



## **Středoškolská technika 2016**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

**Pravidla výběru a použití správného polymeru pro ekologické projekty  
při filtraci spalin v uhelných elektrárnách**

**Rules of the appropriate polymer selection and application at ecological projects  
of flue gas filtration at coal fired power plants**

**Petr Musil**

**První soukromé jazykové gymnázium Hradec Králové, spol. s r. o.**

**Brandlova 875, Hradec Králové 3, PSČ 500 03**

## **Poděkování**

Děkuji odborným konzultantům, panu Petru Musilovi, panu Janu Andreovskému a vedoucí práce paní Lindě Schmutzerové za jejich aktivní přístup a obětavost v průběhu celého projektu.

Děkuji společnosti MGF Gutsche, jmenovitě generálnímu řediteli panu Michaelu Gutsche za to, že mi bylo umožněno se zapojit do programu „GUTSCHE Academy“, mohl jsem se účastnit odborných seminářů a aktivně využívat laboratoří a R&D centra v sídle společnosti, ve městě Fulda v Německu.

## **Anotace**

Práce se zabývá metodikou výběru správného typu polymeru pro filtrační média, která jsou následně využita při průmyslové filtraci tuhých látek v uhelných elektrárnách, konkrétně při spalování hnědého uhlí v teplárně United Energy, a.s. Komořany.

V první části jsou popsány vlastnosti různých polymerů, které se běžně pro filtraci používají a průběh verifikace volby správného typu polymeru. Druhá část práce je zaměřena na verifikaci volby konstrukce filtračního média ve vazbě na procesní podmínky konkrétního provozu v teplárně United Energy, a.s. Komořany. Obě výše uvedené části byly provázeny laboratorním testováním polymerů a filtračních médií v laboratořích a R&D centru společnosti MGF Gutsche v Německu.

Třetí část je zaměřena na hodnocení prvních výsledků zvoleného polymeru a filtračního média v konkrétních provozních podmínkách po 3 měsících provozu.

Cílem práce je metodicky popsat proces výběru správného typu polymeru, filtračního média pro průmyslovou filtraci plynů a způsob ověření této volby kontrolou parametrů po určité době praktického používání. Průmyslová filtrace tuhých částic (prachu) v průmyslových provozech je velmi důležitým článkem ochrany životního prostředí. I přes to není pro akademické nebo odborné prostředí žádná ucelená metodika, která by proces výběru polymeru a filtračního média stanovila či popisovala. Proto je cílem této práce tyto procesy popsat, komentovat a odůvodňovat způsoby testování, aby mohly být tyto výsledky použity jako metodický podklad pro akademickou a odbornou veřejnost.

**Klíčová slova:** polymer; průmyslová filtrace; filtrační médium; vlákno; jehlová plst'.

## **Annotation**

This thesis is related to the methods of the appropriate polymer selection for the filtration media used for industrial filtration (dedusting of solid particles) at coal fired power plants, in this particular case at the burning (combustion) of the brown coal in the heating plant United Energy, a.s. Komořany.

In the first part there are described the properties of various polymers that are commonly used for filtration and the course of verification of the choice of the correct type of polymer. Second part of the work is focused on the verification of the choice of the construction of filtration medium in the connection with process conditions of the particular operation in the heating plant United Energy, a.s. Komořany. Both parts that are described above were accompanied by the laboratory testing of the polymers and filtration media in the laboratories and R&D centre of the company MGF Gutsche in Germany.

Third part is focused on the evaluation of the first (preliminary) results of the chosen polymer and filtration medium in the particular operating conditions after 3 months of operation.

The aim of this work is to describe methodically the process of choosing the right/correct type of polymer, filtration medium for the industrial filtration of gases and the way of verification of this choice through the control of parameters after the definite period of the practical usage. Industrial filtration of solid particles (dust) in the industrial operations is a very important part of environment protection. Still, there is no comprehensive methodology for academic and professional environment, which would determine or describe the choice of polymer or filtration medium. The aim of this thesis is to describe those processes, comment and justify the ways of testing so that the results can be used as a methodical background for academicians and professionals.

**Key words:** polymer, industrial filtration, filtration medium, fibre, needlefelt.

# Obsah

<b>Úvod a cíl práce .....</b>	<b>6</b>
Výběr tématu .....	6
Cíl práce .....	6
Spolupráce .....	6
Využití výsledků .....	7
<b>1. Teoretická část práce .....</b>	<b>8</b>
1.1 Typy polymerů, které se používají pro výrobu filtračních médií .....	8
1.2 Vlastnosti polymerů, jejich silné a slabé stránky .....	8
1.3 Typy filtračních médií .....	8
1.4 Procesní podmínky při spalování uhlí v teplárně United Energy Komořany .....	10
<b>2. Praktická část práce .....</b>	<b>12</b>
2.1 Metodika .....	12
2.1.1 Výběr vhodného typu polymeru dle jejich vlastností .....	12
2.1.2 Výběr vhodného typu filtračního média ve vazbě na procesní podmínky .....	14
2.1.3 Kontrola polymeru metodou DSC .....	15
2.1.4 Kontrola účinnosti filtračního média dle VDI/DIN 3926 .....	17
2.1.5 Kontrola filtračního média (elementu) v provozních podmínkách .....	18
2.2 Výsledky .....	19
2.2.1 Testování vybraného typu polymeru v laboratořích metodou DSC .....	19
2.2.2 Testování vybraného typu filtračního média dle VDI/DIN 3926 .....	21
2.2.3 Porovnání návrhu polymeru a filtračního média s výběrem MGF Gutsche .....	23
2.2.4 Zpracování výsledků filtračního elementu po 3 měsících provozu .....	25
2.3 Vyhodnocení výsledků .....	28
<b>Diskuse .....</b>	<b>30</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>31</b>
<b>Použitá literatura .....</b>	<b>32</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>33</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>34</b>

## Úvod a cíl práce

### Výběr tématu

Téma „Pravidla výběru a použití správného polymeru pro ekologické projekty při filtraci spalin v uhelných elektrárnách“ bylo zvoleno z důvodu mého zájmu o práci, kterou se můj tatínek zabývá celý profesní život. Téma ekologie a životního prostředí je velmi důležité, protože ovlivňuje kvalitu života všech lidí a netýká se jenom nás, ale i dalších generací. Protože mě vedle sportu přitahovala vždy technika a chemie, vybral jsem si toto téma, které se úzce technicky zaměřuje na kvalitu ovzduší, zejména ovlivněnou průmyslovou výrobou velkých podniků. Výběr tématu je hodně ovlivněn tím, že jsem od malička trávil hodně času s tatínkem v práci a v praxi viděl výsledky jejich práce. Kouřící komíny před realizací řešení a čisto nad komíny po ní.

### Cíl práce

Cílem práce je provést verifikaci samotného procesu výběru správného typu polymeru, filtračního média a filtračního elementu. Cílem není najít nová řešení, které nikdo neobjevil, ale krok po kroku popsat způsob, jak ke správnému řešení dojít. Samotný proces návrhu řešení vyžaduje znalost mnoha oborů – chemie, procesního inženýrství, energetiky, strojírenství, textilní výroby a celé řady dalších. Dle dostupných informací neexistuje žádná metodická informace, jak celý proces výběru provádět. Nevyučuje se tento obor samostatně ani na technických vysokých školách. Proto je ambicí mé práce metodicky popsat celý proces výběru správného typu polymeru a filtračního média, komentovat ho, odůvodňovat způsoby testování, aby mohly být tyto výsledky použity jako metodický podklad pro akademickou a odbornou veřejnost.

