny jemne rozptýlené v pracovnom ovzduší, a takto znečistené prostredie ohrozuje zdravie človeka, ktorý v tomto prostredí vykonáva svoju prácu.

Z hľadiska zdravia človeka posudzujeme dva faktory :

- chemický (chemické látky, ktoré poškodzujú zdravie- alkanolaminy, nitrozoaminy, minerálny olej)
- biologicky (plesne, baktérie, huby)

Tejto práci boli stanovené ciele. Prvým bolo vypracovať rešerš problematiky kontaminácie pracovného prostredia, kde sú spomenuté spôsoby vzniku aerosólu pri sústružení, problémy, ktoré so sebou prináša kvapalnú aerosól v pracovnom prostredí a na záver rešeršu je vypracovaný prehľad metód merania kvapalného aerosólu. Z možností, ktoré sú spomenuté, bola vybraná obrazová analýza prostredníctvom záznamu z vysokorýchlostnej kamery. Táto metóda merania patrí k najmladším metódam používaným pre toto meranie. Druhým cieľom bola príprava algoritmu pre analýzu záznamu z vysokorýchlostnej kamery. V tomto kroku bol vybraný program ImageJ od spoločnosti FIJI, ako nástroj pre spracovanie dát z vysokorýchlostnej kamery, pre ktorý bol napísaný algoritmus postupu. Tretí cieľ pre túto diplomovú prácu bolo spracovanie surových dát, ktoré sme dostali z programu ImageJ. V tomto kroku boli vypracované grafy a vytvorené obrázky pre koncentráciu zamorenia pracovného prostredia.



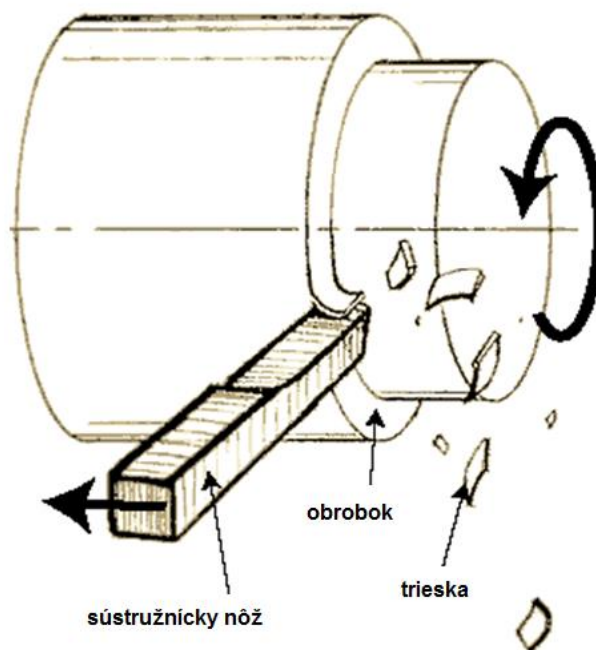


## 2 TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

### 2.1 Sústruženie

Sústruženie je obrábanie reznými nástrojmi pri ktorých sa pomocou jednoklinových nástrojov (sústružníckych nožov) rôzneho tvaru a veľkosti zhotovujú súčiastky valcovitého tvaru. Rezný nástroj je vo väčšinou pevný, zatiaľ čo obrobok rotuje. Z rôznych hľadísk je sústruženie najjednoduchšia forma obrábania kovov. Sústruženie je najčastejšie používaným procesom obrábania v ktorom vývoj nikdy nezaostáva. K sústruženiu obvykle potrebujeme len jednoklinové nástroje. Preto sa pri procese sústruženia jedná o komplexný postup, pretože musia byť zohľadnené mnohé faktory ovplyvňujúce rezný nástroj. Jedná sa hlavne o faktory: tvar obrobku, materiál obrobku, spôsob obrábania, podmienky pri obrábaní, náklady a podobne. Moderný sústružnícky nástroj je vysoko vyzretým produktom skúseností, výskumu a vývoja, ktorý trvá niekoľko desiatok rokov. Jeho výkonnosť je daná komponentmi, ktoré vo vzájomnej súčinnosti tvoria vysoko vyvinutú jednotku.

Sústruženie znamená obrábanie na najvyššej technickej úrovni, je to proces, ktorý vzhľadom k rôznym faktorom súčasnej rôznorodosti používania vyžaduje dokonalé a starostlivé vyladenie.



Obr. 1) Základný princíp sústruženia [12].

U väčšiny spôsobov obrábania sú rezné kvapaliny privádzané do miesta rezu zo strany povrchu obrobku. Rezná kvapalina teda zasahuje svojim účinkom najskôr odchádzajúcu triesku, potom obrobok a nástroj. Uvedený tradičný spôsob prívodu reznej kvapaliny sa

využíva aj pri sústružení kovov. Tento spôsob prívodu má výhodu v tom, že nevyžaduje žiadnu úpravu prírodného potrubia a vystačí so zariadením dodávaným ku každému stroju. Skladá sa z nádrže na reznú kvapalinu, čerpadla a rozvodného potrubia, pomocou ktorého sa môže meniť smer prívodu reznej kvapaliny. Množstvo a tlak dodávanej kvapaliny sú dané typom čerpadla, resp. reguláciou prietoku ventilom [1].

## **2.2 Rezné kvapaliny, súčasný stav riešenej problematiky**

Výber a použitie rezných kvapalín v priemysle nebolo vždy docielené optimálnym spôsobom. Správne použitie reznej kvapaliny a výber vhodných parametrov obrábania (rezná rýchlosť, rýchlosť posuvu a hĺbka rezu), v závislosti od obrábaného materiálu a rezných nástrojov, môže zabezpečiť vyššiu produktivitu a nižšie náklady, vyššiu životnosť nástroja, nižšiu hodnotu drsnosti, zvýšenie presnosti rozmerov a zníženie množstva spotrebovanej energie [2].

Obrábacie stroje prešli za posledné roky veľkým pokrokom a to hlavne kvôli zvyšujúcim sa nárokom zo strany zákazníka na obrábacie stroje. Stroje sú modernejšie, zvyšuje sa účinnosť, výkon, zlepšujú sa technické podmienky obrábania. V neposlednom rade sa začal klásť dôraz aj na rezné kvapaliny.

Rezné kvapaliny používané pri obrábaní kovov predstavujú komplexné zmesi, ktoré slúžia na chladenie, mazanie, antikorošnú ochranu a odvod triesok z miesta rezu. Ich použitie v technologickom procese obrábania kovov však generuje aerosóly, ktoré predstavujú značné riziko znečistenia pracovného prostredia a majú aj negatívny vplyv na človeka, ktorý s nimi prichádza do styku [4].

## **2.3 Vlastnosti rezných kvapalín**

Rezné kvapaliny musia spĺňať technologické, prevádzkové, environmentálne, i ekonomické požiadavky. Stali sa neoddeliteľnou súčasťou obrábania a vyžadujú sa od nich nasledujúce účinky:

- Mazací účinok – je schopnosť kvapaliny vytvoriť na povrchu príľnavú tlakovzdornú vrstvu, ktorá zabraňuje priamemu styku kovových povrchov, čím sa zaisťuje zmenšenie trenia, ku ktorému dochádza medzi trieskou a nástrojom, ale aj medzi nástrojom a obrobkom. Vzhľadom k veľkosti tlakov, ktoré sa objavujú pri rezaní kovov, nemôže nikdy dôjsť ku kvapalnému treniu s akým sa stretávame pri mazaní strojov. Medzné trenie však pri veľkých tlakoch môže nastať, ak má kvapalina dostatočne veľkú afinitu (príľnavosť) ku kovu, alebo ak sa viaže s materiálom obrobku chemicky v mikroskopickú povrchovú medznú vrstvu s malým súčiniteľom trenia. Mazacia schopnosť kvapaliny má vplyv na zmenšenie trenia, ktoré má vplyv na veľkosť rezných odporov a spotrebovanej energie. Zmenšené trenie a rovnomernejšie rozloženie tlaku sa prejavuje lepším odchodom triesky a kľudnejším chodom stroja. Na mazací účinok je preto kladený dôraz hlavne pri dokončovacích operáciách. Mazacia schopnosť je závislá na viskozite, pevnosti medznej vrstvy. S rastúcou viskozitou sa zhoršuje prenikanie kvapaliny medzi treciu plochu, takisto aj prúdenie, ktoré je späté s odvodom tepla. Viskóznejšia kvapalina sa prichytáva na trieskach, čím vznikajú veľké straty kvapaliny, ktorá odchádza spolu s trieskou. Pevnosť medznej vrstvy je závislá na príľnavosti kvapaliny ku kovu (na veľkosti

povrchových molekulových síl), na schopnosti tvoriť s kovom povrchové tlaku vzdorné zlúčeniny s menším trením a lepším viazaním kvapaliny, ako ma čistý

- kov. Povrchové medzné vrstvy zabraňujú zároveň miestnemu zvaraniu kovov. Povrchovo aktívne látky prenikajú do mikroskopických štrbín deformovaného kovu a tým uľahčujú rezný proces [2], [3].
  
- Čistiaci účinok – dôležitou úlohou kvapaliny je odstraňovanie triesok, ktoré vznikajú pri obrábaní. Kovové čiastočky sa spoločne s prachom z ovzdušia lepia a spôsobujú jednak zhoršenie reznej schopnosti nástrojov (zanášanie a zlepovanie brúsnych kotúčov, otupovanie rezných nástrojov), jednak poškodenie funkčných plôch obrábacích strojov. Kvapalina má zamedziť zhlukovaniu a zlepovaniu čiastočiek a má ich odplavovať. Ak má mať kvapalina dobrý čistiaci účinok, nesmie sa lepiť a musí dovoliť ľahké a rýchle usadzovanie nečistôt. Kvapaliny s malou viskozitou bez aktívnych prísad sú pre tento účel výhodnejšie. Rezné kvapaliny s veľkou viskozitou tvoria okrem toho na trieskach hrubšiu vrstvu, čím sa zväčšuje ich spotreba (odvodom v trieskach). Kvalita čistenia závisí aj od čistoty kvapaliny, teda od odstraňovania nečistôt, ktoré kvapalina odplavila. Väčšie, ťažšie nečistoty sa síce usadia v nádrži, ale menšie a ľahšie môžu byť prúdom kvapaliny unášané späť do miesta rezu. Kaly, ktoré vznikajú pri starnutí kvapaliny v prevádzke a čiastočne sú v kvapaline rozpustné, tento jav ešte zhoršujú, pretože uľahčujú zhlukovanie a zlepovanie kovových čiastočiek a brúsneho prachu. Čistiaci účinok je nutný takmer pri všetkých výrobných operáciách a je taktiež jedným z dôvodov, prečo sa pri trieskovom spracovaní kovov používajú kvapaliny [2].
  
- Chladiaci účinok – predstavuje schopnosť kvapaliny odvádzať teplo z miesta rezu. Túto schopnosť má každá kvapalina, ktorá zmáča povrch kovu, pokiaľ existuje tepelný spád medzi kvapalinou a povrchom. Zmäčavosť reznej kvapaliny zlepšuje jej chladiacu schopnosť a naopak penivosť má opačné účinky. Čím väčšia teplota v mieste rezu (čím väčšia rezná rýchlosť, hrúbka triesky, húževnatosť materiálu), tým väčšie sú požiadavky na odvod tepla. Neodvádzané teplo sa totiž môže akumulovať v obrobku a viesť k nepresnosti pri obrábaní. Odvod tepla vzniknutého pri rezaní sa dosahuje tým, že prúd kvapaliny oplachuje nástroj, triesku aj obrobok v oblasti rezu a prijíma odtiaľ vyvinuté teplo. Časť kvapaliny sa pri tom odparí vplyvom nadmerného miestneho zahriatia, zvyšok prúdi späť do nádrže. Z uvedeného je zrejmé, že chladiaci účinok závisí od výparného tepla reznej kvapaliny, od rýchlosti vyparovania pri určitej teplote, od tepelnej vodivosti a od merného tepla. Čím budú tieto veličiny väčšie, tým bude aj chladiaci účinok kvapaliny väčší. Rovnako dôležité je však aj privádzané množstvo reznej kvapaliny a jej penivosť. Výparné teplo zväčšuje chladiaci účinok kvapaliny, avšak odparovanie kvapalín je nežiaduca vlastnosť. Účinok chladenia je tým väčší, čím je viac chladiacej kvapaliny na reznom zábere a čím je kvapalina redšia [2]

- Antikorózna ochrana – príčinou korózie obrobku sú zložité chemické a elektrochemické procesy, ktoré prebiehajú za prítomnosti kyslíka, vody, kyselín a iných látok zo vzduchu. Rezná kvapalina nesmie napádať kovy tak, aby došlo ku korózii, resp. hrdzaveniu. Je to prirodzená požiadavka vzhľadom k tomu, že sa kvapalina dostane na rôzne časti obrábacieho stroja. S podmienkou nekorozívnosti sa obvykle spojuje požiadavka ochrannej schopnosti. Táto požiadavka je vyvolaná jednak tým, aby nebolo potrebné výrobky v medzioperáciach ešte konzervovať, jednak potrebou chrániť stroje počas práce a pri krátkodobom zastavení pred hrdzou vznikajúcou vlhkosťou vzduchu. Ak neúčinkuje kvapalina ako dostatočný ochranný prostriedok, ktorý tvorí na povrchu kovu vodotesnú vrstvu (ochranný film), musia byť do nej dodané potrebné vlastnosti prísadou proti korózii, alebo prísadou, ktorá pasivuje kov proti nežiadúcim účinkom. V zásade musia byť všetky rezné kvapaliny nekorozívne voči oceli a liatine (so zreteľom k strojom) a taktiež ich musí chrániť proti hrdzaveniu. Okrem toho nesmú tieto kvapaliny napádať príslušný spracovávaný materiál (napr. neželezné kovy). K požiadavke ochranného účinku je taktiež možné pripojiť aj dôležitú požiadavku, aby rezné kvapaliny nerozpúšťali nátere obrábacích strojov a neboli agresívne voči gumovým tesneniam [2], [3].

Okrem základných vlastností reznej kvapaliny (mazanie, chladenie, čistenie, ochrana) sa požadujú aj iné závislosti z hľadiska hygieny, ekológie, nákladov a bezpečnosti:

- Prevádzková stálosť - Prevádzková kvapalina má zotrvať v prevádzkovom stave dlhodobo. Čím dlhšie sú výmenné doby, tým nižšie sú náklady na rezné kvapaliny, menšie straty vzniknuté prestojom stroja pri nutných výmenách. Dlhodobosť náplne je však podmienená zárukou, že sa jej fyzikálne a ani chemické vlastnosti nebudú meniť. Akýkoľvek rozklad alebo chemické zmeny vzniknuté starnutím kvapaliny vedú k zmenám ich vlastností, čo sa obvykle nepriaznivo prejaví v zhoršení niektorého požadovaného účinku. Starnutie rezných kvapalín olejového typu sa prejavuje vytváraním fermežovitých usadenín, ktoré svojou lepivosťou spôsobujú poruchy funkčných plôch strojov. Prvky starnutia majú ďalej za následok zmenšenie chladiaceho účinku, koróziu, zväčšenie penivosti kvapalín a iné. Prejavom starnutia rezných kvapalín vodného typu (roztoky a emulzie) je rozpad na zložky, a to s urýchlenným starnutím olejovej zložky a častým napádaním vody baktériami, ktoré spôsobujú hnilobný rozklad. Nestabilita a rozloženie kvapaliny vedú k zmenšeniu mazacieho účinku, k strate ochranných schopností, korózii a pod. K prevádzkovej stálosti počítame aj požiadavku na malé odparovanie pri reznom procese. Táto požiadavka súvisí nielen so stratami, ale aj s podmienkami pracovného prostredia. Prevádzková stálosť reznej kvapaliny závisí na mechanickej a chemickej čistote, teplote, pri ktorej sa kvapalina začína odparovať, na odolnosti proti mechanickému a chemickému namáhaniu a na sklone k penivosti. Čím je kvapalina zložená z väčšieho počtu nerovnorodých zložiek, tým väčšiu má náchylnosť k nestabilite. Základným predpokladom prevádzkovej stálosti je stálosť pri uskladnení. Čím väčšia je táto stálosť, tým dlhšie kvapalina výdrží v prevádzke. Priaznivo môžeme prevádzkovú

stálosť ovplyvniť tým že používame veľké nádrže, urobíme opatrenia proti peneniu, odstraňujeme nečistoty vniknuté v obehu, odstraňujeme usadené kaly[4].