### Spolupráce

Jak jsem se již zmínil, hlavním motivem pro moji práci byla inspirace výsledky práce mého tatínka, který je předním odborníkem v oblasti technických aplikací, procesního inženýrství a průmyslové filtrace plynů a spalin ve společnosti MGF Gutsche GmbH & Co. KG v Německu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o společnost, která má aktivity po celém světě a velmi se stará o rozvoj a výchovu nových, vlastních odborníků, bylo mi umožněno zapojit se do programu „Gutsche Academy“, který mi umožnil čerpat všechny důležité informace, využívat technická zázemí společnosti a aktivně vstoupit i do probíhajících projektů.

Díky tomu jsem mohl svoji práci zaměřit na projekt odprášení teplárny United Energy, a.s. Komořany v České republice. Zde mi velmi pomohl Ing. Jan Andreovský, Ph.D., který je zodpovědný za technická řešení v teplárně United Energy, a.s. Komořany.

V obou případech bylo pro moji práci velmi důležité, že podpora společnosti MGF Gutsche GmbH & Co. KG a United Energy, a.s., nespočívala pouze ve zpřístupnění technických informací, ale i v možnosti využívat technická zázemí a pohybovat se přímo v provozech obou společností.

## **Využití výsledků**

Protože se nevyučuje tento obor samostatně na technických vysokých školách, mohou být závěry této práce použity jako metodický manuál pro výuku, popř. jako odborný materiál pro odborníky z průmyslových provozů, kteří zodpovídají za čistotu ovzduší. Pokud se výsledky této práce nestanou metodickým manuálem pro výuku, mohly by být alespoň dobrým námětem pro technické fakulty vysokých škol, aby se tomuto oboru věnovaly do hloubky a komplexně.

# 1. Teoretická část práce

## 1.1 Typy polymerů, které se používají pro výrobu filtračních médií

Prof. Ing. Vratislav Ducháček, DrSc. ve své knize „POLYMERY, výroba, vlastnosti, zpracování, použití“ se zmiňuje o tom, že obecně označujeme velké epochy rozvoje lidstva podle typu materiálu, který lidem v dané době sloužil. Proto mluvíme o době kamenné, bronzové, železné apod. Dnešní dobu můžeme z tohoto hlediska oprávněně označit za dobu polymerní. Ve své knize také definuje polymery jako chemické látky, které mají velmi širokou škálu vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, v některých případech i dusíku, chloru a jiných prvků. Polymery, jako výrobní produkt bývají většinou v tuhém stavu, výjimečně i v kapalném (Ducháček, 2006).

## 1.2 Vlastnosti polymerů, jejich silné a slabé stránky

Polymery jsou až na výjimky základním produktem pro výrobu vláken a technických plstí, které jsou hlavním představitelem filtračních médií. V níže uvedené tabulce jsou uvedeny polymery, jejich některá obchodní jména (Trol, Trevira, Nomex, Teflon, apod.) a jejich vlastnosti. Vlastnosti polymerů včetně jejich teplotních odolností jsou velmi důležité pro správnou volbu do konkrétních procesních podmínek, kde má být použito filtrační médium.

Tabulka 1: Typy polymerů, ze kterých se vyrábí filtrační média a jejich základní vlastnosti (MUSIL, 2012)

vlákno	označení vláken (zkratka)	teplotní odolnost provozní (špičková)	odolnost proti hydrolyze	odolnost proti kyselinám	odolnost proti alkáliím	odolnost proti oxidaci	odolnost proti rozpouštědlům
Polypropylen	PP	90°C (100°C)	1	1	1	4	2
Polyolefin TROL	POF (RO)	125°C (130°C)	1	1	1	4	2
Polyester TREVIRA, ...	PE	150°C (150°C)	4	3	3-4	2	3
Polyacrylnitril (hom) DOLANIT, RICEM	hom. PAN (PAN)	125°C (140°C)	2	2	3	2	2
Polyacrylnitril (cop)	cop. PAN (PAN)	110°C (115°C)	2	3	3	2	2
M-aramid NOMEX, ...	AR	200°C (220°C)	2-3	3	3	2	1
Polyphenylsulfid PROCON, RYTON, ...	PPS	190°C (200°C)	1	1	1	3	1
Polyimid P84	PI	240°C (260°C)	2	2	3	2	2
Polyamid-imid KERMEL	PA-PI	180°C (190°C)	2	3	3	2	2
Polytetrafluorethylen TEFLON, PROFILEN, RASTEX	PTFE	250°C (280°C)	1	1	1	1	1
Sklo	GLS	250°C (280°C)	2	2	3	1	1

LEGENDA (hodnocení odolnosti): 1 = výborná, 2 = dobrá, 3 = omezená, 4 = špatná

## 1.3 Typy filtračních médií

Filtrační média se začala používat již v počátcích dvacátého století. Jednalo se o tkaniny z přírodních vláken, převážně ze lnu a bavlny. V roce 1960 vyrobil první syntetické, netkané filtrační textilie v Evropě zakladatel společnosti MGF Gutsche GmbH & Co. KG, pan Eugen Gutsche. Na počátku 70. let 20. století se již filtrační netkané textilie (jehlové plstě) z polymerních materiálů začaly používat standardně a postupně zcela vytlačily tkané materiály z přírodních vláken. Ve velké míře se začaly používat pro výrobu



vláken polymerní materiály jako např. polyester, polyakrilnitril, polypropylen, m-aramid apod (Musil, *Základy filtrace*, 2012).

Dle informací Petra Musila v rámci Gutsche Academy, filtrační textilie - jehlové plstě (filtrační média) můžeme rozdělit z hlediska své konstrukce a účinnosti. Hlavní složkou je vlákenná vrstva, která garantuje účinnost filtrace, a nosná, podkladová tkanina, která zabezpečuje mechanickou stabilitu.



Obrázek 1: Příčný řez filtračním médiem – jehlovou plstí (MUSIL, 2012)

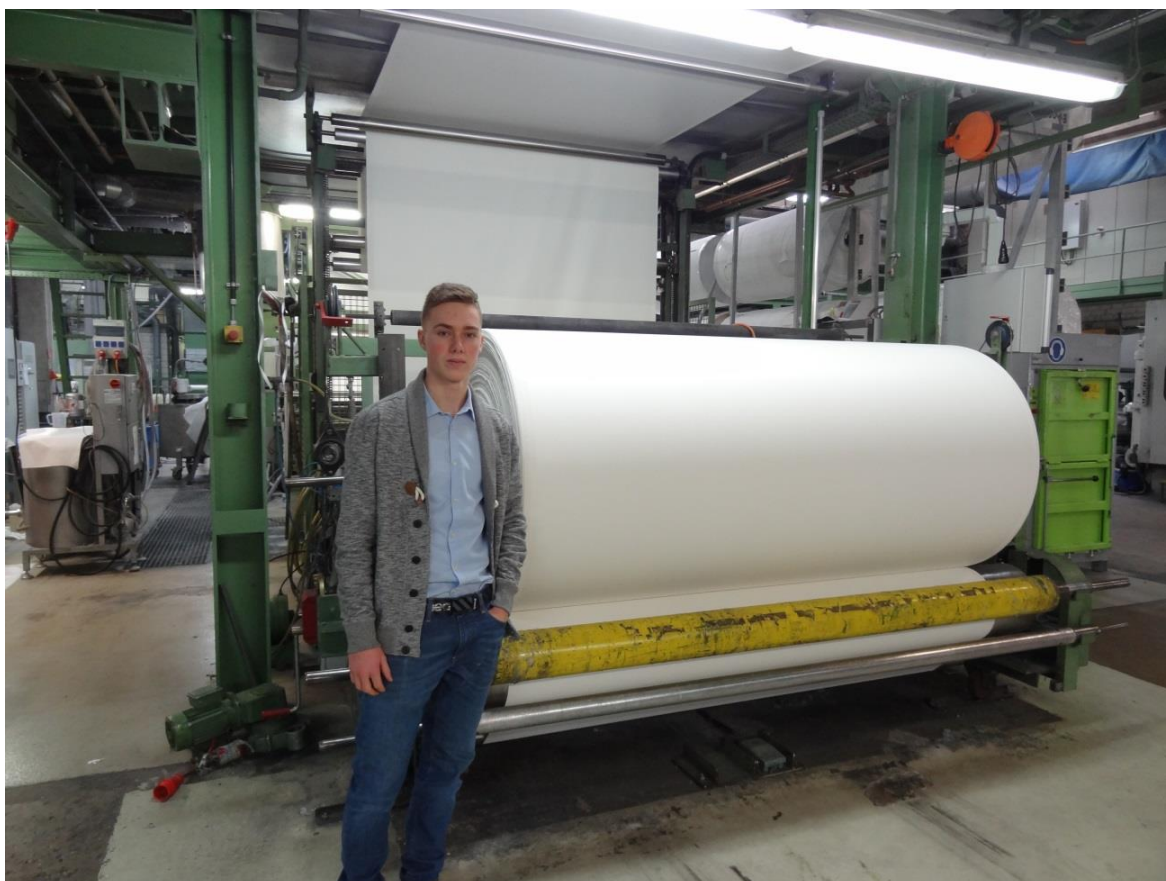
Účinnost jehlových plstí může být ovlivněna typem a jemností vláken, které jsou pro výrobu použita. Při odborných přednáškách v Gutsche Academy nám bylo prezentováno následující rozdělení:

- standardní jehlové plsti: vyráběno standardním způsobem vpichování ze standardních vláken (jemnost cca 3,3 - 7,0 dtex),
  - jehlové plsti s vyšší účinností: vyráběno standardním způsobem vpichování ze středně jemných vláken (jemnost cca 1,7 - 2,5 dtex),
  - jehlové plsti s vysokou účinností: vyráběno speciálním způsobem vpichování z jemných vláken a mikrovláken (jemnost cca 0,3 - 2,2 dtex),
- (Musil, *Základy filtrace*, 2012).

Tabulka 2: Rozdělení vláken dle jemností (MUSIL, 2012)

JEMNOST VLÁKEN (dtex)	OZNAČENÍ VLÁKNA
0,1 – 0,3	super-mikrovlákná
0,3 – 1,0	mikrovlákná
1,0 – 1,7 (2,2)	velmi jemná vlákna
2,2 – 3,3	středně jemná vlákna
3,3 – 5,0	jemná vlákna
5,0 – 7,0	hrubá vlákna

Wikipedie uvádí jednotku Tex, kterou se v textilním průmyslu určuje jemnost příze. Jednotka 1 tex představuje 1 gram hmotnosti na 1 kilometr délky. To znamená, že při jemnosti vlákna 1 tex se z 1 gramu vlákna vyrobí vlákno o délce 1 kilometr, resp. 1 dtex = 10.000 m vlákna (Wikipedie, editováno 2016).



Obrázek 2: Výroba jehlových plstí  
(Vlastní foto, 2015)

#### 1.4 Procesní podmínky při spalování uhlí v teplárně United Energy Komořany

Webové stránky společnosti United Energy uvádějí, že výstavba Elektrárny Komořany začala ještě během druhé světové války v roce 1943. První kotel a turbogenerátory byly uvedeny do provozu v roce 1951. V padesátých letech minulého století bylo do provozu uvedeno celkem 5 kotlů. V roce 1955 byla zahájena výstavba druhé etapy pod názvem Komořany II.

V současné době je v provozu 10 fluidních kotlů, které spalují hnědé, energetické uhlí. V provozu je 8 turbogenerátorů s instalovaným elektrickým výkonem 239 MWe. Teplárna vyrobí za rok ca 2.000 TJ (terajoule) tepelné energie a zásobuje více než 32 tisíc domácností (*www United Energy Komořany, 2015*).



Obrázek 3: United Energy Komořany v roce 1943  
(MUSIL, 2015)



Obrázek 4: United Energy Komořany v roce 2015  
(MUSIL, 2015)

Procesní podmínky při spalování uhlí jsou velmi důležité pro výběr správného způsobu filtrace. Filtrace neboli odlučování prachu se odborně nazývá filtračí nebo odlučováním tuhých znečišťujících látek (TZL). Způsoby filtrace a odlučování můžeme dělit následovně:

- mechanické odlučování / cyklony,
- elektrické odlučování,
- odlučování pomocí vodní clony / zkrápění,
- filtrace textilními filtry;

Nejúčinnější metodou se v praxi z hlediska účinnosti prokázal systém filtrace textilními, hadicovými filtry. Proto se v současné době při filtrači spalin ze spalování uhlí na celém světě využívají převážně textilní, hadicové filtry.

Základním parametrem pro výběr správného typu polymeru a konstrukci jehlové plsti je posouzení procesních podmínek (Musil, *Základy filtrace*, 2012).

Nejdůležitějšími parametry procesních podmínek jsou:

- objemový průtok spalin - (uvádí se v  $\text{Nm}^3\cdot\text{h}$ ),
- zatížení filtrační plochy - (uvádí se v  $\text{m}/\text{min}$ ),
- teplota spalin - (uvádí se v  $^{\circ}\text{C}$ ),
- typ spalování (fluidní, roštové, práškové, ...),
- vstupní koncentrace prachu (TZL) - (uvádí se v  $\text{g}/\text{Nm}^3$ ),
- chemické složení spalin:
  - obsah  $\text{O}_2$  - (uvádí se v % obj.),
  - obsah  $\text{H}_2\text{O}$  - (uvádí se v % obj.),
  - obsah  $\text{SO}_2$  - (uvádí se v  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),
  - obsah  $\text{NO}_x$  - (uvádí se v  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ),
- princip chemického čištění spalin,
- požadované emise prachu (TZL) za filtrem – (uvádí se v  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ); (Musil, *Spalovací procesy*, 2012).

Tabulka 3: Procesní podmínky v provozu teplárny United Energy, a.s. Komořany (MUSIL, 2015)





Procesní podmínka	hodnota	Jednotka
Objemový průtok spalin (max.)	352.000	$\text{Nm}^3/\text{h}$ .
Zatížení filtrační plochy	0,98	$\text{m}/\text{min}$ .
Teplota spalin	130 - 180	$^{\circ}\text{C}$
Typ spalování	Fluidní kotel se stacionárním ložem	-
Vstupní koncentrace prachu	107 – 190 (špičkově 250)	$\text{g}/\text{Nm}^3$
Obsah $\text{O}_2$	4 - 6	% obj.
Obsah $\text{H}_2\text{O}$	9 - 15	% obj.
Obsah $\text{SO}_2$	1.000 – 1.500	$\text{mg}/\text{Nm}^3$
Obsah $\text{NO}_x$	150 - 350	$\text{mg}/\text{Nm}^3$
Princip chemického čištění spalin	Suchá metoda – dávkování do fluidního lože	-
Požadované emise prachu za filtrem	$\leq 20$	$\text{mg}/\text{Nm}^3$