- Zdravotná nezávadnosť - Pri práci na obrábacích strojoch, nie je možné zabrániť tomu, aby pracovníci neprišli do styku s reznými kvapalinami. Na obrobku a nástroji sa vždy nachádza vrstva kvapaliny. Pri čistení stroja, nádrže, odstraňovaní triesok sa ruky dostávajú do styku s reznou kvapalinou. Najhoršie však pôsobí rozprášená kvapalina, rozprášenej kvapaline nezabránia ani kryty, pretože rozprášená a odparená kvapalina prenikne všade, dostáva sa do kontaktu s pokožkou a človek ju vdychuje do pľúc. Preto je potrebné, aby procesné kvapaliny boli zdraviu neškodné, resp. aby neboli jedovaté. Rezne kvapaliny nemajú kontaminovať ovzdušie nepríjemným zápachom. Zdravotná bezchybnosť rezných kvapalín závisí od ich prevádzkovej stálosti a čistote. Stará, znečistená, baktérie obsahujúca kvapalina spôsobuje zdravotné ťažkosti, ktoré sa pri novej kvapaline neprejavujú. Pokiaľ nie je na pracovisku zaistená dostatočná hygiena, aj zdravotne nezávadna kvapalina môže spôsobiť ťažkosti. Preto je potrebné zaistiť dostatočné vetranie, umývanie a ochranu pokožky[2], [4].
- Nízke náklady - Spotreba rezných kvapalín je veľká a neprehliadnuteľná z hľadiska nákladov. Je však potrebné neriadiť sa iba cenou, ale najskôr posudzovať kvapaliny z hľadiska ich vplyvu na príslušnú technológiu obrábania (dosiahnutie maximálnej trvanlivosti nástrojov), na požadovanú akosť povrchu a spotrebu energií pri obrábaní. Až potom je možné porovnať kvapaliny so zameraním sa na prevádzkovú stálosť, spotrebu, náklady pri nutných výmenách. Nutnosť je aj zväžiť možnosť využitia opotrebovaných kvapalín, uvážiť náklady na ich likvidáciu, zaistenie ochranného účinku a pod. Až podrobný technicko-ekonomický rozbor môže rozhodnúť o vhodnosti konkrétnej reznej kvapaliny. Rozhodovať podľa cenových rozdielov je krátkozraké, pretože rezné kvapaliny ovplyvňujú parametre rozhodujúce o ekonomii obrábania a to v rozsahu, ktorý odpovedá niekoľko-násobne väčším hodnotám ako je cena spotrebovaných kvapalín [9].

## 2.4 Klasifikácia rezných kvapalín

Rezné kvapaliny je možné rozdeliť do dvoch kategórií v závislosti na vlastnosti, ktoré preferujeme (potrebujeme) pre použitú technológiu. Delíme ich na:

- Kvapaliny s preväzujúcim chladiacim účinkom (vodou miešateľné)
- Kvapaliny s preväzujúcim mastiacim účinkom (vodou nemiešateľné)

Podľa termofyzikálnych vlastností, spôsobu použitia a obsahu oleja možno rozlíšiť štyri základne kategórie rezných kvapalín:

- **Čisté oleje** nie sú riediteľné vodou a sú používané predovšetkým pre operácie, ktoré vyžadujú mazanie. Väčšina čistých olejov sú vysoko rafinované produkty vyrábané z ropy a živočíšnych tukov, alebo rastlinných olejov. Najrozšírenejšia je skupina minerálnych olejov a olejov na ropnej báze a často býva rafinovaná

rozpúšťadlami kvôli zníženiu obsahu polycyklických aromatických uhľovodíkov. Môžu tiež obsahovať celý rad komponentov, vrátane chlórovaných parafínov, trirezylofosfátov a zlúčenín síry. Používajú sa bez riadení a majú najvýznamnejšie mazacie vlastnosti, dobrú ochranu proti korózii a odolnosť voči biodegradácií, no ich chladiace schopnosti sú v porovnaní s ostatnými typmi rezných kvapalín najslabšie [2], [3].

- **Rozpustne oleje** sa skladajú z ropného alebo minerálneho oleja v kombinácii s emulgátormi a primiešanými prísadami a vystupujú vo forme emulzií, alebo emulgovaných olejov. Podobne ako čisté oleje zabezpečuje dobrú mazivosť (zníženie trenia) aj chladenie, ktoré však nie je také silné, ako v prípade semi-syntetických a syntetických kvapalín [2], [3].
- **Semi-syntetické kvapaliny** predstavujú v podstate hybrid medzi rozpustnými olejmi a syntetickými kvapalinami, ktorý kombinuje výhody oboch skupín (uspokojivý výkon a mazacie vlastnosti, dobrá biodegradačná odolnosť a silná chladiaca kapacita) [2], [3].
- **Syntetické kvapaliny** neobsahujú minerálne oleje a sú zmesou organických látok a aditív, pričom obsah vody predstavuje 70-95 % objemu. Najlepšie odovzdávajú teplo, sú veľmi čisté a poskytujú dobrú mazaciu schopnosť aj ochranu proti korózii. Pri zmiešaní sú priehľadné, takže poskytujú aj dobrú viditeľnosť pri obrábaní kovov [2], [3].

Okrem základných zložiek sú do rezných kvapalín za účelom zlepšenia ich funkčných vlastností pridané aditíva, ktorých základné typy a funkcie sumarizuje tab. 1.

Tab 1) Účel aditív v rezných kvapalinách

Prídavné látky	Funkcia	Chemické zloženie
emulgátory	zabezpečenie stability reznej kvapaliny	sulfonáty, trietanolamín, polyglykol, etyléter
inhibítory korózie	ochrana obrobku a rezného nástroja pred koróziou	nitridy, amíny, boritany
biocidy	redukcia vývinu mikroorganizmov	formaldehyd, fenoly, triaziny
protioderové prísady	zvýšenie lubrikačného účinku reznej kvapaliny a redukcia opotrebovania rezného nástroja	chlórované parafíny, síričitany, fosforečnany, minerálne oleje, alkoholy
stabilizátory	stabilizácia koncentrácie	alkoholy, fosfáty, polyglykoly
protipenivé prísady	zabránenie vzniku peny	silikóny, mastné estery, ťažké uhľovodíky
protihmlovinové prísady	redukcia vzniku aerosólov	polyméry polyizobutylén
Ostatné (detergenty, odoranty, zmáčidlá, ...)	-	-

## 2.5 Výber reznej kvapaliny

Pri výbere reznej kvapaliny je potrebné zohľadniť technologické hľadisko, kde treba dbať, aby zvolená kvapalina zabezpečila požadovanú drsnosť povrchu, malé rezné sily a pod. Takisto sa ale nedá upomenúť aj ekonomické hľadisko, kde sa dbá, aby bola použitá pravé taká kvapalina, ktorá má minimálne náklady na obstarávanie (zaobstarávacie náklady na kvapalinu; náklady na kontrolu, náklady na likvidáciu počas prevádzky, náklady na údržbu strojov – čistenie pri výmene kvapaliny, úspory zo zníženia spotreby nástrojov, atď.).

Priaktívny prístup výrobných organizácii vo vzťahu k jednotlivým zložkám životného a pracovného prostredia podmienený zvýšeným legislatívnym tlakom a rastúca úroveň environmentálneho povedomia sú hlavnými príčinami snahy zainteresovaných strán začleniť medzi tradičné kritéria pri výbere reznej kvapaliny, ktoré vyplývajú z technologických a ekonomických požiadaviek, aj kritéria charakterizujúce jej vlastnosti z iného pohľadu, a to z pohľadu jej nepriaznivých účinkov na človeka a jednotlivé zložky životného prostredia. [2], [3].

Nepriaznivé účinky na človeka sa začali v poslednej dobe čoraz viac sledovať, čo je dôvod, prečo sa toto hľadisko dostáva na prvé miesto pri výbere kvapaliny. Nižšie spomenuté zdravotné riziká poukazujú na dôležitosť tohto faktora a zdôrazňujú prečo sa dostalo toto hľadisko na prvé miesto. Legislatívne požiadavky pri ochrane zdravia človeka tiež nútia, aby sa spoločnosti viac zaoberali voľbou reznej kvapaliny a k doterajším dvom hlavným faktorom

(technologické a ekonomické) pridali tretí, a to zdravotný dopad na pracovníka vystaveného kvapalnému aerosólu reznej kvapaliny.

Uplatnenie exaktných optimalizačných kritérií výberu reznej kvapaliny využitím vhodných matematicko-logických postupov, použiteľných pri realizácii počítačom podporovaných rozhodovacích činností, vykonávaných v etape technologickej prípravy výroby, predstavuje jedno z riešení, ako redukovať ich negatívne vplyvy na životné prostredie, resp. človeka [4].



### 3 ZDRAVOTNÉ RIZIKÁ PRI POUŽITÍ REZNÝCH KVAPALÍN

Účinok rezných kvapalín na zdravie pracovníka sa odvíja predovšetkým od zloženia kvapaliny (obsah zdraviu škodlivých látok v pomere zložitých zmesíach rezných kvapalín najmä v prípade vodou riediteľných rezných kvapalín, rozpustnosť, polarita, pH, atď.), od dĺžky expozície pracovníka (frekvencia, časový odstup medzi expozíciami, frekvencia opakovania), od koncentrácie. Menej významnými faktormi sú: vek, pohlavie, hmotnosť pracovníka, genetické predpoklady a pod [2], [4].

Ku kontaktu obsluhy a aerosólu dochádza buď vdýchnutím aerosólu (dýchanie pri obrábaní), alebo v dôsledku kontaktu aerosólu a pokožky (pri manipulácii kedy pracovník chytá diel, zariadenie, ktoré bolo vystavené reznej kvapaline, alebo sa aerosól usadzuje na pokožke). Okrem primárne zasiahnutých orgánov (pľúca, koža) sa môžu prejaviť aj celkové (systémové) účinky, kedy vznikajú reakcie aj na orgánoch vzdialených od primárneho miesta vstupu. Takéto celkové účinky môžu byť napr. karcinogénne, mutagénne, teratogénne alebo senzibilizujúce [2].

Tieto látky majú nielen toxické, ale aj biologické účinky, pretože sa v nich nachádzajú mikroorganizmy, ktorých koncentrácia závisí od obsahu vody v reznej kvapaline. Kvantita chemických faktorov sa vyjadruje v hmotnostnej koncentrácii vzťahnutej na objem vzduchu ( $\text{mg}/\text{m}^3$  prepočítaný na teplotu 293,15 K a tlak 101,325 kPa) a kvantita biologických faktorov sa vyjadruje v jednotkách  $\text{CFU}/\text{m}^3$  (Colony Forming Units). Kontaminácia niektorými druhmi mikroorganizmov je príčinou vzniku endotoxínov, ktorých koncentrácia sa udáva v jednotkách  $\text{EU}/\text{m}^3$  (Endotoxine Units).

Pri hodnotení humánnych rizík obsluhy kovoobrábacieho stroja pri použití reznej kvapaliny predstavuje najvýznamnejší problém kvantifikácia jej množstva v ovzduší (získovanie hmotnostnej koncentrácie), pretože v dôsledku odparovania kvapaliny zachytený aerosól na filtri počas odberu vzorky nemusí predstavovať skutočné objektívne hodnoty [2].

Tab 2) Zdravotné riziká rôznych druhov rezných kvapalín

Druh reznej kvapaliny	Zdravotný účinok	
<b>Rezná kvapalina</b>	Čistý olej	Akútny zápal pľúc (pneumónia lipidová) a astma. Olejové akné a folikulitída sú najbežnejšie kožné ochorenia, ktoré sú hlásené pre čisté oleje. Jemné oleje môžu spôsobiť odmastenie pokožky a denaturáciu bielkovín. Príznaky sú charakterizované začervenaním, opuchom a občasnými pluzgierikmi. Chemické prísady a prímеси môžu zvýšiť karcinogenitu procesných kvapalín, ktorá spôsobuje dráždenie dýchacích ciest, dermálnu alebo respiračnú precitlivosť. Biologické prímеси môžu spôsobiť respiračné príznaky a zmeny funkcie pľúc.
	Syntetická	Väčšina syntetických kvapalín na báze olejov má nízky stupeň akútnej toxicity a sú len slabo, alebo mierne dráždivé pre oči a kožu. Dlhodobý a opakovaný kontakt môže spôsobiť zápaly kože.
	Poly-syntetická	Polysyntetické chladiace kvapaliny, ktoré obsahujú malé množstvo minerálneho oleja, predstavujú podobné zdravotné riziká ako minerálne oleje na báze emulzných olejov.
	Emulzná	Koncentrovaná a zriedená emulzia môže byť dráždivá na kožu, oči a dýchacie cesty. Nealergický kontaktný ekzém sa zvyčajne vyskytuje na rukách v súvislosti s mokrou prácou využívajúcou emulzné rezné oleje. Alergický kontaktný ekzém, nie je všeobecný a obyčajne vyplýva z expozície aditív. Zdravotné účinky spojené s vodou - miešateľnými reznými kvapalinami zahŕňajú dráždenie horných dýchacích ciest, pracovnú astmu, chronický zápal pľúc a tvorbu pľúcnych fibróz.
<b>Minerálny olej</b>	Všeobecne	Ľahké petrolejové destilačné výpary, tak ako parafín, plynový olej, alebo rozpúšťadlá môžu spôsobiť miene dráždenie dýchacích ciest. Krátkodobá inhalácia olejovej hmly môže spôsobiť dráždenie horných dýchacích ciest. Dlhodobé a opakované pôsobenie vysokých koncentrácií môže viesť ku vzniku pľúcnych fibróz. Inhalácia veľkého množstva olejovej hmly môže spôsobiť pneumóniu (lipidová) a zvýšené pľúcne škvrny. Minerálne oleje majú nízky stupeň akútnej orálnej toxicity. Absorpcia v zažívacom trakte je minimálna. Náhodné užitie môže spôsobiť nevoľnosť, zvracanie, a hnačku. Zvracanie minerálnych olejov s nízkou viskozitou môže mať za následok nasávanie materiálov do pľúc, výsledkom čoho je chemická pneumónia. Minerálne oleje majú nízku kožnú (perkutánnu) toxicitu. Opakované vystavenie môže spôsobiť odmastenie kože vedúce k dráždeniu. Kožné vyrážky, alebo olejové akné sa môžu objaviť po opakovanom a dlhodobom vystavení.

### 3.1 Respiračné účinky

Dýchanie aerosólu predstavuje najvýznamnejšiu cestu vstupu aerosólu do ľudského tela. Horne aj dolné dýchacie cesty, celé dýchacie ústrojenstvo, dokážu spracovať (vstrebať) plyny, pary a rozpustné aerosóly. Pľúcne alveoly predstavujú  $70\text{m}^2$  absorpčnej plochy, pričom ďalším nemenej dôležitým faktorom je bohaté zásobenie pľúc krvou, ktoré narastá s fyzickou námahou. Väčšie a menej rozpustné častice, ktoré sa zachytili v horných dýchacích cestách sú pohybom riasinkovitého epitelu transportované do nosohltanu, môžu byť absorbované bunkami slizníc, alebo môžu byť prehltnuté a resorbované až v tráviacom trakte. Okrem nebezpečných malých, jemných častíc, ktoré sa dostanú až do alveol sú nebezpečné aj väčšie, ktorých toxický účinok závisí od ich hmotnosti, ktorá rastie s druhou mocninou ich priemeru. Píjím týchto častíc výrazne ovplyvňuje rozpustnosť vo vode. Častice do  $10\mu\text{m}$  sa dostanú do priedušnice, priedušiek a priedušničiek a takto sa môžu dostať samočistiacou schopnosťou buniek sliznice spať do horných dýchacích ciest a vykašľať ostatné častice, ktoré sa resorbujú. Plyny, pary a aerosólové latky sa po vdýchnutí vstrebávajú cez stenu alveol. Dolné dýchacie cesty majú ako obranný mechanizmus makrofágy, ktoré pohlcujú určité percento častíc a transportujú ich do lymfatického systému [2].

Prejavy ľudského tela na vdýchnutie kvapalného aerosólu sú: bolesť a pálenie v krku, nádcha, upchatie a krvácanie z nosa, kašeľ, dýchavičnosť a zvýšená produkcia hlienu. Takisto sa vyskytuje chronický zápal priedušiek, astma, hypersenzitívna pneumonitída a zhoršovanie existujúcich problémov s dýchaním.

Burton, C.M. et al. (2012) vypracoval systematickú review o respiračných ochoreniach spojených s expozíciou procesnej kvapaliny na vodnej báze, kde pomocou knižničných informačných databáz preskúmali všetky ochorenia v období od januára 1990 do októbra 2011. Cieľom bolo preukázať kauzálnu súvislosť medzi expozíciou procesnej kvapaliny a výskytom ochorenia. Väčšina prípadov bola z USA z veľkých závodov na výrobu automobilov a lietadiel. Hygienické štúdie, ako prípadové tak aj prierezové, nepreukázali konzistentné rizikové faktory pre exacerbáciu respiračných ochorení – hlavne profesionálna astma a alergická alveolirída – EAA, pokiaľ išlo o druh použitej procesnej kvapaliny, stupeň mikrobiálnej kontaminácie, alebo úroveň personálnej expozície. Barber, C.M., 2012 v ďalšom článku zdôrazňuje štandardizovaný prístup pri identifikácii symptómov a objektivizácii faktorov prostredia, ako aj jednotné diagnostické metódy. Z 35 článkov vzťahujúcich sa k respiračným syndrómom sa 27 vzťahovalo na pracovníkov exponovaných procesným kvapalinám a zo 14 prípadových štúdií sa 7 vzťahovalo na EAA, 5 na profesionálnu astmu a každý prípad na horúčku z vlhka, alebo priemyselnú astmu[2].

Expozíciu procesným kvapalinám počas pilotnej štúdie v priebehu 15 mesiacov v spojení so spirometrickým vyšetrením skúmali Abrams L. et al. 2000, pričom okrem mikrobiologickej kontaminácie sledovali aj endotoxíny prítomné v procesných kvapalinách, ktorých priemerné hodnoty v pracovnom ovzduší boli  $16,4\text{ EU/m}^3$ , kde pri osobnom odbere torakálnej frakcie aerosólu bola zistená koncentrácia  $10^4 - 10^5\text{ EU/ml}$  a priamym meraním počtu baktérií v reznej kvapaline bola zistená koncentrácia  $10^8\text{ CFU/ml}$ . Uvedenou štúdiou bola potvrdená vysoká korelácia nielen medzi koncentráciou častíc v samotnej procesnej kvapaline a následne aj vo vzduchu, ale aj medzi koncentráciou endotoxínov [2], [4].

Podľa Meza, F. et al. 2013 pracuje v súčasnosti v USA okolo 1,2 milióna pracovníkov zamestnaných najčastejšie v leteckom a automobilovom priemysle, kde sú exponovaní procesným kvapalinám. Štúdia preukázala, že u exponovaných zamestnancov je prevencia respiračných a dermálnych syndrémov v porovnaní s neexponovanými zamestnancami na výrazne vyššej úrovni [2].

Respiračné a dermatologické syndrómy pri použití procesných kvapalín pri obrábaní hliníka sú opísané v práci Godderis, L. et al. 2008, kde okrem expozície procesnej kvapaliny boli sledované aj ich biodegradačné produkty (aldehydy, PAH s bioonitoringom 1-OH-pyrénu stanovením v moci atď.). Bolo sledovaných 31 zamestnancov na troch pracovných miestach (extrúzia, teplý a studený valcový mlyn) a respiračné/dermatologické syndrómy boli hodnotené na základe dotazníkov. Všeobecne boli zistené v pracovnom ovzduší len stopy rozpúšťadiel, organických kyselín a plynov obsahujúcich uhl'ovodíky, koncentrácia formaldehydu bola  $0,03 \text{ mg/m}^3$  a 1-OH-pyrénu oíd detekčný limit  $< 0,2 \text{ } \mu\text{g/l}$  [2].

Respiračne syndrómy pri inhalačnom vstupe procesnej kvapaliny v Kohortových štúdiách zamestnancov automobilového priemyslu vrátane identifikácie mikroorganizmov kontaminujúcich procesné kvapaliny sú opisované aj v ďalších prácach [2].

Priemerné hodnoty hmotnostnej koncentrácie procesných kvapalín sa v USA v priebehu troch dekád pohybovali pre celkový aerosól v rozmedzí  $0,55\text{-}5,36 \text{ mg/m}^3$  a pre torakálnu frakciu v rozmedzí  $0,4\text{-}0,48 \text{ mg/m}^3$ . Po zavedení preventívnych opatrení bol zistený výrazne klesajúci trend, ktorý však nebol zaznamenaný respirabilnou frakciou. Tiež boli zistené rozdielne expozície pre jednotlivé typy priemyslu, ale najmä pre typy operácií brúsení boli zistené priemerné hodnoty expozície  $1,75 \text{ mg/m}^3$ , oproti  $0,95 \text{ mg/m}^3$  pri ostatných operáciach. Tiež pre rozdielne typy procesných kvapalín: oleje  $1,49 \text{ mg/m}^3$ , rozpustné oleje  $1,08 \text{ mg/m}^3$ , syntetické kvapaliny  $0,52 \text{ mg/m}^3$  a polosyntetické kvapaliny  $0,5 \text{ mg/m}^3$  [2].

V priebehu posledných rokov rad štúdií zistil kauzálnu súvislosť medzi expozíciou procesnej kvapaliny a rôznymi druhmi rakoviny, vrátane leukémie, rakoviny hrtana, pažeráka, pankreasu, žalúdka, konečníka, močového mechúra a kože exponovaných pracovníkov. Mirer F.E., (2010) uskutočnil analýzu výskumu poškodení zdravia pri prácach s procesnými kvapalinami, kde z 227 reportovaných záznamov sa 26 týkalo rakoviny, 58 respiračných účinkov, 32 dermálnych účinkov, 45 mikrobiálnej kontaminácie a 76 meraní expozície [2].

Incidencia výskytu rakoviny močového mechúra zamestnancov automobilového priemyslu bola skúmaná v súvislosti s expozíciou procesných kvapalín v kohortovej štúdií, ktorej sa zúčastnilo 21999 mužov. Boli sledovaní v rozmedzí rokov 1985-2004. Rizikové faktory boli vypočítané pre rôzne typy kvapalín (syntetické, semisyntetické, čisté oleje a rozpustné oleje), dĺžku expozície, výskyt etanolamínov a nitrozoamínov. Zvýšené riziko bolo zaznamenané iba pri procesných kvapalinách na báze oleja, pričom nebol pozorovaný žiadny vzťah medzi expozíciou reznej kvapaliny a rakovinou pľúc pri incidencii polycyklickými aromatickými uhl'ovodíkmi v súvislosti s fajčením [2].

Inverzný účinok germanegatívnych baktérií produkujúcich endotoxíny na výskyt rakoviny pľúc sa môže prejaviť zvýšením imunologickej odpovede organizmu. V rámci retrospektívnej skupinovej štúdie v období 1941-1995 v skupine 46399 zamestnancov automobilového priemyslu sa odhadnuté regresívne modely pľúcnej rakoviny, ako funkcie

kumulatívnej expozície procesnej kvapaliny ( $\text{mg}/\text{m}^3$  za rok) a celkovej dĺžky expozície, pričom najväčšie zníženie mortality bolo pozorované v skupine s najvyššou expozíciou. Ochranný účinok syntetických procesných kvapalín bol pozorovaný iba v koexponovanej skupine a účinok modifikácie biocidov bol takmer bezvýznamný ( $p=0,07$ ) [2].

Podobným spôsobom bol sledovaný aj výskyt rakoviny v kohortovej štúdii pri 4825 ženách zamestnaných v automobilovom priemysle General Motors v USA. Zistené expozičné hodnoty reznej kvapaliny ženskej kohorty boli vo všeobecnosti o dve tretiny nižšie ako u mužov, pričom najvyššia incidencia bola zaznamenaná pri pľúcnom karcinóme, incidencia rakoviny GIT sa zvyšovala pri procesnej kvapaline na báze minerálnych olejov a pri ovariálnom karcinóme bol pozorovaný nižší výskyt pri procesnej kvapaline na báze vody. Čo sa týka rakoviny močového mechúra, konečníka, hrtanu, pankreasu a malígneho melanómu, bolo u žien zaznamenaných príliš malo úmrtí, aby bolo možné posúdiť expozičné účinky [2].

Výskyt malígneho melanómu a skvamózných karcinogénnych buniek najmä v miešku, bolo sledovaných v kohortovej štúdii (Costello, S. et al., 2011) 14139 mužov zamestnaných v automobilovom priemysle. Incidencia malígneho melanómu z uvedenej kohorty bola zastúpená 76 prípadoch, pričom najvyššie riziko predstavovali procesné kvapaliny na báze oleja a najnižšie syntetické procesne kvapaliny [2].

Prípadové štúdie v súvislosti s expozíciou procesných kvapalín zamestnancov v automobilovom priemysle pre incidencia rakoviny pankreasu, sú uvádzané v práci Bardin, J.A. et al., 1997 a pre incidencia rakoviny pečene a žlčových ciest v práci Bardin, J.A. et al., 2005.

Účinok škodlivých faktorov obsiahnutých v procesných kvapalinách sa môže ešte viac zvýšiť pôsobením tepla vznikajúceho pri vysokých otáčkach. Práca (Kim, S.B., Yoon, C.S., Park, D., 2010) sa zaoberá vyparovaním a premenou alkanolaminov, ktoré sa pridávajú ako baktericidy do procesných kvapalín. Konkrétne išlo o štúdium etanolaminov (EA) s tou istou funkčnou skupinou ( $\text{HOCH}_2\text{CH}_2$ ) ako mono-EA (MEA), di-EA (DEA) a tri-EA (TEA). Rýchlosť vyparovania sa výrazne zvyšovala s rastúcou teplotou z  $0,19 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$  pri  $23,5 \text{ }^\circ\text{C}$  na  $8,04 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}$  pri  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , pričom bolo zistené, že EA s vyšším počtom alkoholových skupín (TEA alebo DEA) sa konvertujú na EA s menším počtom týchto skupín [2].

### 3.2 Dermatologické účinky

Kontakt kože s procesnými kvapalinami môže vyvolať alergickú kontaktnú dermatitídu alebo dráždivú kontaktnú dermatitídu v závislosti od chemického zloženia kvapaliny, druhu prísad a kontaminujúcich látok obsiahnutých v procesných kvapalinách, zloženia obrábaného kovu (toxicita, alergické reakcie na Cr, Ni, Cd ...) a individuálnej predispozície k vzniku alergie (Wassenius O. et al., 1998). Prítomnosť ropných produktov, ktorých zastúpenie je prevládajúce v procesnej kvapaline na báze minerálnych olejov môže spôsobovať aj tvorbu akné [2], [4].

Vo vzťahu ku kožným ochoreniam patrí k najrizikovejším výrobným procesom trieskové obrábanie kovov, pri ktorom sa používajú na chladenie rôzne emulzie a rezné oleje. Tieto kvapaliny sa vyznačujú výraznými dráždivými účinkami na kožu, ktoré sú navyše zosilňované ďalšími špecifickými pracovnými podmienkami (vlhko a jeho striedanie so

suchými pracovnými cyklami, drobné poranenia ako odery,...) Výraznú úlohu pri vzniku týchto ochorení zohráva nedodržiavanie zásad hygieny a podceňovanie rizika zo strany pracovníkov.

Jednou možnosťou individuálnej ochrany zamestnancov pracujúcich s procesnými kvapalinami je používanie osobných ochranných pracovných prostriedkov. Na zabránenie styku pokožky rúk s procesnými kvapalinami sa odporúčajú rôzne druhy pracovných rukavíc. Xu, W. a Que Hee, S.S. 2010 testovali prenikanie rôznych druhov procesných kvapalín pri rôznych pracovných podmienkach cez latexové rukavice, pričom zistili, že oproti prahovej hodnote  $0,25 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , zistenej podľa štandardnej skúšobnej metódy pre odolnosť materiálov ochranných odevov proti prenikaniu kvapalín alebo plynov v podmienkach neustáleho kontaktu (ASTM, 2004) bolo preniknuté množstvo asi päťkrát vyššie ( $1,0 \pm 0,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). V ďalšej práci Xu, W., Que Hee S.S.; 2007 autori testovali prienik olejových procesných kvapalín pomocou modifikovanej ASTM metódy F739-99a cez pracovné rukavice z viacerých druhov materiálov, kde boli zistené nasledujúce hodnoty v  $\text{mg}/\text{cm}^2$ :  $0,7 \pm 0,2$  pre vinyl,  $10 \pm 1,2$  pre chloroprén a  $33 \pm 0,7$  pre latex. Prienik rôznych dezinfekčných prostriedkov cez viacero druhov rukavíc vrátane štúdie materiálu rukavíc po prieniku testovaných látok pomocou elektrónovej skenovacej mikroskopickej (SEM) a klinickej štúdie postranných zdravotných účinkov sú opisované v rewiev (Mellström G., 1991). Penetrácia patogenných mikroorganizmov cez rôzne materiály rukavíc je opisovaná v rewiev (Neal J.G. et. al., 1998), pričom latexové rukavice vo všeobecnosti poskytovali lepšiu ochranu v porovnaní s vinylovými [2].

### 3.3 Ochranné opatrenia

Nápravné opatrenia zahŕňajú vhodné pracovné postupy a opatrenia, ktoré zohľadnia reálne prevádzkové možnosti zamestnávateľa, ale zároveň zabezpečia dostatočnú prevenciu, ochranu zdravia a bezpečnosť pri práci. Pri chemických faktoroch sa ako primárne uplatňujú technické a organizačné opatrenia. Medzi technické opatrenia patrí: zníženie množstva alebo úplné vylúčenie chemickej škodliviny z užívania (náhrada inou menej škodlivou látkou, napríklad benzén, sa nahradí toluénom), zakrytie a hermetizácia, uzatvorenie, zdrojov škodlivín, stavebné riešenia zabráňujúce prenikaniu škodlivín na miesta so stálou obsluhou (stavebné oddelenie, pracovne majstrov a technikov, v priestoroch prevádzok, atď.), izolovanie zamestnanca od prostredia so škodlivinou (vetrane kabíny), velíny vetrané prívodom čerstvého vzduchu a musia byť v pretlaku ku prašnému okoliu, automatizácia a diaľkové ovládanie pracovných procesov spojených s používaním chemických škodlivín, miestne odsávanie škodlivín, odsávanie škodlivín pri ich zdroji, celkové vetranie pracoviska a pod [2].

Medzi organizačné opatrenia patrí: správne usporiadanie pracoviska a používanie vhodných pracovných prostriedkov, zdokonaľovanie bezpečnosti pracovných postupov a zaistenie nebezpečných prác čo najmenším počtom zamestnancov tak, aby sa expozícia rizikovým faktorom čo najviac skrátila, striedanie zamestnancov pri rizikovej práci, správny režim práce a odpočinku, častejšie prestávky v práci mimo rizikových priestorov (pobyt zamestnancov v rizikových priestoroch musí byť skrátený na minimum), sústredenie rizikových prác iba na dopredu určené miesta, alebo ich výkon v určenom čase, zákaz jedenia pitia a fajčenia na pracovisku, pravidelná kontrola koncentrácie škodlivín v pracovnom

ovzduší, vyber vhodných zamestnancov podľa zdravotného stavu a kontrola podmienok pri práci [4].