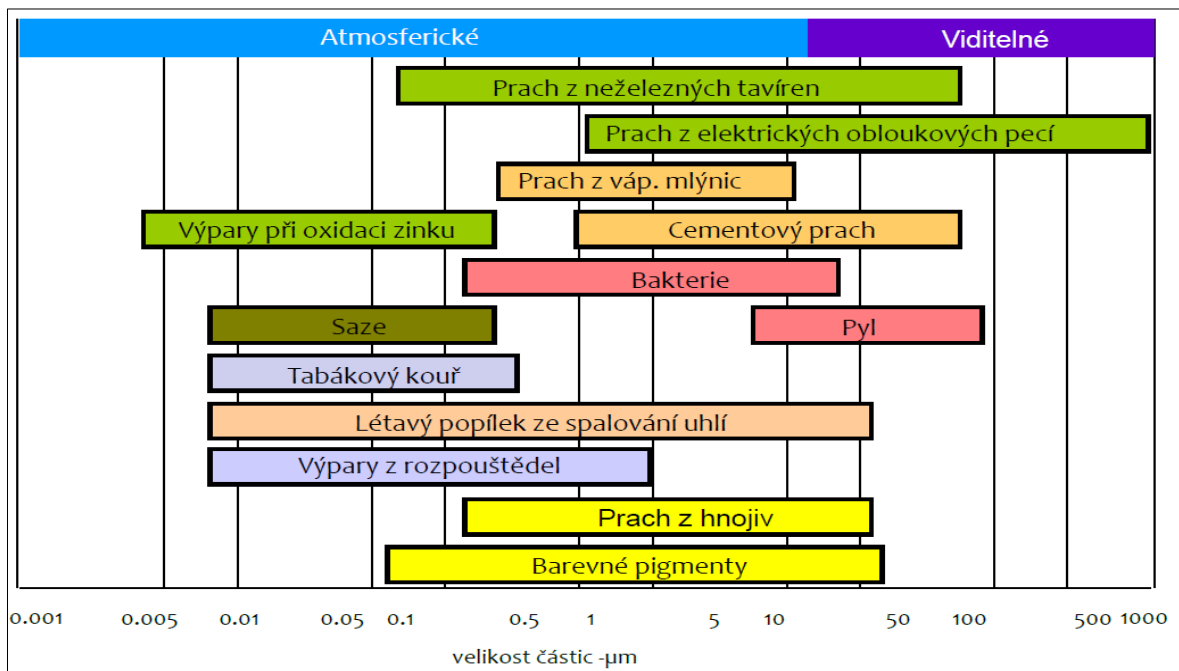
## 2. Praktická část práce

### 2.1 Metodika

Jako základ pro metodiku výběru správného typu polymeru a filtračního média jsem použil všechny dostupné informace o vlastnostech jednotlivých vláken a interní zkušenosti společnosti MGF Gutsche GmbH & Co. KG pro aplikaci filtračního média.

#### 2.1.1 Výběr vhodného typu polymeru dle jejich vlastností

- a. Jako první parametr pro výběr polymeru je provozní a špičková teplota spalin. Z procesních parametrů United Energy vyplývá teplota: 130-180°C.  
Výběr polymeru jsem provedl červenou barvou. — 
- b. Jako druhý parametr pro výběr polymeru jsem zvolil odolnost vůči kyselinám, protože spaliny obsahují 1.000-1.500 mg/Nm<sup>3</sup> oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>). Při přednášce v rámci Gutsche Academy na téma „Spalovací procesy a aplikační doporučení“ jsem se dozvěděl, že při spalování uhlí běžně dochází ke katalytické oxidaci SO<sub>2</sub> na SO<sub>3</sub> (SO<sub>2</sub> + ½ O<sub>2</sub> → SO<sub>3</sub>). V kombinaci s vlhkostí dochází následně k tvorbě kyseliny sírové H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, která může negativně působit na polymery.  
Výběr polymeru jsem provedl modrou barvou. — 
- c. Jako třetí parametr pro výběr polymeru jsem zvolil odolnost vůči alkáliím, protože v daném procesu dochází k řízené redukci oxidů síry SO<sub>2</sub> dávkováním aditiva uhličitanu sodného CaCO<sub>3</sub>, popř. oxidu vápenatého CaO. Zvýšená odolnost polymeru proti alkáliím může přinést celkově vyšší životnost filtračního média.  
Výběr polymeru jsem provedl okrovou barvou. — 
- d. Jako čtvrtý parametr pro výběr polymeru jsem zvolil jemnost a tvar vláken, které velmi významně ovlivňují účinnost filtračního média. V prezentaci „Základy filtrace a Gutsche filtrační média“ je uvedeno, že prachové částice ze spalování uhlí jsou velmi malé, v rozmezí 0,1 – 50 μm (viz obrázek číslo 7). Vzhledem k velmi jemnému prachu a požadavku na nízké výstupní emise prachu (TZL) za látkovým filtrem je nutné zvolit polymer s co možná největší jemností vláken. V této etapě výběru zůstávají pouze 2 možnosti, Polyphenylsulfid (PPS) a Polytetrafluorethylen (PTFE). Při prohlídce výroby filtračních médií jsem zjišťoval také používané jemnosti vláken, které se pro výrobu používají. U Polytetrafluorethylen (PTFE) se používá vlákno od 3,7 dtex výše, u Polyphenylsulfid (PPS) se používá standardně i mikrovlákná od jemnosti 0,3 dtex. Také se používají vlákna s jiným než kruhovým průřezem (trilobální tvar), což výrazně zvyšuje jejich aktivní povrch a účinnost filtrace. Z tohoto důvodu jsem zvolil použití polymeru Polyphenylsulfid (PPS).  
Výběr polymeru jsem provedl zelenou barvou. — 



Obrázek 5: Rozdělení prachových částic dle procesů a jemnosti (MUSIL, 2012)

Při výběru polymeru dle jejich vlastností jsem zvolil na základě selekce v bodech 3.1.1., a-d, polymer Polyphenylsulfid – PPS (*Musil, Základy filtrace*).

Tabulka 4: Proces výběru správného typu polymeru dle jejich vlastností (MUSIL, 2012)

vláknó	označení vláken (zkratka)	teplotní odolnost provozní (špičková)	odolnost proti hydrolyze	odolnost proti kyselinám	odolnost proti alkáliím	odolnost proti oxidaci	odolnost proti rozpouštědlům
<del>Polypropylen</del>	<del>PP</del>	<del>90°C (100°C)</del>	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>4</del>	<del>2</del>
<del>Polyolefin</del> TROL	<del>POF (RO)</del>	<del>125°C (130°C)</del>	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>4</del>	<del>2</del>
<del>Polyester</del> TREVIRA, ...	<del>PE</del>	<del>150°C (150°C)</del>	<del>4</del>	<del>3</del>	<del>3-4</del>	<del>2</del>	<del>3</del>
<del>Polyacrylnitril (hom)</del> DOLANT, RIGEM	<del>hom. PAN (PAN)</del>	<del>125°C (140°C)</del>	<del>2</del>	<del>2</del>	<del>3</del>	<del>2</del>	<del>2</del>
<del>Polyacrylnitril (cop)</del>	<del>cop. PAN (PAN)</del>	<del>110°C (115°C)</del>	<del>2</del>	<del>3</del>	<del>3</del>	<del>2</del>	<del>2</del>
<del>M-aramid</del> NOMEX, ...	<del>AR</del>	<del>200°C (220°C)</del>	<del>2-3</del>	<del>3</del>	<del>3</del>	<del>2</del>	<del>1</del>
Polyphenylsulfid PROCON, RYTON, ...	PPS	190°C (200°C)	1	1	1	3	1
<del>Polyimid</del> P84	<del>PI</del>	<del>240°C (260°C)</del>	<del>2</del>	<del>2</del>	<del>3</del>	<del>2</del>	<del>2</del>
<del>Polyamid-imid</del> KERMEL	<del>PA-PI</del>	<del>180°C (190°C)</del>	<del>2</del>	<del>3</del>	<del>3</del>	<del>2</del>	<del>2</del>
<del>Polytetrafluorethylen</del> TEFLON, PROFILLEN, RASTEX	<del>PTFE</del>	<del>250°C (280°C)</del>	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>1</del>	<del>1</del>
<del>Sklo</del>	<del>GLS</del>	<del>250°C (200°C)</del>	<del>2</del>	<del>2</del>	<del>3</del>	<del>1</del>	<del>1</del>