Až sekundárne sa uplatňujú náhradné opatrenia a to až vtedy, ak sa ihneď nedá predísť expozícii. Väčšinou ide o používanie osobných ochranných pracovných prostriedkov (OOPP) pri krátkodobých činnostiach, nie pri trvalej 8 hodinovej práci. V prípade procesných kvapalín ochranu kože pri dermálnej expozícii zabezpečujú: pracovný odev, rukavice, ochranný štít a ochranné okuliare. Pri inhalačnej expozícii ochranu pred vdýchnutím zabezpečujú ochranné masky, respirátory, filtračné prístroje, izolačné dýchacie prístroje. Medzi individuálne opatrenia patrí dodržiavanie zásad osobnej hygieny, udržiavanie čistoty pracovného odevu a jeho pravidelná výmena [2].

K preventívnym nápravným opatreniam patrí aj výkon zdravotného dohľadu pre zamestnancov pri práci s chemickými faktormi. Súčasťou dohľadu je využívanie lekárskeho preventívneho prehliadok, (LPP) ktoré sa vykonávajú nielen pri vstupe alebo výstupe zo zamestnania, ale aj opakovane v určených periódach a následne pri patologických zisteniach, zdravotná osveta, uskutočňovanie biologických expozičných testov (BET) pri preventívnom sledovaní výskytu chemických škodlivín [2], [4].



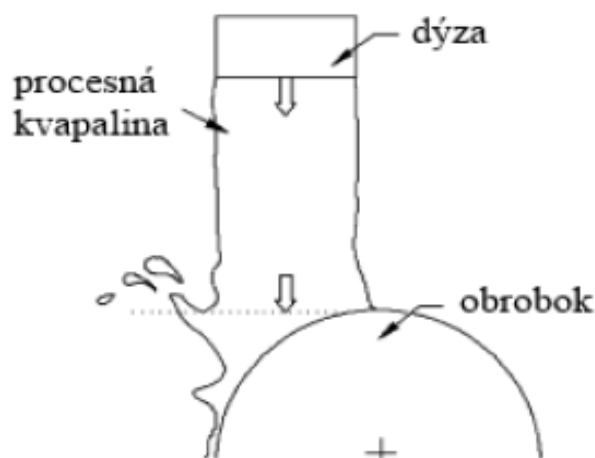


## 4 TVORBA KVAPALNÉHO AEROSÓLU

Aerosólom nazývame kvapalnú časticu jemne rozptýlenú v plynnom prostredí. Atomizácia rozstrekom, rotačná atomizácia, evaporácia/kondenzácia sú transformačné mechanizmy, vďaka ktorým sa rezná kvapalina mení na aerosól.

### 4.1 Atomizácia rozstrekom

Atomizácia reznej kvapaliny rozstrekom vzniká pri dopade prúdu kvapaliny z dýzy na povrch nástroja alebo obrobku a ovplyvňujú ju najmä nasledovné parametre: povrchové napätie, viskozita, hustota reznej kvapaliny, rozmery a tvar dýzy, prietoková rýchlosť, vzdialenosť medzi dýzou a miestom dopadu kvapaliny [3], [10].

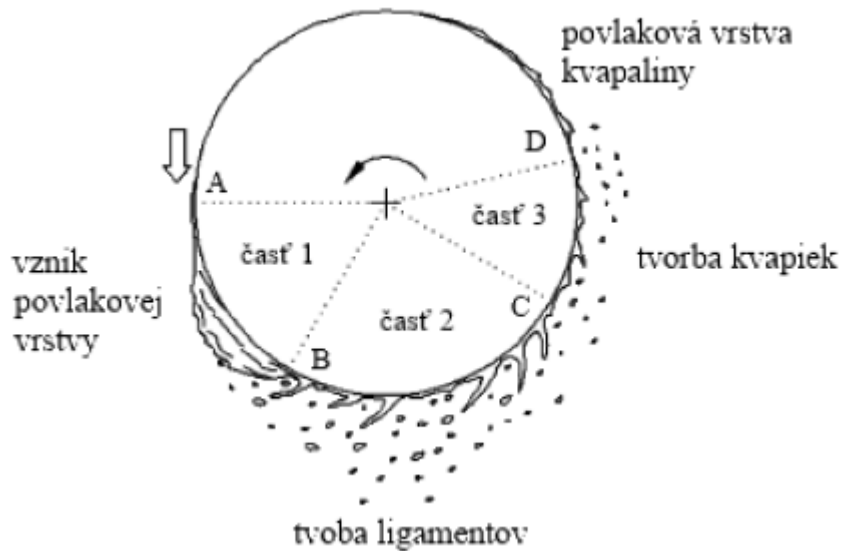


Obr. 2) Atomizácia reznej kvapaliny [4]

### 4.2 Rotačná atomizácia

Centrifúgová, rotačná, atomizácia vzniká pôsobením odstredivej sily a pozostáva z troch štádií: štádium vzniku povlakovej vrstvy, štádium tvorby ligamentov, štádium tvorby kvapiek [4], [11].

V štádiu vzniku povlakovej vrstvy (časť A – B obr.1) je rýchlosť prúdenia kvapaliny veľká. Po dopade kvapaliny na povrch rotujúceho obrobku vzniká tenká povlaková vrstva. Prietok kvapaliny sa postupne znižuje pozdĺž povrchu obrobku. Po prechode kvapaliny kritickým bodom B (pri nižšej prietokovej rýchlosti), sa po obvode obrobku prejavuje množstvo nestabilných kvapalných ligamentov, ktoré sa ďalej prerušujú a vytvárajú kvapky – časť B – C (štádium tvorby ligamentov). Po prekročení kritického bodu C (pri nízkej prietokovej rýchlosti), sa kvapalina rozptýli a je odstreďovaná mimo obrobku vo forme kvapiek. Toto štádium sa nazýva štádium tvorby kvapiek (časť C – D). Vznikajú relatívne identické kvapky, ak je odstredivá sila väčšia ako gravitačná sila. Za bodom D môže povlaková vrstva zostať na povrchu rotačného obrobku, pretože viskózne sily sú dostatočne veľké na to, aby prekonali odstredivé a gravitačné sily [4], [11].



Obr. 3) Štádia rotačnej (centrifúgovej) atomizácie [4]

### 4.3 Evaporácia/kondenzácia

Zdrojmi tepla v zóne rezania sú tie miesta, v ktorých sa spotrebúva mechanická práca. Celkové množstvo tepla vznikajúce pri rezaní sa rovná súčtu tepla, ktoré vzniká v dôsledku: deformácie pri premene odrezávanej vrstvy na triesku, oddelenia materiálu od obrobku a trenia. Charakter tepelnej bilancie pri sústružení je podľa Budu et al. (1988) nasledovný: s trieskou, odchádza 50-86 % tepla, do nástroja prechádza 10-40 % a v obrobku ostáva 3-9 % tepla a približné 1 % tepla sa vylučuje do okolitého prostredia. Tepelný tok medzi nástrojom, obrobkom a procesnou kvapalinou je zdrojom energie potrebnej na vyparovanie, t.j. prechod častíc z povrchu kvapaliny do plynného skupenstva. Následnou kondenzáciou pary vzniká kvapalný aerosól [4], [11].

## 5 METÓDY MERANIA KVAPALNÝCH AEROSÓLOV

Určenie hmotnostnej koncentrácie kvapalných aerosólov sprevádza niekoľko problémov. Prvým problémom je skutočnosť, že presávaním vzorky odoberaného vzduchu cez filtračný materiál dochádza k významnému odparovaniu kvapalnej fázy (najmä v prípade vodou miešateľných rezných kvapalín). Výsledky sú závislosti od prietoku a ďalších faktorov významne ovplyvnené. Druhým problémom je mikrobiologická kontaminácia rezných kvapalín v závislosti od druhu, zloženia a doby používania. Čím dlhšie sa rezná kvapalina skladuje, prípadne recykluje, tým väčšie množstvo mikroorganizmov sa premnoží a na filtračnom materiáli sa potom s pozitívnou chybou zachytáva okrem kvapalného aerosólu aj prítomná mikroflóra [2], [6], [10].

Momentálne existuje na stanovenie expozície pracovníkov kvapalnému aerosólu viacero metód, ktoré majú zabezpečenú kontrolu kvality výsledkov. Pri validácii každej metódy majú určitú úlohu nasledovné faktory: rozsah metódy, presnosť a správnosť (spoľahlivosť) analytických výsledkov, opakovateľnosť a reprodukovateľnosť, robustnosť metódy, neistota, detekčný a kvantifikačný limit metódy (LOD a LOQ). V rámci validačného protokolu sa na kontrole kvality podieľa aj účasť v medzilaboratórnych kontrolných testoch, ktoré zabezpečujú kvalitu výsledkov na národnej, poprípade medzinárodnej úrovni [2], [8], [10].

### 5.1 Gravimetrická metóda

Tato metóda zahŕňa filtráciu aerosólu cez membránu filtračného zariadenia. Presnosť gravimetrických analýz môže byť ovplyvnená zmenami vlhkosti, manipuláciou a elektrostatickými silami pri odbere vzorky. Väčšina uvedených účinkov však môže byť minimalizovaná (alebo úplne eliminovaná) starostlivým používaním laboratórnych techník. Oveľa náročnejšie je minimalizovať straty zachyteného kvapalného aerosólu vyparovaním. Najmä skupina vodou miešateľných rezných kvapalín obsahuje poloprchavé zložky, ktoré sa vyparujú omnoho rýchlejšie ako ostatné zložky reznej kvapaliny, a to zvlášť v prípade, keď sú zachytené na filtri v podobe hmly a ich povrchová plocha sa takto ešte zväčší. Rýchlosť a miera odparovania kvapôčok sú ovplyvňované distribúciou veľkostných frakcií kvapalného aerosólu, tlakom pár jednotlivých komponentov reznej kvapaliny a stupňom nasýtenia pary okolitého vzduchu. Navyše rýchlosť odparovania závisí aj od rýchlosti prietoku odoberanej vzorky vzduchu, čím sa negatívna chyba podhodnotenia výsledku ešte zvýši [4].

### 5.2 Spektroskopická metóda

Metóda založená na spektroskopickom stanovení, napr. IČ, UV, fluorescencia, ICP-MS. Odber vzorky vzduchu prebieha podobne ako pri prvej skupine, t. j. zachytávanie aerosólových častíc (alebo frakcií separovaných napr. cyklónom) na filter, ktorý sa potom extrahuje do vhodného rozpúšťadla. Hmotnostná koncentrácia sledovanej látky sa potom stanoví spektroskopicky v roztoku na základe kalibračnej krivky pri použití známeho štandardu. Nevýhodou spektroskopických metód je možnosť interferencie s ďalšími látkami prítomnými vo vzduchu (látok, ktoré nepochádzajú z rezných kvapalín), ktoré však absorbujú žiarenie v rovnakej oblasti spektra ako sledovaná látka [4], [6].

### **5.3 Elektrostatické odlučovače**

Metóda elektrostatických odlučovačov (ESP), kde na substráte zachytené kvapky aerosólu vytvoria film s nízkym špecifickým povrchom, ktorý je mimo prúdenia odoberanej vzorky vzduchu. Týmto sa významne zvýši odparovanie prchavých zložiek v ESP [2].

### **5.4 Rozptyl svetla**

Štvrtú metódu tvoria zariadenia na princípe rozptylu svetla, ktoré monitorujú koncentráciu aerosólu v reálnom čase. Fotodetektor prístroja zaostruje laserový lúč s vhodnou vlnovou dĺžkou na prechádzajúce aerosólové častice a zaznamenáva rozdiely v intenzite rozptýleného svetla. Namerané hodnoty sa korelujú s hmotnostnou koncentráciou príslušnej normy použitej výrobcom na kalibráciu prístroja. Pokiaľ sa stanovuje materiál s inými vlastnosťami (napr. distribúcia veľkosti častíc, index lomu, tvar častíc a pod.) je potrebné recalibrovať prístroj na iný vhodný CRM (certifikovaný referenčný materiál) [6].

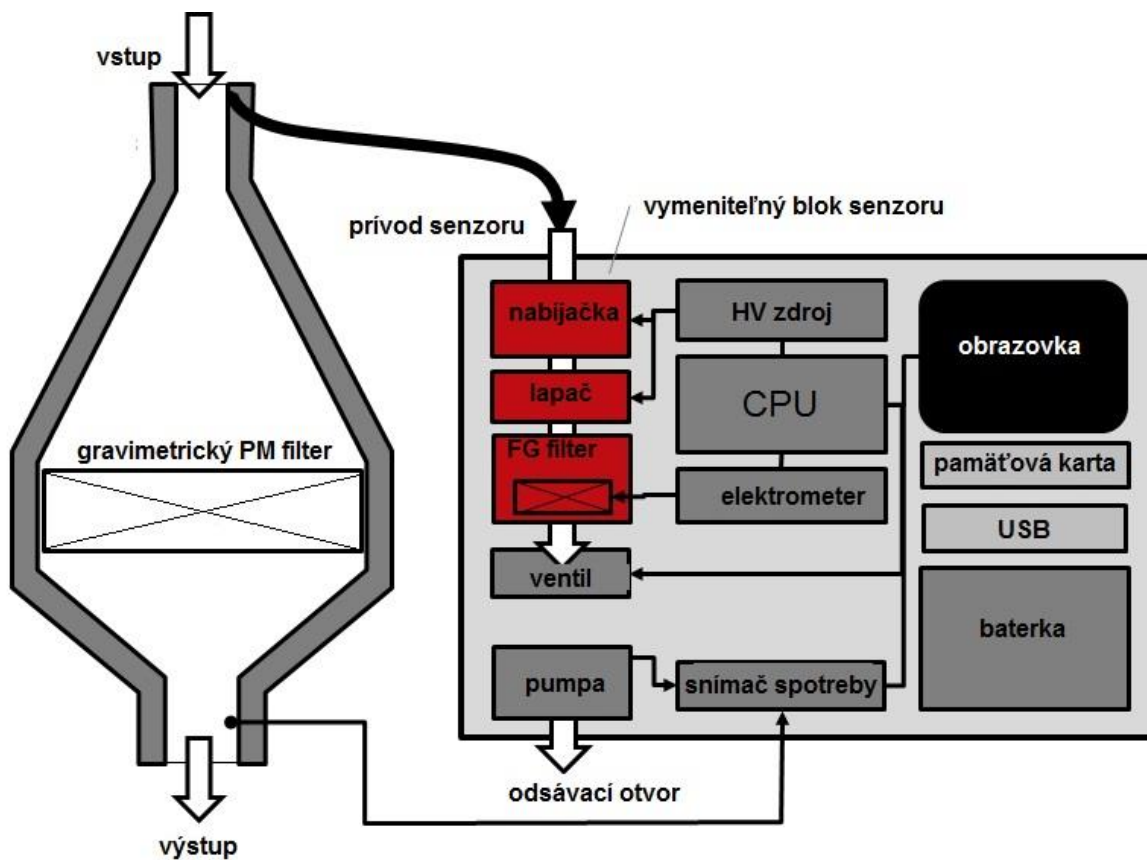
### **5.5 Obrazová analýza**

Ďalšou metódou stanovenia veľkostnej distribúcie kvapalných aerosólov je pomocou obrazovej analýzy. Táto metóda bola použitá aj v našom prípade a patrí medzi najpoužívanejšie priame optické metódy na zisťovanie rozmerových charakteristík kvapalných častíc. Digitalizácia obrazu je zabezpečená pomocou vysokorýchlostnej kamery, z tohto záznamu je následne vytvorený reprezentatívny súbor vzoriek, ktorý charakterizuje časový priebeh tvorby kvapalného aerosólu. Ďalším krokom je segmentácia prostredníctvom pracovania v grafickom editore. Segmentácia je metóda rozdeľovania obrazu na jednotlivé časti (segmenty) v závislosti od objektov nachádzajúcich sa v obraze. Prahové metódy predpokladajú, že objekty v obraze sa dajú odlíšiť od pozadia na základe jasovej hodnoty jednotlivých obrazových bodov. Obrazové body, ktorých intenzita je nižšia než zvolená prahová hodnota je pridaná hodnota 0, čo znamená že pixely s touto hodnotou tvoria pozadie. Obrazovým bodom, ktorých hodnota je vyššia než zvolená prahová hodnota, je priradená hodnota 1, čo znamená, že pixely s touto hodnotou tvoria objekty a štruktúry. Na získanie ekvivalentného priemeru častíc je použité programové prostredie. Základnou dĺžkovou jednotkou grafického zobrazenia je pixel, čo je jeden obrazový bod. Tato jednotka však nie je vhodná pre interpretáciu výsledkov merania, preto je nutné pretransformovať ju do metrických jednotiek [6], [8].

### **5.6 Matematické modelovanie**

Využitie matematických modelov rozptylu aerosólu v pracovnom ovzduší súvisí s presnosťou a vypovedacou schopnosťou týchto modelov. Vstupné parametre najviac ovplyvňujú tieto vlastnosti. Koeficienty algoritmu, ktoré sa opierajú o skúsenosti zadávateľa, zaručujú porovnateľnosť výsledkov za podmienky štandardizácie popisovaných javov, no zároveň nezaručujú individualitu prebiehajúcich procesov. Následná verifikácia môže byť neadresná. Kvôli týmto aspektom je potrebné detailne poznať štruktúru a algoritmus modelu, podmienky jeho použitia, hranice presnosti a možný rozptyl výsledkov. Za predpokladu adekvátnych

vstupov a pre špecifické prípady sú použiteľné modely „case by case“ s vopred definovanými podmienkami [5], [7].



Obr. 4) Gravimetrická metóda schéma



## 6 EXPERIMENT

### 6.1 Opis experimentu

Cieľom experimentu bolo zistiť vplyv vybraných parametrov na distribučnú veľkosť a hmotnostnú koncentráciu generovaného kvapalného aerosólu pri sústružení valcového obrobku. Pri plánovaní experimentu boli stanovené:

- výstupné charakteristiky (hmotnostná koncentrácia a veľkostné zloženie kvapalného aerosólu v pracovnom ovzduší),
- vstupné faktory (rýchlosť otáčok vretena sústruhu, veľkosť prietoku reznej kvapaliny).

Experimentálne merania pre distribučnú veľkosť častíc a hmotnostnú koncentráciu kvapalného aerosólu boli realizované na základe spolupráce FSI VUT v Brne a FEVT TU vo Zvolene. Meranie prebehlo vo Zvolene pomocou zariadení pozostávajúcich z univerzálneho hrotového sústruhu (KART, model EMU-250), ktorý bol doplnený univerzálnym chladiacim systémom (OPTIMUM Maschinen Germany). Pre vykonanie experimentu boli použité valcové obrobky z konštrukčnej ocele S 235 JR (STN 11375.1) s priemerom 35 mm a s nominálnou dĺžkou 350 mm, s meniacim sa priemerom obrobku počas sústruženia – ale iba v prípade stanovenia hmotnostnej koncentrácie generovaného aerosólu. V prípade stanovenia distribučnej veľkosti častíc bol priemer obroku takmer konštantný, vzhľadom na to, že veľkosť kapacity vysokorýchlostnej kamery bola značne obmedzená a záznam trval len niekoľko sekúnd.

Použila sa rezná kvapalina – syntetická kvapalina (zmiešaná v 5 % koncentrácií s vodou).

Dýza bola umiestnená vo výške 100 mm od obrobku. Ako nástroj bol použitý stranový uberací sústružnícky nôž s prispájkovanou reznou platničkou zo spekaného karbidu. Hĺbka rezu bola 1 mm.

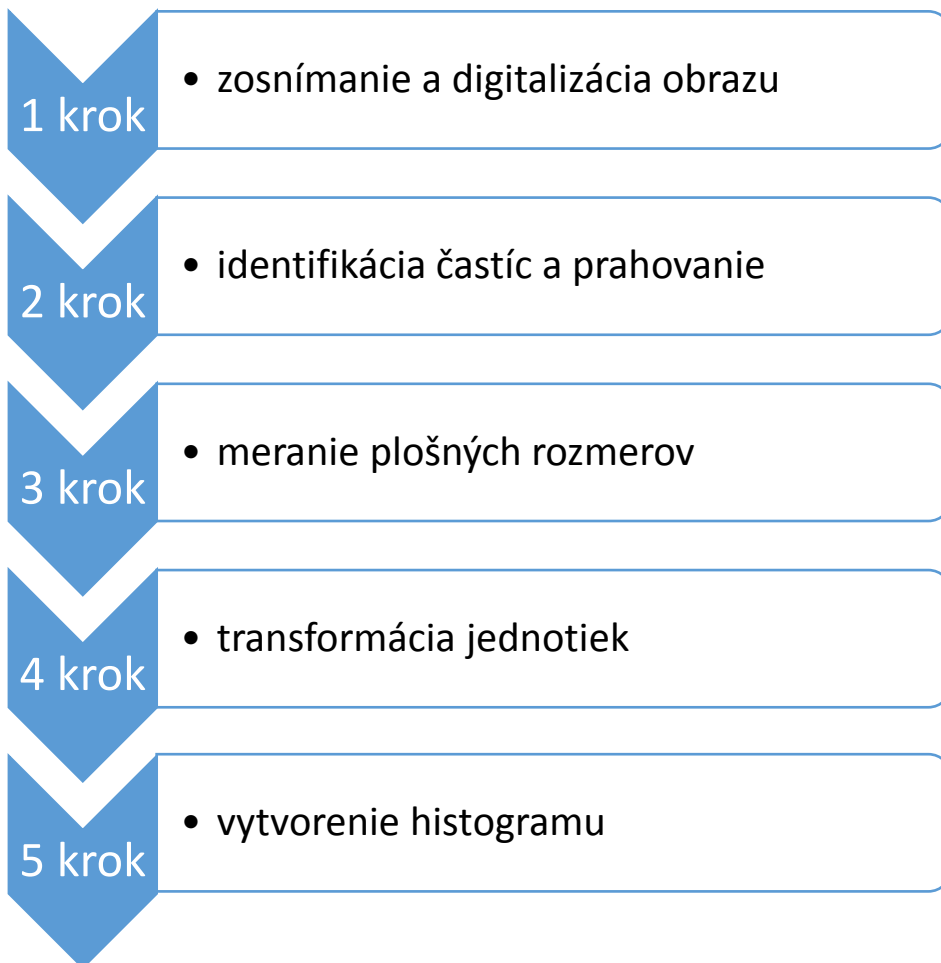


Obr. 5) Reálne rozostavenie experimentálneho setu

## 6.2 Stanovenie distribučnej veľkosti častíc aerosólu

Veľkostná distribúcia častíc aerosólu rezných kvapalín bola zaznamenávaná pomocou vysokorýchlostnej kamery – OLYMPUS I-SPEES 2. Vysokorýchlostná kamera bola umiestnená vo výške 1200 mm od podlahy.

Vysokorýchlostnou kamerou boli natočené videá s rýchlosťou záznamu 1000 snímok za 1 sekundu, pričom záznam trval približne 5sekúnd vzhľadom na obmedzenie kapacity ukladania snímok vysokorýchlostnej kamery. Rýchlosť spúšte (trigger) bola nastavená tak, aby nedošlo k rozmazaniu záberov. Pracovisko bolo nasvietené tak, aby zábery boli maximálne kontrastné. Pomocou nastavenia hĺbky ostrosti na objektíve (clona 1,8), bola zaostrená len veľmi úzka oblasť, ktorá bola priamo v osi obrábania. Tým boli odfiltrované častice, ktoré sa nachádzali mimo osi obrábania. Počas merania boli menené podmienky obrábania (rýchlosť otáčok vretena sústruhu, prietoková rýchlosť ) a menil sa typ používanej reznej kvapaliny.



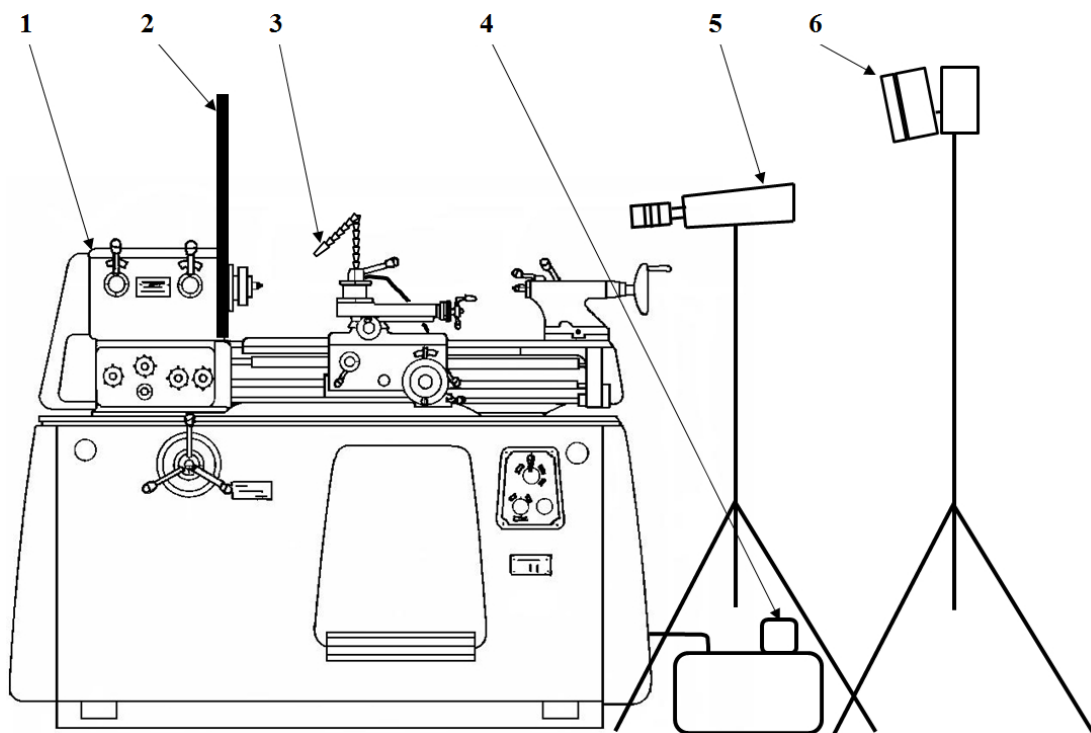
Obr. 6) Postup pri stanovení veľkostnej distribúcie

Videá spracované v softvérovej aplikácii ImageJ. Tu bola z otvorených videí vytvorená sekvencia obrázkov (vždy dlhá 1 s) – teda 1000 snímok. V sérii snímok bola upravená úroveň kontrastu a svetelnosti pomocou funkcie treshold. Podľa nastaveného prahu bol obraz



následne binarizovaný, pričom obrazové body s jasom v danej zložke farby väčším než bola zadaná hodnota prahu, boli nahradené čiernym bodom, ktorý predstavuje hľadané častice. Body s menším alebo rovným jasom boli nahradené bielou farbou a predstavovali tak okolie častíc. Vhodnou voľbou prahu boli merané objekty v obraze ponechané a pozadie objektov bolo odstránené.

V ďalšom kroku pomocou bikubickej interpolácie (tzv. upscaling) bolo trojnásobne zvýšené rozlíšenie obrazu. Potom bola zmeraná priemerná plocha častice (v priebehu všetkých snímok, na ktorých sa objavila), ktorá sa prejavovala lokálnou zmenou jasov pixelov. Namerané rozmery boli prepočítané pomocou mierky, ktorá udáva prevod z obrazových jednotiek (pixelov) do metrických jednotiek (mm), určených z nameranej dĺžky mierky, umiestenej v obraze pri kalibrácii kamery. Ekvivalentný priemer častice predstavuje priemer kruhu s rovnakým obsahom, ako má skúmaná častica, pričom táto častica nemusí mať kruhový charakter. Potom bol pre každé meranie vytvorený zoznam častíc, ktorým bola priradená plocha. Do úvahy pritom neboli brané častice s priemerom väčším ako  $6 \text{ mm}^2$ , z dôvodu eliminovania odleskov na plochách. Následne bol vypočítaný ekvivalentný priemer častíc pre identifikované častice a zoznam bol usporiadaný podľa veľkosti častíc v tabuľkovom editore MS Excel.



Obr. 7) Schéma experimentálneho setu

1- sústruh, 2- čierna tabuľa, 3 – dýza chladiaceho systému stojan, 4 – nádrž reznej kvapaliny s čerpadlom, 5 – vysokorýchlostná kamera, 6 – osvetlenie

### 6.3 Softvérový program FIJI (ImageJ)

V posledných rokoch sa s prijatím automatizovaných mikroskopických technológií zvýšil objem a zložitosť obrazových dát až na úroveň kde nie je možné získať informácie bez použitia počítačov. Následok bol že sa vedci čoraz viac spoliehajú na počítačových vedcov, aby prišli s novými riešeniami a na softvér, ktorým by mohli tieto riešenia aplikovať. V najjednoduchšej forme počítačová analýza obrazu prekonáva obmedzenia a zaujatosť ľudského pozorovateľa. Ešte dôležitejšie je, že počítače boli nevyhnutné pre spracovanie obrázkov vytvorených počas vysoko výkonnej mikroskopie. Zobrazovanie jediných nedotknutých malých organizmov je teraz uskutočniteľné s vysokým rozlíšením v 2d a 3d, čoho výsledkom sú masívne obrazové súbory dát, ktoré sú ďaleko od stupnice prístupné subjektívnym pozorovaním. Analýza oboch typov obrazových údajov vyžaduje techniky počítačového videnia napríklad na sledovanie relevantných objektov v priestore a čase.

Algoritmy na dosiahnutie týchto úloh boli vyvinuté pre prirodzené obrazy. Matematické formulácie algoritmov je potrebné preniesť do prostredia, ktoré je prístupné vedcom. Takéto prostredie musí poskytovať intuitívne a komplexné mechanizmy na uplatňovanie algoritmu na vedecké údaje a vizualizáciu výsledkov užívateľsky prívetivým spôsobom. Veľkosť obrazových údajov vyžaduje, aby algoritmy bežali rýchlo.

Existuje niekoľko komerčných (napr. Imaris, Volocity, Amira) a Open Source (napríklad ImageJ, CellProfiler, Vaa3D, BioImageXD, Icy, KNIME atď.) platforiem pre analýzu obrazu. Komerčné platformy sa často zameriavajú na jednoduché použitie a široké pokrytie úloh spracovania obrazu zameraných na relatívne neskúsených používateľov. Takmer vždy sú skryté hlavné detaily dostupných algoritmov spracovania obrazu, ktoré nie sú vhodné na riešenie otázok hraničného výskumu. Tieto podrobnosti sú naopak úplne transparentné v platformách Open Source, ako je ImageJ, ktorých dlhá existencia, rozsiahla adopcia a rozširujúca sa architektúra pluginov z nej robí nástroj pre vedcov zo širokej škály disciplín.

Fiji predstavuje výkonné softvérové knižnice pre rýchli prenos z algoritmickej objavov na praktické nástroje na analýzu obrazu. Jadrové algoritmy dostupné na Fidži možno využiť v širokom spektre skriptovacích jazykov. Fiji poskytuje robustný distribučný systém, ktorý zabezpečuje, aby nové algoritmy dosiahli čo najskôr svoju širokú užívateľskú základňu a iniciovali integračné zdokonalenie založené na komunikácii medzi vývojármi a používateľmi.

### 6.4 Stanovenie hmotnostnej koncentrácie aerosólu

Hmotnostná koncentrácia bola meraná vo Zvolene, kde bola aj spracovaná pomocou laserového fotometra – DustTrak DRX, ktorý využíva princíp rozptylu svetla v reálnom čase. Fotometre sú ideálne pre priemyselnú hygienu a sú veľmi žiaduce pre použitie ako napr. monitorovanie pracovného prostredia a osobnej expozícií pracovníka voči prostrediu, monitorovanie emisií, validácia technických kontrol a pod. Tieto prístroje môžu byť použité na meranie pevných aj kvapalných aerosólov, ako napr. prach, hmla, dym, výfukové plyny atď. Fotometre sú citlivé na distribúciu veľkosti častíc, hustotu a index lomu odoberaného

aerosólu. Výrobcovia fotometrov dovoľujú preto na odstránenie týchto citlivostí užívateľovi nastaviť vlastný kalibračný faktor.