LEGENDA (hodnocení odolnosti): 1 = výborná, 2 = dobrá, 3 = omezená, 4 = špatná

## 2.1.2 Výběr vhodného typu filtračního média ve vazbě na procesní podmínky

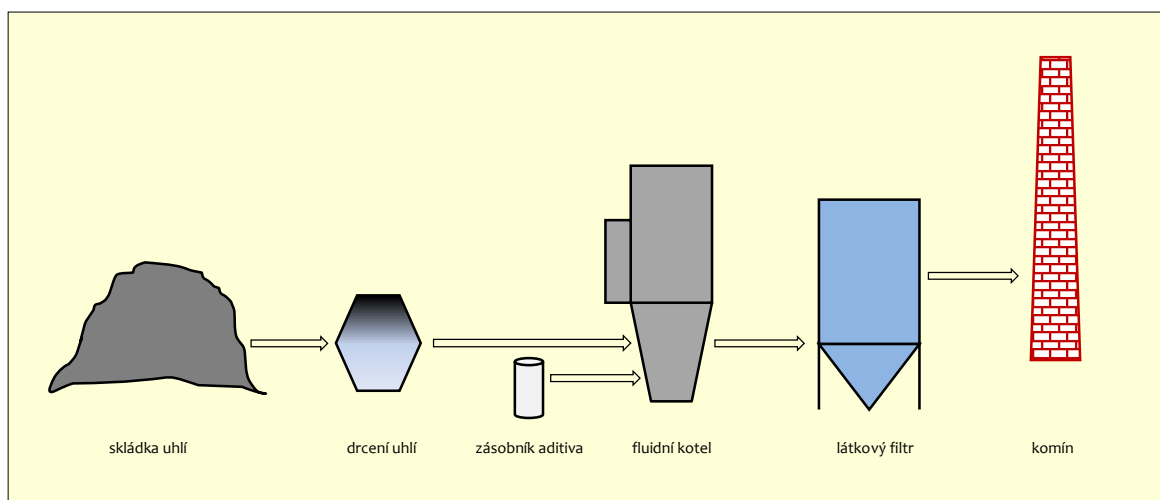
Jak jsem již uvedl v bodu 2.3, filtrační média rozdělujeme dle jejich účinnosti na:

- standardní jehlové plsti: vyráběno standardním způsobem vpichování ze standardních vláken (jemnost cca 3,3 - 7,0 dtex),
- jehlové plsti s vyšší účinností: vyráběno standardním způsobem vpichování ze středně jemných vláken (jemnost cca 1,7 - 2,5 dtex),
- jehlové plsti s vysokou účinností: vyráběno speciálním způsobem vpichování z jemných vláken a mikrovláken (jemnost cca 0,3 - 2,2 dtex).

(Musil, *Základy filtrace*, 2012)

Požadavek provozovatele, teplárny United Energy Komořany na výstupní emise prachu (TZL) za filtrem jsou poměrně přísné,  $\leq 20 \text{ mg/Nm}^3$ . Ze zadaných procesních podmínek vyplývá, že spalování probíhá ve fluidním kotli se stacionárním ložem (Andreovský, 2015). V prezentaci Gutsche Academy na téma „Spalovací procesy a aplikační doporučení“ je uvedeno, že při spalování uhlí ve fluidním kotli se stacionárním ložem, ohniště opouštějí nejjemnější částice prachu, u kterých je aerodynamický odpor větší než jejich váha.

Z toho vyplývá, že k filtraci přicházejí z procesu ty nejjemnější částice prachu, které se velmi těžce filtrují. Nehrozí pouze průnik těchto prachových částic přes filtrační médium, ale také penetrace prachu do struktury filtračního média, což může mít za následek neprůchodnost filtrační vrstvy neboli vysokou tlakovou ztrátu filtračního zařízení (Musil, *Spalovací procesy a aplikační doporučení*, 2012).



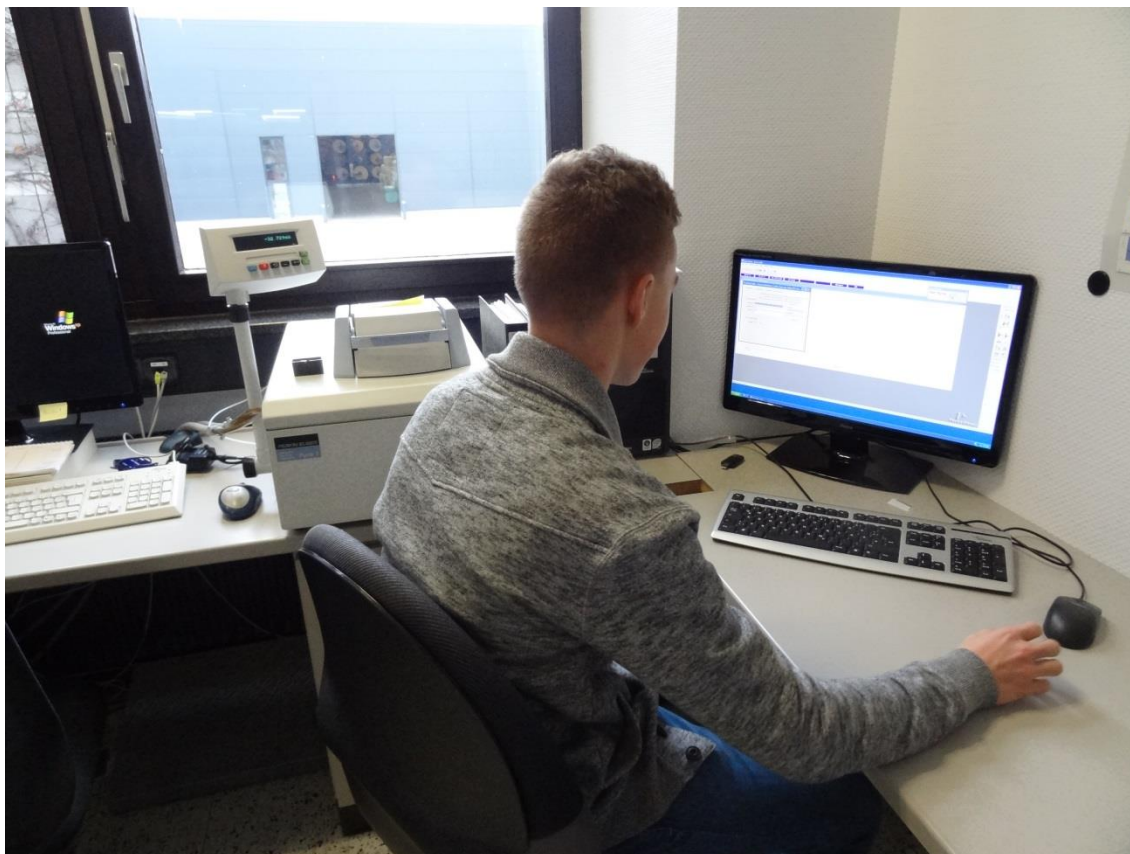
Obrázek 6: Schéma procesu v teplárně United Energy Komořany (ANDREOVSKÝ, 2015)



Velmi zajímavá je informace, že v odvětví průmyslové filtrace jsou zkušenosti s DSC analýzou velmi omezené. Pouze dvě společnosti ve světě mají velké zkušenosti s používáním DSC analýzy pro podrobné zkoumání polymerů. Jedná se o společnosti EVONIK Fibres a společnost MGF Gutsche. Důvodem je pravděpodobně fakt, že neexistuje žádné definované pravidlo, které by na základě provedené DSC analýzy určovalo stupeň a důvod poškození vláken (*Musil, Spalovací procesy a aplikační doporučení, 2012*).