Prístroj DustTrak DRX meria veľkosti častice v rozmedzí 0,1 – 15  $\mu\text{m}$  a hmotnostnú koncentráciu medzi 0,001 – 150  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Hmotnostná koncentrácia je zaznamenávaná a prepočítaná do nasledovných hmotnostných frakcií: PM1, PM2,5, PM4/Respirabilná, PM10/Torakálna a TPM – celková hmotnostná koncentrácia.



Obr. 8) Laserový fotometer DustTrak [13]

Základný princíp merania prostredníctvom laserového fotometra spočíva v tom, že aerosól je vtiahnutý do snímačej komory v nepretržitom prúde pomocou membránového čerpadla. Časť prúdu aerosólu je oddelená snímacou komorou a prechádza cez HEPA filter. Neskôr je aerosól privádzaný späť do komory okolo vstupnej dýzy ako ochranný prúd. Zvyšná časť prúdu aerosólu, nazývaná vzorkový prietok, prechádza cez vstupnú snímaciu komoru. Tu je prúd aerosólu osvetlený a tvarovaný svetlom laserovej diódy. Svetlo vyžarované z laserovej diódy prechádza cez kolimačnú šošovku a potom cez valcovú šošovku, čím sa vytvára tenká vrstva svetla. Pozlátené sférické zrkadlo zachytáva významnú časť časticami rozptýleného svetla, ktorá je sústredovaná na detektor svetelného žiarenia.

Spracovanie signálu sa však líši od typu použitého fotometra. Fotometrické napätie je úmerné hmotnostnej koncentrácii a jednotlivé impulzy z fotometra sa dajú použiť aj na stanovenie počtu jednotlivých častíc.

Ako je uvedené na schéme, signál fotodiódy je rozdelený do dvoch častí, a to: fotometrický signál (napätie) a jednotlivé impulzy častíc. Napätie na fotometri je úmerné podielu PM2,5 z celkového množstva vzorkovaného aerosólu v širokom rozsahu koncentrácií (DustTrak DRX).

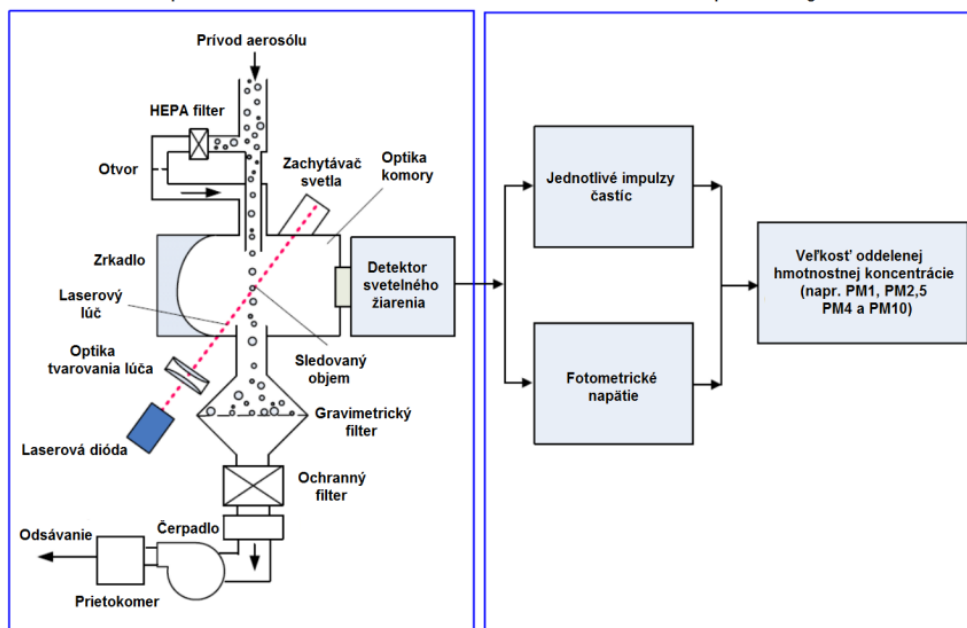
Na začiatku je nutné vykonať kalibráciu prístroja, ktorá sa uskutočňuje počas merania. Následným prepočítaním nameraných hodnôt pomocou korekčného (kalibračného) faktora dostávame reálnu veľkosť hmotnostnej koncentrácie. Korekčný faktor je hodnota získaná z podielu gravimetrickej koncentrácie a koncentrácie určenej pomocou optiky.

Pre meranie hmotnostnej koncentrácie aerosólu rezných kvapalín sme zvolili čas odberu vzorky 20 minút pre každú kombináciu podmienok obrábania a každý druh použitej reznej kvapaliny. Objemový prietok odobranej vzorky v prístroji DustTrak bol 2 l/min. Odberová

hlavica bola pripojená k prístroju pomocou tygónovej hadice v mieste, ktoré predstavuje dýchaciu zónu pracovníka sústruhu. Na obrázkoch je znázornené experimentálne zariadenie pre stanovenie hmotnostnej koncentrácie generovaného aerosólu pomocou laserového fotometra – DustTrak DRX.

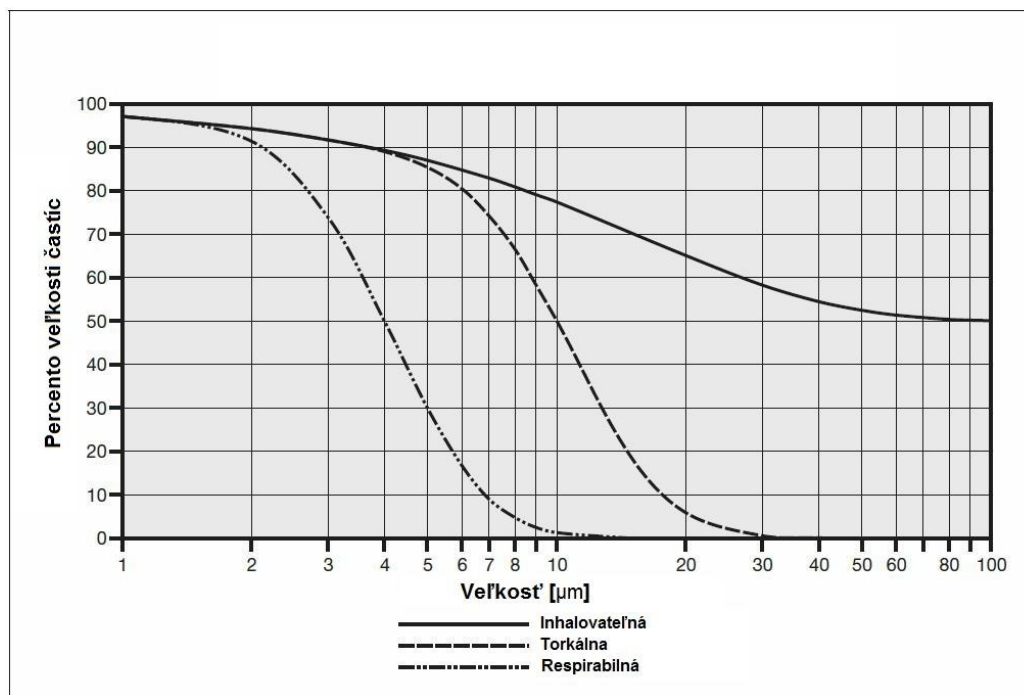
Tab 3) Technické parametre laserového fotometru DustTrak

Typ senzora	90° rozptyl svetla
Rozsah veľkosti častíc	0,1 - 15 $\mu\text{m}$
Rozsah koncentrácie aerosólu	0,001 - 150 $\text{mg}/\text{m}^3$
Displej	veľkosť rozdelená do hmotnostných frakcií: PM1, PM2,5, Respirabilná, PM10 a Celková; všetky sú zobrazené na displeji
Rozlíšenie	$\pm 0,1\%$ zo snímania alebo 0,001 $\text{mg}/\text{m}^3$ , podľa toho, čo je väčšie
Nulová stabilita	$\pm 0,002$ $\text{mg}/\text{m}^3$ za 24 hodín pri 10 sekundovej časovej konštante
Prietok	3 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$
Presnosť prietoku	$\pm 5\%$ z nastavenej hodnoty, vnútorný prietok regulovaný
Teplotný koeficient	+0,001 $\text{mg}/\text{m}^3$ na $^{\circ}\text{C}$
Prevádzková teplota	0 - 50 $^{\circ}\text{C}$
Skladovacia teplota	-20 - 60 $^{\circ}\text{C}$
Prevádzková vlhkosť	0 - 95 % RV, bez kondenzácie
Časová konštanta	nastaviteľná užívateľom, 1 - 60 sekúnd
Záznam dát	5 MB vlastná pamäť (> 60 000 dát) 45 minút v 1 minútovom intervale záznamu
Interval záznamu	nastaviteľný užívateľom, 1 sekunda - 1 hodina
Komunikácia	USB (host a device) a Ethernet. Uložené dáta dostupné pomocou flash disku
Rozmery	13,5 x 21,6 x 22,4 cm



Obr. 9) Schéma merania laserového fotometru DustTrak [14]

Pri meraní kontaminácie pracovného prostredia kvapalným aerosólom sa použila vysokorýchlostná kamera, aby sa demonštrovala použiteľnosť tejto metódy. Až následným vyhodnotením sa zistil fakt že najmenšia možná merateľná častica má priemer 0,071mm. Vyššie spomenuté respiračné problémy spôsobujú častice, ktorých priemer je menší ako 0,071mm. Konkrétne sa jedná o frakcie torkálne a respirabilné (viď obr. 10).

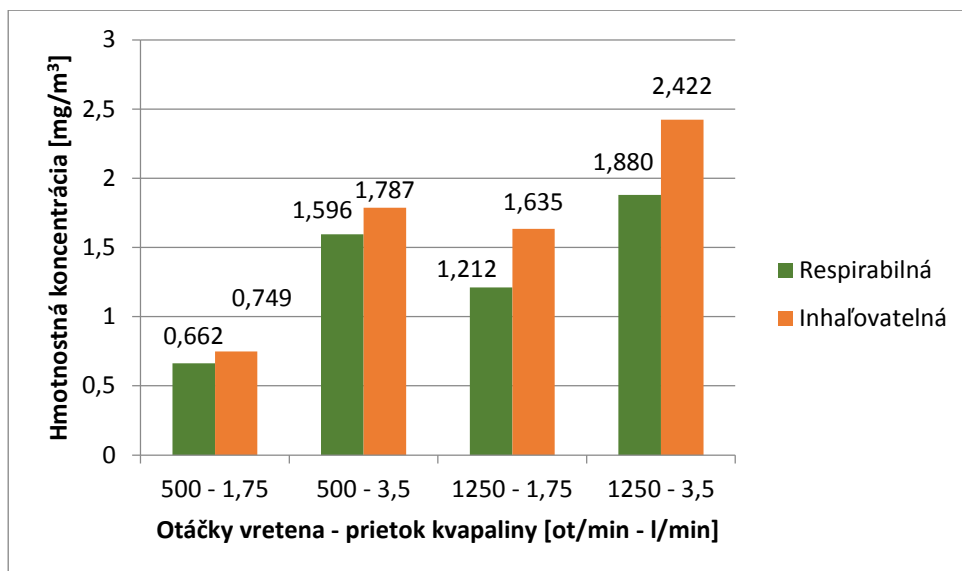


Obr. 10) Veľkosť respirabilných, torkálnych a inhalovateľných častíc [15].

Vzhľadom na zistenú skutočnosť sa do diplomovej práce ako doplnenie k výsledkom prevzali hodnoty z nezávislého merania. Toto meranie zastrešila FEVT TU vo Zvolene.

Pretože FSI VUT v Brne a FEVT TU vo Zvolene medzi sebou spolupracujú boli poskytnuté tieto hodnoty na doplnenie. Samotne meranie prebehlo na rovnakom sústruhu a za rovnakých podmienok ako naše, ale na rozdiel od nás použili aj vyššie spomenutú metódu na meranie hmotnostnej koncentrácie, ktorá je schopná tieto malé častice zachytiť a vyhodnotiť ich hmotnostnú koncentráciu.

V grafe (obr. 11) je porovnaná hmotnostná koncentrácia respirabilnej a inhalovateľnej frakcie v závislosti od otáčok vretena sústruhu a prietoku reznej kvapaliny.



Obr. 11) Koncentrácia respirabilnej a inhalovateľnej frakcie

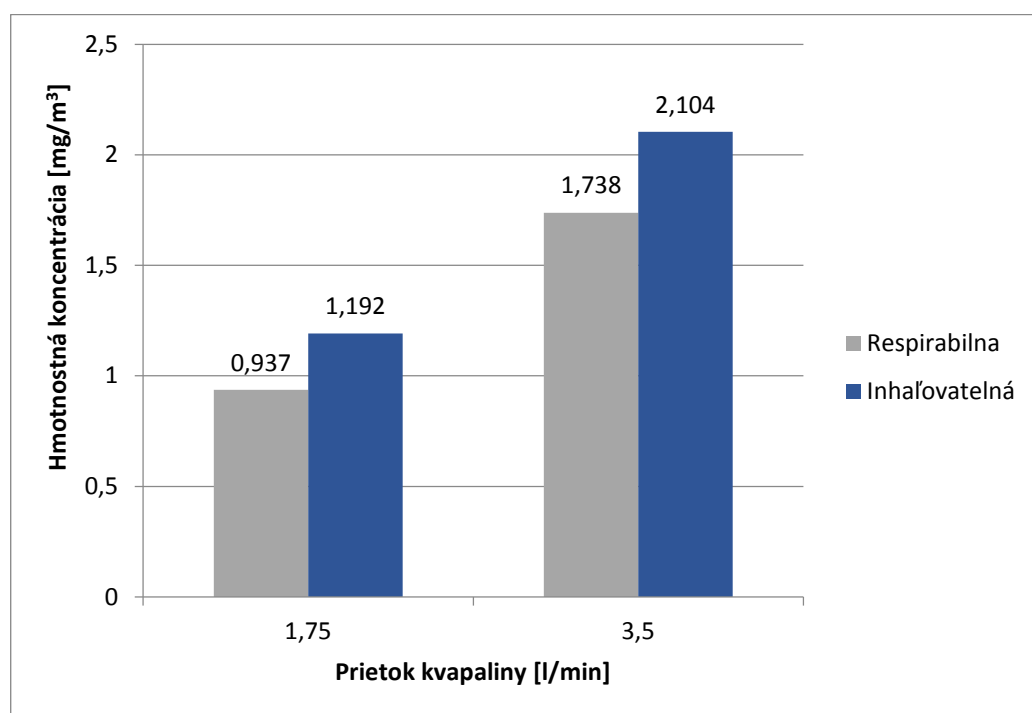
Najvyššia hodnota hmotnostnej koncentrácie, pri použití syntetickej kvapaliny (5 %), podľa obr. 11, bola pri otáčkach 1250 ot./min. a prietoku 3,5 l/min. Najnižšia hodnota hmotnostnej koncentrácie bola pri otáčkach 500 ot./min. a prietoku 1,75 l/min.

Pri nižších otáčkach vretena sústruhu, bez ohľadu na prietok, v porovnaní s vyššími otáčkami vretena sústruhu, bol vyšší podiel respirabilnej frakcie (Tab. 4).

Tab 4) Percentuálny podiel respirabilnej frakcie z celkového množstva kvapalného aerosólu pri rôznych podmienkach.

Otáčky - Prietok [ot./min - l/min]	Kvapalina
500 - 1,75	88,37%
500 - 3,5	89,33%
1250 - 1,75	74,13%
1250 - 3,5	77,61%

Hodnoty hmotnostnej koncentrácie boli väčšie pri rýchlosti prietoku reznej kvapaliny (Obr. 12) 3,5 l/min v porovnaní s hodnotami hmotnostnej koncentrácie kvapalného aerosólu, ktorý bol generovaný pri rýchlosti prietoku reznej kvapaliny 1,75 l/min pre obe porovnávané frakcie.



Obr. 12) Hmotnostná koncentrácia

Analýza rozptylu pre hmotnostnú koncentráciu bola vyhodnotená len pre inhalovateľnú frakciu, pretože obsahuje najväčšie častice. Pri vyhodnocovaní distribučnej veľkosti častíc bolo možné identifikovať najmenšie častice s priemernou veľkosťou iba 70,1  $\mu\text{m}$ , a z toho dôvodu bola analýzou rozptylu vyhodnocovaná len inhalovateľná frakcia.

Z uvedeného je zrejмый vplyv rýchlosti otáčok vretena sústruhu a rýchlosti prúdenia reznej kvapaliny na hmotnostnú koncentráciu generovaného aerosólu. Hmotnostná koncentrácia celkového množstva kvapalného aerosólu aj respirabilnej frakcie sa so zvyšujúcimi otáčkami vretena sústruhu a so zvyšujúcou prietokovou rýchlosťou reznej kvapaliny zväčšuje. Pri inhalovateľnej frakcii hmotnostná koncentrácia kvapalného aerosólu sa so zvyšujúcou rýchlosťou otáčok zväčšuje.

Možné vzniknuté chyby merania mohli byť spôsobené tvorbou dlhej triesky, kedy viditeľne dochádzalo k náhlej zmene množstva atomizovanej reznej kvapaliny. Tvar triesky sa v podstate mení náhodne aj pri stálych rezných podmienkach. Zmenu tvaru spôsobuje meniaci sa ohybový moment v koreni triesky.

Ďalším faktorom, ktorý mohol mať vplyv na výsledky merania, bolo skľučovadlo. Tu dochádzalo k odrazu kvapiek reznej kvapaliny, čím sa tiež zvyšovalo množstvo atomizovaného kvapalného aerosólu.

Výsledky mohli byť ovplyvnené aj nepresným stanovením kalibračného faktora pri kalibrácii prístroja.



## 7 VÝSLEDKY A ZHODNOTENIE

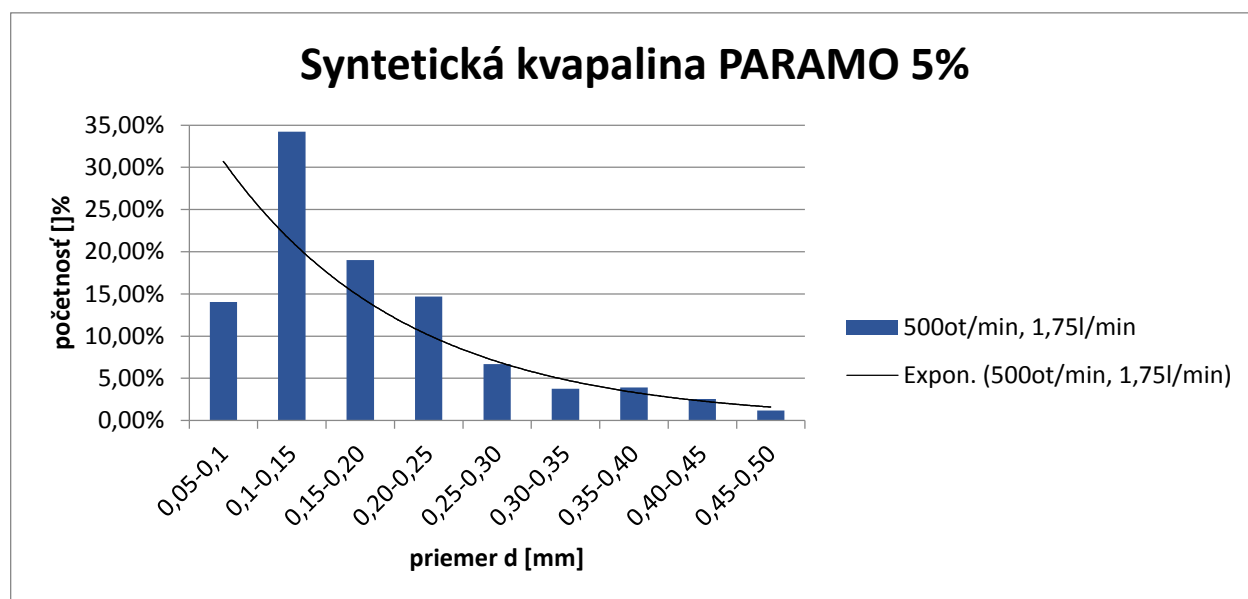
### 7.1 Distribučná veľkosť častíc

Grafy (Obr. 13-16) znázorňujú početností rozdelené do jednotlivých intervalov (frakcií). Pre každý interval sa určila kvantitatívna hodnota (početnosť), určujúca koľko jednotiek súboru nadobúda hodnoty z daného intervalu. Triediacim znakom bol zisťovaný priemer častice generovaného aerosólu.

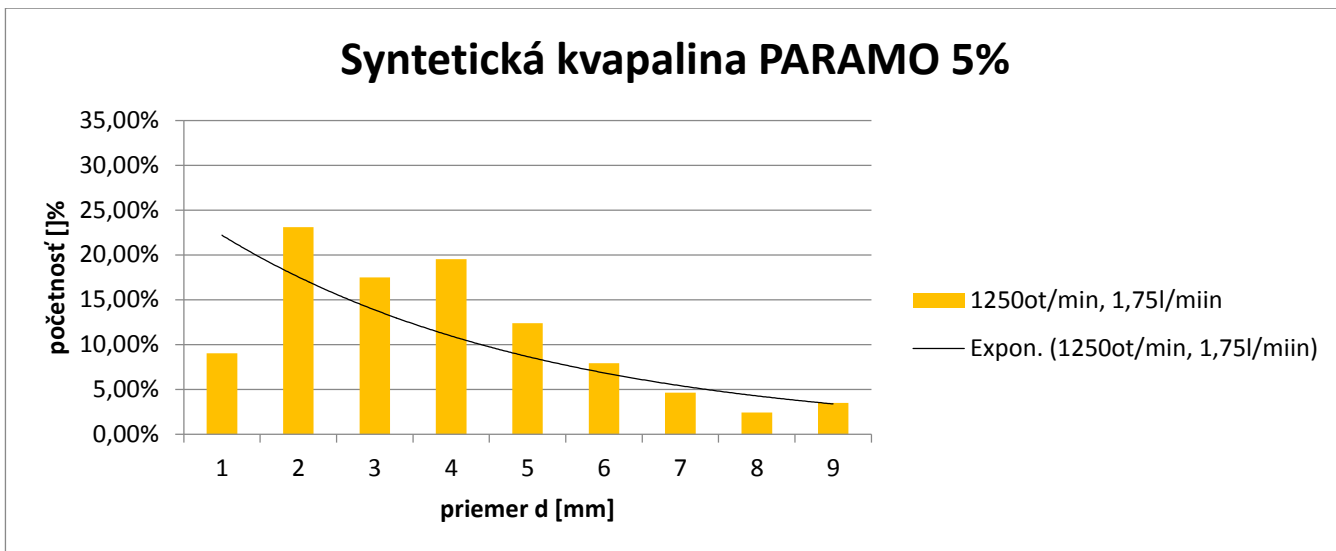
Pre náš výskum sú najvýznamnejšie častice s priemerom menším ako 0,01 mm, pretože z tejto skupiny sa kumulujú častice aerosólov, ktoré najdlhšie ostávajú v pracovnom ovzduší a súčasne predstavujú aj najvýznamnejšie riziko znečistenia chemickým alebo biologickým faktorom.

Minimálna limitujúca veľkosť častíc, ktorú bolo možné pri danej metodike vyhodnotenia pomocou vysokorýchlostnej kamery identifikovať, bola 0,071 mm, ktorá sa nachádza v intervale 0,05 – 0,10 mm. Avšak najpočetnejšou frakciou bol interval hodnôt priemerov častíc 0,10 – 0,15 mm.

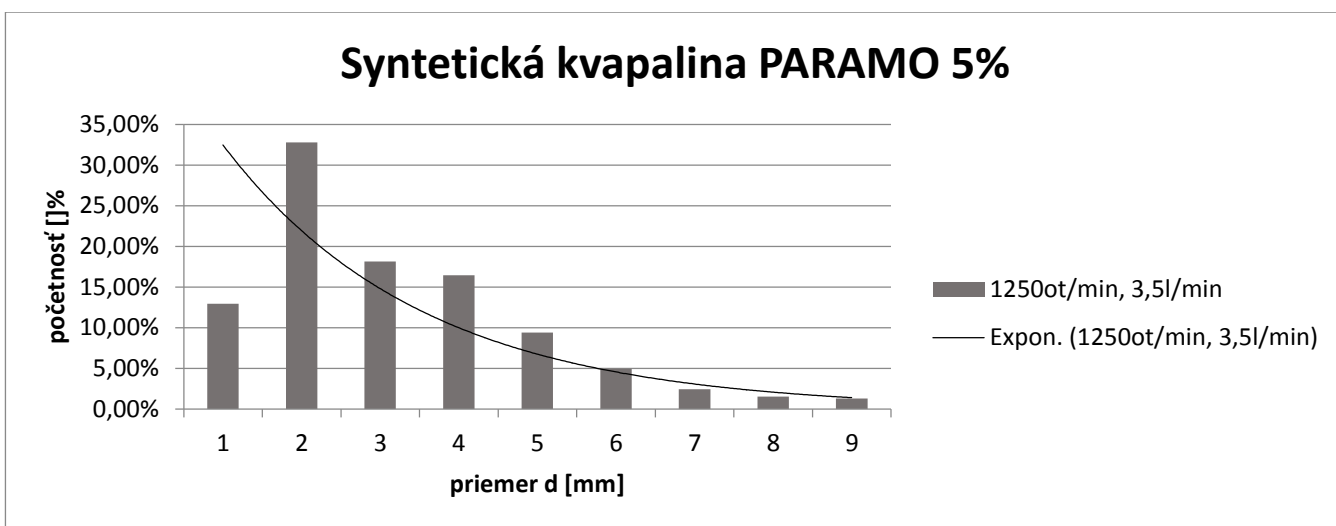
Uvedené obmedzenia detekcie veľkosti častíc sú dôsledkom toho, že vzhľadom na tvar a formu generovaného aerosólu je potrebné snímať s vysokým rozlíšením relatívne veľkú časť pracovného priestoru.



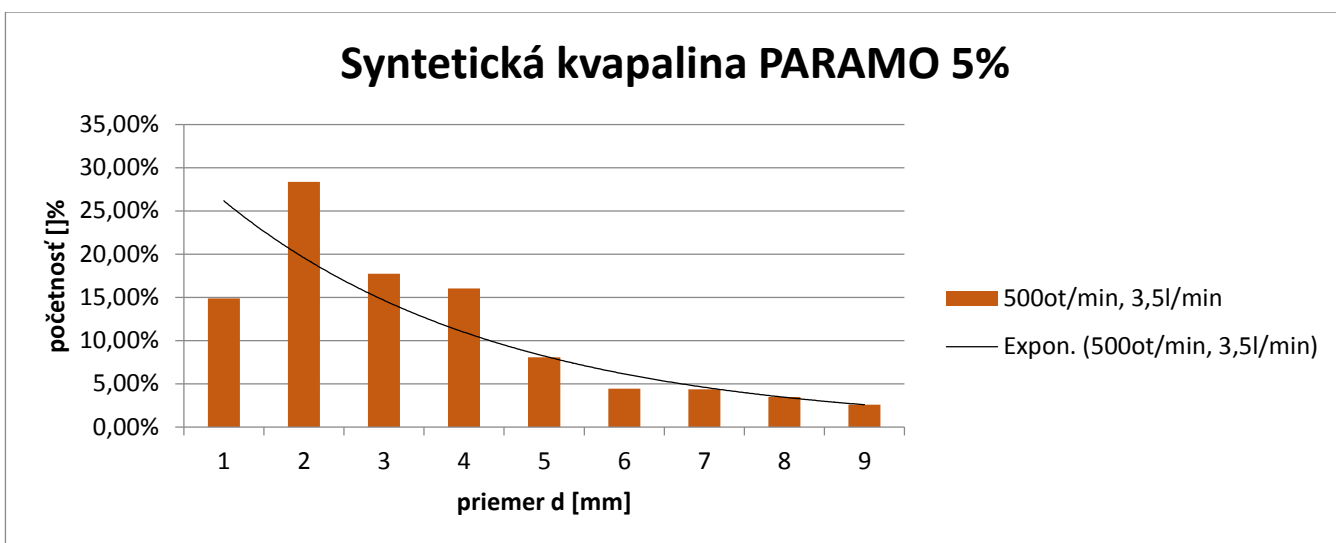
Obr. 13) Graf početnosť frakcií



Obr. 14) Graf početnosti frakcií



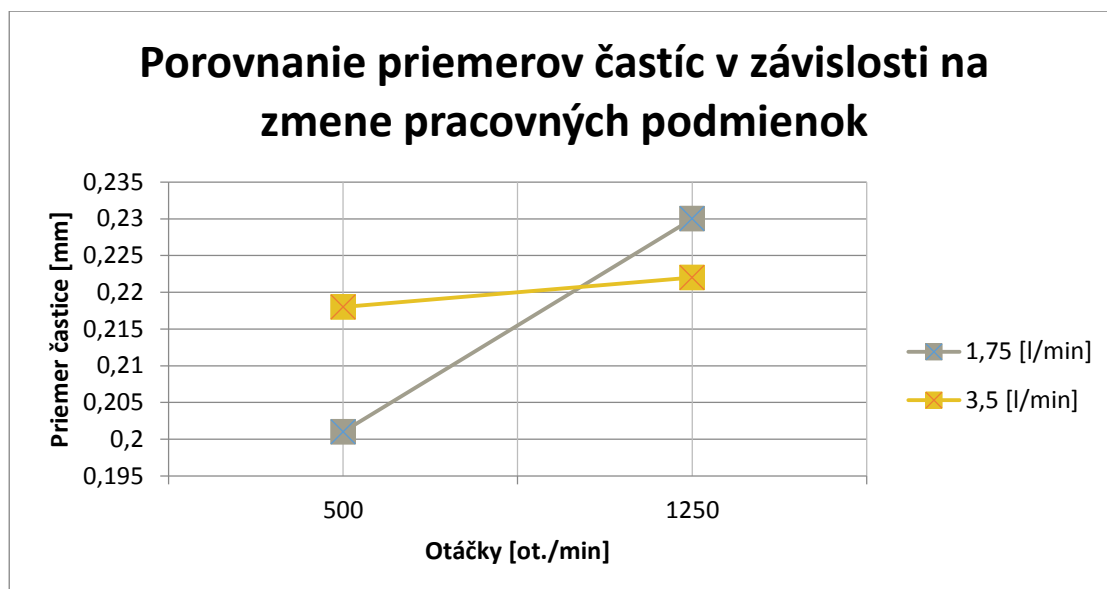
Obr. 15) Graf početnosti frakcií



Obr. 16) Graf početnosti frakcií

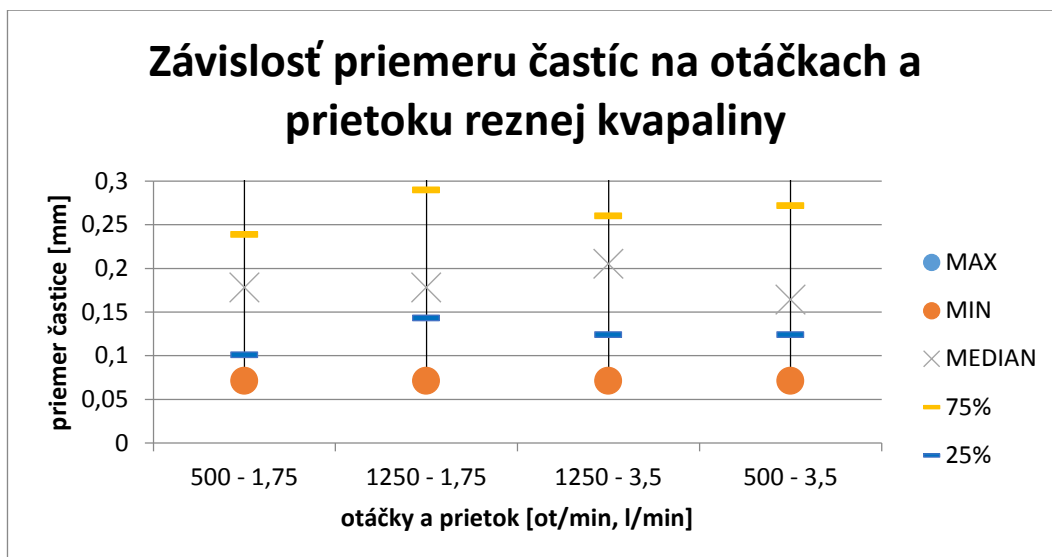
Najväčšie percentuálne zastúpenie ekvivalentného priemeru častíc 0,05 – 0,10 mm (teda častíc, ktoré ostávajú najdlhšie v pracovnom ovzduší) bolo 14,90 % generovaných pri rezných podmienkach 500 ot./min a prietoku 3,5 l/min. Naopak najmenšie percentuálne zastúpenie ekvivalentného priemeru častíc 0,05 – 0,10 mm bolo 9,01 % , generované pri rezných podmienkach 1250 ot./min a prietoku procesnej kvapaliny 1,75 l/min (obr. 14). Z najpočetnejšej frakcie 0,10 – 0,15 mm bolo najväčšie percentuálne zastúpenie ekvivalentného priemeru častíc 34,23% bolo generovaných pri pracovných podmienkach 500 ot./min a prietoku chladiacej kvapaliny 1,75 l/min, najnižšie percentuálne zastúpenie tejto frakcie bolo 23,10 % pri pracovných podmienkach 1250 ot./min a prietoku procesnej kvapaliny 1,75 l/min (obr. 14).