V rámci mého školení v laboratořích a aplikačním centru společnosti MGF Gutsche jsem měl možnost pod odborným vedením provést DSC analýzu nových vláken PPS. Výsledky této DSC analýzy nového materiálu budou sloužit v budoucnosti jako základ pro porovnání s DSC analýzou použitých vláken. Na základě rozdílů jednotlivých křivek se určuje míra poškození.

DSC analýza probíhá ve speciálním stroji, kde se umístí přesně definovaný vzorek vláken. Výsledkem analýzy je vždy křivka prvního tání (červená křivka). Následně se vzorek ochladí o 50°C do pevného stavu před prvním tavením a následná rekrystalizace je vyjádřena modrou křivkou. Následuje druhé tavení vzorku, kde černá křivka prokazuje sníženou tavitelnost vzorku. Výsledek analýzy probíhá porovnáním jednotlivých křivek s křivkami nového materiálu. Presentace těchto rozdílů vychází výhradně z know-how společnosti MGF Gutsche (*Musil, Spalovací procesy a aplikační doporučení, 2012*).



Obrázek 9: Diferenční skenovací kalorimetr, laboratoře MGF Gutsche (Vlastní foto, 2015)



#### 2.1.4 Kontrola účinnosti filtračního média dle VDI/DIN 3926

Peter Harfmann se ve své přednášce v rámci Gutsche Academy podrobně věnoval testování filtračních médií a porovnávání jejich účinnosti. Protože v minulosti neexistovaly metody, které by jednotně hodnotily účinnost filtračních médií, došlo po dohodě odborné veřejnosti hlavně v USA a Evropě ke sjednocení metodiky, která je vyjádřena normou VDI/DIN 3926 a ASTM D6830-02.

Tato norma sjednocuje a definuje podmínky pro testování a vyhodnocování účinnosti filtračních médií (*Musil, Základy filtrace, 2012*).

Testování filtračních médií se může používat k prostému porovnání různých typů nebo se používá při vyhodnocení vývoje nových typů filtračních médií. Jako testovací prach se používá oxid hlinitý  $Al_2O_3$ . Jedná se o velmi jemný prach s granulometrií 90% < 5  $\mu m$ . Testovací zařízení je vlastně laboratorní filtr, který je vybaven velmi moderními měřicími a monitorovacími zařízeními. Parametry zařízení pro testování:

- testovací prach: Pural NF – oxid hlinitý ( $Al_2O_3$ ),
- množství prachu (vstupní koncentrace): 5.000  $mg/m^3$ ,
- filtrační rychlost: 2,0 m/min.,
- plocha filtračního vzorku: 0,0163  $m^2$  (kolečko o průměru 144 mm),
- regenerační tlak: 0,5 MPa,
- doba otevření membránového ventilu: 60 ms,
- okolní teplota: cca 20°C, (může být simulována teplota okolí - 240°C),
- měření se provádí:
  - na začátku testu = 0 regeneračních cyklů,
  - po 30 regeneračních cyklech,
  - po simulaci stárnutí = 10.000 regeneračních cyklů,
  - po 2 hodinách při tlakové ztrátě 1.000 Pa,
  - po 1 hodině při tlakové ztrátě 1.500 Pa,
  - po 10 hodinách při tlakové ztrátě 1.500 Pa;
- vyhodnocuje se:
  - tlaková ztráta (Pa),
  - počet regeneračních cyklů – čas mezi cykly (s),
  - množství prachu na vzorku a ve vzorku ( $g/m^2$ ),
  - emise prachu TZL ( $mg/Nm^3$ ).

(*Musil, Základy filtrace, 2012*)

## Testování dle VDI / DIN 3926



Testovací filtr dle VDI 3926

Testování dle VDI 3926	
testovací prach:	Pural NF ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
Množství prachu:	5.000 mg/m <sup>3</sup>
A/C:	2,0 m/min
$\Delta p$ start:	1.000 + 1.500 Pa
Vzorek:	0,0188 m <sup>2</sup> (D=155mm)
Filtrační plocha:	0,0163m <sup>2</sup> (D=144mm)
Regenerační tlak:	0,5 MPa (60 ms)
Teplota (max):	okolní + max. 240°C
Čistící cykly před měřením:	# 0 – měření # 30 cyklů
10.000 stárnutí / cykly:	# 10 stabilizační cykly # 2h @ 1.000 Pa # 1h @ 1.500 Pa
PM emise TZL:	# 10h @ 1.500 Pa



Obrázek 10: Testování dle VDI/DIN 3926 (MUSIL, 2012)

### 2.1.5 Kontrola filtračního média (elementu) v provozních podmínkách

Pro konkrétní procesní podmínky se provede volba polymeru a typu filtračního média. Pro ověření správnosti této volby, ale i jako zdroj cenných informací pro vývoj nových filtračních médií se provádí kontrola filtračního média (elementu) po celou dobu životnosti. Takto získaná data jsou velmi cenná pro výrobce filtračního média nejen z hlediska této konkrétní aplikace, ale i pro další aplikace, kde jsou podobné procesní podmínky.

Kontroly filtračních médií v průběhu životnosti jsou i velmi cenná pro provozovatele filtračního zařízení v tomto případě teplárnu United Energy Komořany. Na základě výsledků je možné s relativně velkou přesností predikovat celkovou životnost filtračních elementů a předcházet předčasnému poškození, které může vést k havarijním stavům. Hlavními parametry, které se sledují a vyhodnocují, jsou:

- vizuální vzhled, kontrola zda není filtrační element poškozen,
- mechanická pevnost filtračního média (daN/5cm),
- prodyšnost filtračního média v odebraném stavu s prachem (l/dm<sup>2</sup>.min @200 Pa),
- prodyšnost filtračního média po simulaci regenerace (l/dm<sup>2</sup>.min @200 Pa),
- regenerovatelnost filtračního média,  $\Delta$  prodyšnosti v odebraném stavu a prodyšnosti po simulaci regenerace (%),
- kontrola penetrace prachu do struktury filtračního média (mikroskopický snímek),
- kontrola pH výluhu vzorku filtračního média (kyselé pH: 0-6, neutrální pH: 7, zásadité pH: 8-14).

(Musil, Laboratories, R&D Training, 2014)

## 2.2 Výsledky

Do výsledků jsem zahrnul porovnání samotného procesu výběru polymeru a filtračního média s řešením společnosti MGF Gutsche. Také zde prezentuji výsledky testů, které neměly přímý vliv na proces výběru, ale souvisely s výběrem, výrobou a kontrolou kvality. Takovými testy jsou například testování polymeru metodou DSC a kontrola účinnosti filtračního média dle VDI/DIN 3926.

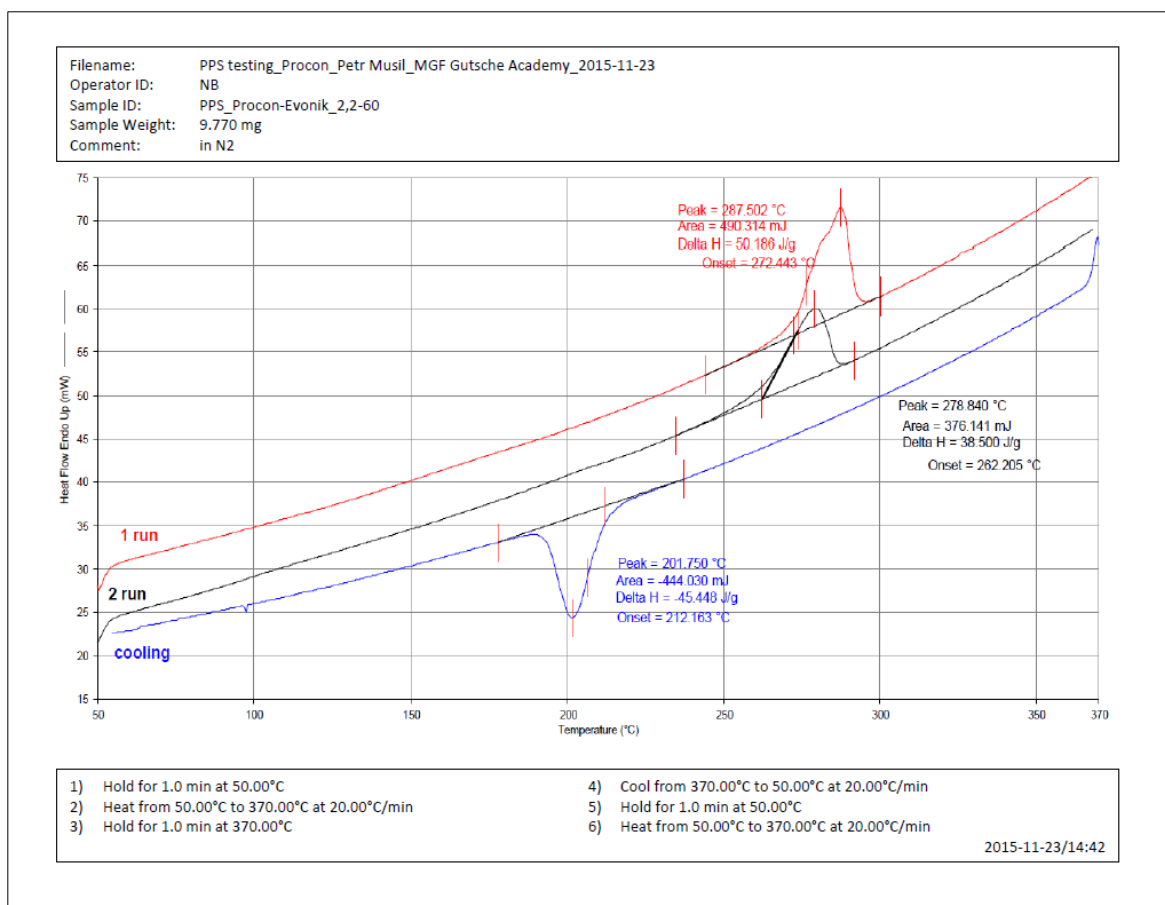
### 2.2.1 Testování vybraného typu polymeru v laboratořích metodou DSC

Po absolvování procesu výběru správného typu polymeru, sledování výroby filtračního média a následné kontrole filtračního média v procesních podmínkách jsem pochopil, že používání moderních laboratorních zařízení jako je například diferenční skenovací kalorimetrie, zkráceně DSC, je velmi důležité.

Velmi poučná je také skutečnost, že výsledkem testování z takto moderních zařízení nemusí být vždy vše říkající protokol. Právě v případě diferenční skenovací kalorimetrie je výsledkem graf, který sám o sobě nedefinuje skutečný výsledek. Výsledkem je až správná interpretace v porovnání s vzorovými grafy jednotlivých polymerů a v případě poškození je interpretace zcela závislá na zkušenostech aplikačních týmů a know-how dané společnosti.

Vyhodnocení DSC u nového polymeru bylo pro mě ještě řešitelné, ale interpretace výsledků DSC u polymeru, který byl již vystaven procesním podmínkám, bylo zcela závislé na zkušenostech aplikačního týmu MGF Gutsche. V manuálu k DSC zařízení, ani v tom nejpodrobnějším, nelze najít návod, jak tyto výsledky prezentovat.

V laboratořích společnosti MGF Gutsche mi bylo umožněno provést dva DSC testy. První se týkal zcela nového nepoužitého polymeru PPS (Polyphenylsulfid), který byl u našeho projektu použit. Výsledkem byl graf, který se zcela shodoval s vzorovým grafem pro polymer PPS. Zde se jednalo o prosté porovnání a vyhodnocení případných odchylek. V tomto případě žádné nebyly, protože se jednalo o velmi kvalitního výrobce PPS polymeru - Procon<sup>®</sup>, společnost Toyobo z Japonska.



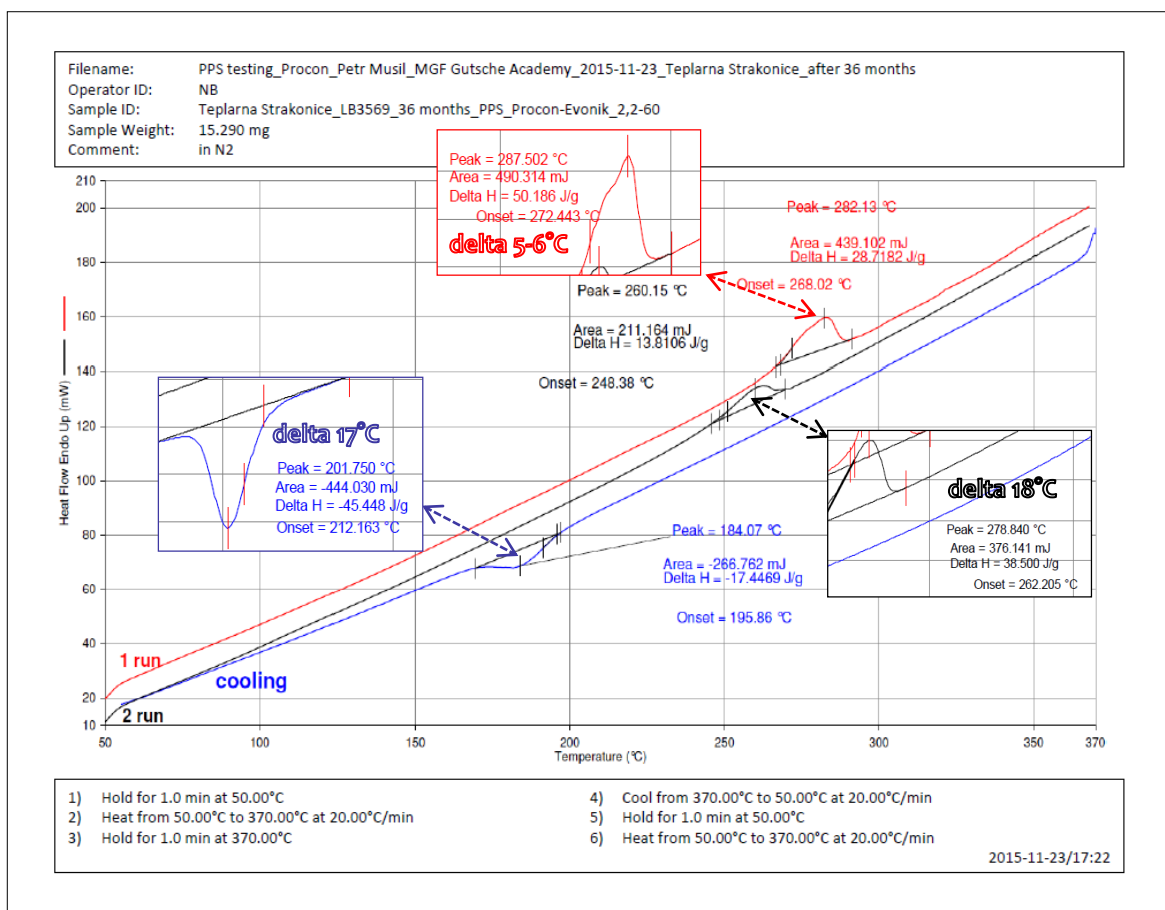
Obrázek 11: Graf DSC – testování vlákna PPS Procon, testováno ve společnosti MGF Gutsche (Vlastní foto, 2015)

Pro druhý test jsem použil filtrační médium PPS Procon, které bylo vystaveno procesním podmínkám po dobu 36 měsíců. Jednalo se o spalování uhlí v teplárně Strakonice. Vzorek byl poskytnut společností MGF Gutsche.