Z obr. 17 vyplýva, že otáčky vretena a prietok reznej kvapaliny majú štatisticky signifikantný vplyv na veľkosť (priemer) generovaných častíc kvapalného aerosólu. Pri prietoku 1,75 l/min sa pri zvýšení otáčok výraznejšie zväčšil priemer častíc, ako v prípade, kde bol prietok 3,5 l/min.



Obr. 17) Porovnanie priemerov častíc v závislosti na zmene pracovných podmienok

V grafe (obr. 18) je najmenší medián (0,164 mm) pri rezných podmienkach 500 ot./min a prietoku 3,5 l/min, naopak najväčší medián (0,205 mm) bol pri 1250 ot./min a prietoku 3,5l/min. Rovnaký medián (0,178 mm) bol dosiahnutý v dvoch prípadoch za podmienok 500 ot./min a prietoku 1,75 l/min a 1250 ot./min a prietoku 1,75 l/min.



Obr. 18) Závislosť priemeru častíc na otáčkach a prietoku reznej kvapaliny

Priemer najmenšej častice spolu s mediánom je možné vidieť na obr. 18. Najmenšia častica 0,071mm bola limitovaná kvôli použitej technike. Medián pri rôznom prietoku chladiacej kvapaliny a rôznej reznej rýchlosti vyšiel podobný neboli zaznamenané väčšie rozdiely takisto aj vyber hodnôt, kde sa eliminovalo najmenších 25% častíc a najväčších 25% častíc vyšiel pri rôznych rezných podmienkach podobný.

## 8 ZHODNOTENIE A DISKUSIA

V súčasnosti sa čoraz viac začína klásť dôraz na ekologické povedomie, ktoré so sebou ťahá pozornosť a prísnejšie predpisy a zákony. Ochrana zamestnancov pri rizikách spojených s expozíciou kvapalného aerosólu pri použití rezných kvapalín prešla značným vývojom a z monitorovania kvapalného aerosólu pomocou rôznych pokusov sa prešlo ku priamej kontrole emisii na pracovisku pri zdroji kvôli riziku expozície na základe poznatkov o mechanizme vzniku emisii a ich rozptyle v pracovnom ovzduší.

Charakteristiku (hmotnostná koncentrácia a veľkostnú distribúciu) generovaného kvapalného aerosólu v procese sústruženia kovov ovplyvňuje viacero faktorov. Tieto faktory je možné rozdeliť do troch skupín, ktoré charakterizujú vlastnosti reznej kvapaliny (koncentrácia, stupeň znečistenia, teplota, doba používania atď.), spôsob aplikácie reznej kvapaliny (rýchlosť prúdenia) a parametre obrábania (rýchlosť otáčok vretena, priemer obrobku atď.) Na základe informácií o významnosti vplyvu jednotlivých faktorov na tvorbu kvapalného aerosólu pri sústružení kovov sme pre potreby experimentu identifikovali dva faktory : rýchlosť otáčok vretena sústruhu a rýchlosť prietoku reznej kvapaliny. Na stanovenie jednotlivých charakteristík generovaného kvapalného aerosólu existuje viacero metód (prístrojov). V experimente sme na meranie hmotnostnej koncentrácie a veľkostnej distribúcie použili kombináciu gravimetrickej metódy a obrazovej analýzy.



## 9 ZÁVER

Kvôli sprísňujúcim sa zákonom sa začal v súčasnosti klásť väčší doraz na ochranu zdravia pri práci. Spotrebitelia sa tak nesmú pri výbere procesnej kvapaliny riadiť len ekonomickými a technologickými požiadavkami, ale musia dbať na ďalšie faktory ako karcinogenita, toxicita a iné. Okrem chemických faktorov sa z hľadiska účinkov na zdravie pri práci poukazuje na rovnako dôležité spolupôsobenie biologických faktorov.

Moderné vysokorýchlostné sústruženie zatiaľ nie je možné prevádzať bez procesnej kvapaliny, čo spôsobuje, že sa chladiaca kvapalina dostáva do prostredia v podobe výparov a aerosólov, ktoré sa v ovzduší držia dlhšiu dobu. Tento fakt spôsobuje kontakt obsluhy s aerosólom prostredníctvom kože a vdýchnutie respirabilnej frakcie do pľúc.

Tato práca sa venuje kontaminácii pracovného ovzdušia kvapalným aerosólom ktorý vzniká pri sústružení kovov. Začiatok práce je venovaný podrobnému opisu klasifikácie jednotlivých druhov rezných kvapalín, ich významu, použitiu, kritériám výberu a základným mechanizmom tvorby a správania sa kvapalného aerosólu.

Na zistenie množstva kvapalného aerosólu v pracovnom ovzduší ma veľký význam výber vhodnej metódy stanovenia kontaminácie pracovného prostredia. V práci je opísaných viacero metód merania aerosólu, pričom sú spomenuté ich výhody, ale aj slabšie stránky.

Ďalej bola v diplomovej práci spracovaná štúdia vyhodnotenia kontaminácie pracovného prostredia kvapalným aerosólom, kde sa sledovala veľkostná distribúcia kvapalného aerosólu pre 5% syntetickú procesnú kvapalinu. Merania boli uskutočnené na experimentálnom zariadení pozostávajúcom z hrotového sústruhu, ktorý bol doplnený univerzálnym chladiacim systémom. Sledovali sa 2 faktory : vplyv otáčok vretena na veľkostnú distribúciu a vplyv prietoku reznej kvapaliny na veľkostnú distribúciu kvapalného aerosólu.

Distribučná veľkosť častíc bola sledovaná pomocou optickej metódy, kde sa využívala vysokorýchlostná kamera, pomocou ktorej sa záznam previedol do digitálnej podoby. Programom ImageJ sa urobila obrazová analýza, ktorá vyhodnotila, koľko častíc bolo zaznamenaných a aký mali priemer. Najväčší vplyv na distribučnú veľkosť majú otáčky vretena, na druhom mieste bol prietok chladiacej kvapaliny.

Vzhľadom na použitú techniku bolo možné zaznamenať najmenšiu časticu s priemerom 0,071mm, čo spôsobilo, že sa nedali zaznamenať respirabilná a torkálne častice, teda častice, ktoré sa v prípade torkálnej veľkosti dostanú za hltan a v prípade respirabilnej frakcie až do pľúc. Aby bolo možné zaznamenať aj tieto priemery častíc. musela by sa použiť lepšia technika, ktorá by umožňovala väčšie rozlíšenie, kvalitnejšia optika, nasvetlenie, atď. aby sa dali rozoznať aj takto malé častice.

Práca obsahuje prevzaté hodnoty, ktoré slúžia na doplnenie respirabilných priemerov častíc, ktoré sa pomocou použitej techniky nedali zachytiť. Tieto materiály boli zaznamenané na rovnakom sústruhu vo Zvolene za rovnakých podmienok, avšak bola použitá technika merania hmotnostnej koncentrácie pomocou prístroja DustTrak, ktorý dokázal zaznamenať aj takto malé častice.

Záverom treba spomenúť doporučené nápravné opatrenia, ktoré by znížili počet častíc a hmotnostnú koncentráciu, ktorej je vystavená obsluha. V prvom rade by na sústruhoch mali byť nainštalované kryty, ktoré zabraňujú úniku časticiam kvapalného aerosólu do priestoru, kde sa nachádza obsluha. Tieto kryty majú zabudovane filtre, ktoré zachytávajú častice

aerosólu. S týmto faktom súvisí požiadavka na pravidelnú údržbu filtrov, aby bola zabezpečená ich správna funkčnosť. Ďalším odporúčením je nainštalovať odvetranie, ktoré by počas prevádzky sústruhu stíhalo odsávať častice kvapalného aerosólu, aby znížilo expozíciu pracovníka na minimum. Nápravným opatrením pre zníženie expozície pracovníka kvapalným aerosólom sú pravidelné prestávky, poprípade striedanie obsluhy v určitých časových intervaloch. Prestávky alebo striedania majú za následok, že obsluha nebude vystavená kvapalnému aerosólu kontinuálne. Ochranné pomôcky ako rukavice a filtračné masky sú odporúčané vybavenie obsluhy, aby sa znížil počet vdýchnutých častí na minimum. Pri dermatologických problémoch je voľba ochranných pomôcok ťažšia. Obsluha nemôže pri výkone na rukách nosiť rukavice pre hrozbu vtiahnutia prstu na otáčajúci sa obrobok. V tomto prípade by som zvolil ako opatrenie krém na ruky, ktorý by na koži udržiaval mastný film, ktorý by zabráňoval priamemu kontaktu padajúceho kvapalného aerosólu s kožou.



## 10 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] BÁTORA, B. *Obrábanie kovov a metrológia*. Nitra: SPU, 1995. ISBN 80-7137-196-3.
- [2] HNILICA, Richard, Miroslav DADO a Marián SCHWARZ. *Kontaminácia pracovného ovzdušia kvapalnými aerosólmi pri sústružení kovov*. Zvolen, 2013. ISBN 979-80-228-2616-7.
- [3] ČILÍKOVÁ, M, J PILC a D STANČEKOVÁ. *Rezné kvapaliny a ich aplikácie*. 1 vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2005. ISBN 80-8070-428-7.
- [4] SEMANOVÁ, Petra. *Výskum procesu generovania disperzie aerosólu v pracovnom ovzduší pri obrábaní kovov*. Zvolen, 2015. Dizertačná práca. Technická univerzita vo zvolene. Vedúci práce Doc. Ing. Marián Kučera, PhD.
- [5] Skřehot P.A., Marek J., Skřehotová M., Píšala J. In *Aktuálne otázky bezpečnosti práce*, 2015, sborník příspěvků, ISBN 978-80-553-2302-2
- [6] NISHIMURA, Hidekazu, Soichiro SAKATA a Akikazu KAGA. *A new methodology for studying dynamics of aerosol particles in sneeze and cough using a digital high-vision, high-speed video system and vector analyses*. 2013.
- [7] YONG PYO, Kim a John H SEINFELD. *Simulation of multicomponent aerosol dynamics*. California Institute of Technology, 1992.
- [8] KULKARNI, Pramod, Paul A. BARON a Klaus WILLEKE. *Aerosol measurement : principles, techniques and applications*. [online]. Wiley, 2011 [cit. 2017-05-12]. ISBN 9781118001677.
- [9] ČILÍKOVÁ, M, J PILC a J MÁDL. *Top trendy v obrábaní: Procesné médiá*. 6 vyd. Bratislava: MEDIA/ST, 2008.
- [10] DADO, M, P SEMANOVÁ a M KUČERA. *Vplyv vybraných technologických parametrov sústruženia na veľkostnú distribúciu kvapalného aerosólu reznej kvapaliny*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-150-4.
- [11] FIŠEROVÁ, S. *Aerosoly v pracovním ovzduší v provozu aglomerace hutního podniku. Integrovaná bezpečnost*. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2010. ISBN 978-80-8096-133-6.

- [12] <https://www.zadania-seminarky.sk/esej/turning-sustruzenie/1606>
- [13] <http://www.directindustry.com/prod/tsi/product-22441-1061587.html>
- [14] <http://scialert.net/fulltext/?doi=tasr.2014.43.53&org=10>
- [15] <http://www.labconserv.com/air-testing/industrial-hygiene/particulates-not-otherwise-regulated-niosh-0500-0600-mdhs-144/respirable-dust-particulates-sampling-by-niosh-0600-and-mdhs-144/>

# 11 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

## 11.1 Zoznam tabuliek

TAB 1) ÚČEL ADITÍV V REZNÝCH KVAPALINÁCH.....	23
TAB 2) ZDRAVOTNÉ RIZIKÁ RÔZNYCH DRUHOV REZNÝCH KVAPALÍN.....	26
TAB 3) TECHNICKÉ PARAMETRE LASEROVÉHO FOTOMETRU DUSTTRAK.....	44
TAB 4) PERCENTUÁLNY PODIEL RESPIRABILNEJ FRAKCIE Z CELKOVÉHO MNOŽSTVA KVAPALNÉHO AEROSÓLU PRI RÔZNYCH PODMIENKACH. ....	46

## 11.2 Zoznam obrázkov

OBR. 1) ZÁKLADNÝ PRINCÍP SÚSTRUŽENIA [12].....	17
OBR. 2) ATOMIZÁCIA REZNEJ KVAPALINY [4].....	33
OBR. 3) ŠTÁDIA ROTAČNEJ (CENTRIFÚGOVEJ) ATOMIZÁCIE [4] .....	34
OBR. 4) GRAVIMETRICKÁ METÓDA SCHÉMA .....	37
OBR. 5) REÁLNE ROZOSTAVENIE EXPERIMENTÁLNEHO SETU .....	39
OBR. 6) POSTUP PRI STANOVENÍ VEĽKOSTNEJ DISTRIBÚCIE .....	40
OBR. 7) SCHÉMA EXPERIMENTÁLNEHO SETU.....	41
OBR. 8) LASEROVÝ FOTOMETER DUSTTRAK [13] .....	43
OBR. 9) SCHÉMA MERANIA LASEROVÉHO FOTOMETRU DUSTTRAK [14].....	45
OBR. 10) VEĽKOSŤ RESPIRABILNÝCH, TORKÁLNYCH A INHALOVATEĽNÝCH ČASTÍC [15]. ....	45
OBR. 11) KONCENTRÁCIA RESPIRABILNEJ A INHALOVATEĽNEJ FRAKCIE .....	46
OBR. 12) HMOTNOSTNÁ KONCENTRÁCIA .....	47
OBR. 13) GRAF POČETNOSŤ FRAKCIÍ .....	49
OBR. 14) GRAF POČETNOSTI FRAKCIÍ.....	50
OBR. 15) GRAF POČETNOSTI FRAKCIÍ.....	50
OBR. 16) GRAF POČETNOSTI FRAKCIÍ.....	50
OBR. 17) POROVNANIE PRIEMEROV ČASTÍC V ZÁVISLOSTI NA ZMENE PRACOVNÝCH PODMIENOK.....	51
OBR. 18) ZÁVISLOSŤ PRIEMERU ČASTÍC NA OTÁČKACH A PRIETOKU REZNEJ KVAPALINY .....	52



# 12 ZOZNAM PRÍLOH

CD