Peter Harfmann z aplikačního centra MGF Gutsche interpretoval níže uvedený graf (obrázek č. 11) následovně:

- V porovnání s křivkou u nového PPS vlákna došlo v prvním cyklu (červená křivka) ke snížení teploty tání o 5-6°C.
- Po prvním tavicím cyklu je teplota ochlazena na 50°C (modrá křivka), kde pak dochází k rekrystalizaci (materiál opět tuhne po předchozím roztavení). Zde je jasně patrné snížené rekrystalizační chování o cca 17°C. Toto nám dává informaci, že molekulární struktura PPS vláken se již značně změnila.
- Druhý tavicí cyklus (černá křivka) ukazuje na snížené opětovné tavení o ca 18°C. Interpretace výše uvedených rozdílů v chování polymeru PPS oproti novému polymeru je: PPS vlákna již byla značně zoxídována, pravděpodobně vlivem oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>). Toto poškození odpovídá 36 měsícům provozu při udaných hodnotách SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a O<sub>2</sub>.

(Harfmann, Gutsche Academy, 2015).



Obrázek 12: Graf DSC – testování vlákna PPS po 36 měsících provozu, testováno ve společnosti MGF Gutsche (Vlastní foto, 2015)

## 2.2.2 Testování vybraného typu filtračního média dle VDI/DIN 3926

Pro testování účinnosti dle VDI/DIN 3926 jsem vybral filtrační médium microvel<sup>®</sup> PPS 600, které je výsledkem mého výběru a bylo použito v teplárně United Energy Komořany. Pro porovnání jsem vybral konvenční filtrační médium protex<sup>®</sup> PPS 600. Výsledek poukazuje na výhody použití vysoce účinných filtračních médií s mikrovlnky, která jsou upřednostňována tam, kde jsou požadovány nízké emise prachu a kde je filtrován velmi jemný prach.



Obrázek 13: Testovací linka dle VDI/DIN 3926 - laboratoře R&D společnosti MGF Gutsche (Vlastní foto, 2015)

Testovací parametry jsou uvedeny v metodice testování, viz 3.1.4. Nejprve byl proveden test u materiálu microvel<sup>®</sup> PPS 600 a následně u materiálu porotex<sup>®</sup> PPS 600. Porovnání výsledků je uvedeno v tabulce.

#### **Interpretace výsledků – tlaková ztráta:**

- na začátku testu je nižší tlaková ztráta u materiálu porotex<sup>®</sup> PPS 600,
- po 30 regeneračních cyklech je tlaková ztráta obou filtračních médií stejná,
- po simulaci stárnutí – 10.000 regeneračních cyklech je při tlakové ztrátě 1.000 Pa i 1.500 Pa nižší tlaková ztráta u materiálu microvel<sup>®</sup> PPS 600,
- materiál microvel<sup>®</sup> PPS 600 vykazuje lepší výsledky než porotex<sup>®</sup> PPS 600;

#### **Interpretace výsledků – regenerační cyklus:**

- ve všech případech je u materiálu microvel<sup>®</sup> PPS 600 delší doba mezi regeneračními cykly,
- materiál microvel<sup>®</sup> PPS 600 vykazuje lepší výsledky než porotex<sup>®</sup> PPS 600;

#### **Interpretace výsledků – zůstatek prachu:**

- ve všech případech je u materiálu microvel<sup>®</sup> PPS 600 po zkoušce penetrováno do materiálu menší množství prachu než u materiálu porotex<sup>®</sup> PPS 600,
- materiál microvel<sup>®</sup> PPS 600 vykazuje lepší výsledky než porotex<sup>®</sup> PPS 600;

### Interpretace výsledků – emise prachu TZL:

- ve všech případech jsou u materiálu microvel® PPS 600 měřeny nižší výstupní emise prachu než u materiálu porotex® PPS 600,
- materiál microvel® PPS 600 vykazuje lepší výsledky než porotex® PPS 600;

Ve všech hodnotících parametrech vykázal materiál microvel® PPS 600 lepší výsledky než materiál porotex® PPS 600. Aby parametry testování byly co nejblíže procesním podmínkám teplárny United Energy Komořany, byla zvolena testovací teplota 150°C, tj. obdobná teplota jako je v reálných podmínkách United Energy Komořany (*Harfmann, Gutsche Academy, 2015*).

Tabulka 5: Porovnání výsledků z testu dle VDI/DIN 3926 (Musil, 2015)

VDI 3926	START		Po 30 regeneračních cyklech (@1.000 Pa)		10.000 regeneračních cyklů	Měřeno @1.000 Pa 2 hodiny		Měřeno @1.500 Pa 1 hodina	
	microvel® PPS 600	porotex® PPS 600	microvel® PPS 600	porotex® PPS 600		microvel® PPS 600	porotex® PPS 600	microvel® PPS 600	porotex® PPS 600
Tlaková ztráta [Pa]	52	38	78	78		412	468	401	496
Regenerační cyklus [sec]	-	-	442	269		93	33	375	126
Zůstatek prachu [g/m <sup>2</sup> ]	-	-	51,9	60,4		87,7	101,3	77,3	97,4
Emise prachu TZL [mg/Nm <sup>3</sup> ]	-	-	0,96	2,38		0,64	1,11	0,12	0,27

### 2.2.3 Porovnání návrhu polymeru a filtračního média s výběrem MGF Gutsche

Výběr polymeru je popsán v článku 3.1.1. Na základě všech dostupných informací o vlastnostech jednotlivých polymerů a procesních podmínkách v teplárně United Energy Komořany jsem zvolil PPS – Polyphenylsulfid.

Společnost MGF Gutsche zvolila pro projekt 1409-11 – teplárna United Energy Komořany filtrační médium s obchodním označením microvel® PPS + antafin® RY60RY12S1M350. Z technického listu filtračního média vyplývá, že zvoleným polymerem je PPS Polyphenylsulfid (rouno PPS + podkladová tkanina PPS). **Moje volba se shoduje s volbou společnosti MGF Gutsche.**

Výběr filtračního média je popsán v článku 3.1.2. Na základě všech dostupných informací o vlastnostech jednotlivých filtračních médií a procesních podmínkách v teplárně United Energy Komořany jsem zvolil filtrační médium s vysokou účinností tj. s použitím mikrovláken.

Společnost MGF Gutsche zvolila pro projekt 1409-11 – teplárna United Energy Komořany filtrační médium s obchodním označením microvel® PPS + antafin® RY60RY12S1M350. Z technického listu filtračního média vyplývá, že se jedná o konstrukci microvel® PPS. Tato konstrukce je v materiálech společnosti MGF Gutsche označována jako filtrační médium s vysokou účinností (technická informace microvel®). **Moje volba se shoduje s volbou společnosti MGF Gutsche.**

Mnou zvolené řešení se jak v případě polymeru, tak i konstrukce filtračního média plně kryje s technickým řešením, které v teplárně United Energy Komořany realizovala společnost MGF Gutsche. Nad rámec mé volby je filtrační médium vybaveno chemickou impregnací antafin<sup>®</sup>. Chemické vybavy filtračních médií nebyly předmětem této práce.



## 2.2.4 Zpracování výsledků filtračního elementu po 3 měsících provozu

Kontroly filtračních elementů (médií) po určité době provozu jsou velmi cenné pro většinu provozovatelů filtračních zařízení, ale také pro výrobce filtračních médií. Výsledky těchto kontrol jsou velmi důležité pro ověření správné volby polymeru, konstrukce filtračního média a vývoj nových typů filtračních médií.

Odběr filtračního elementu proběhl po 3 měsících standardního provozu ve filtru teplárny United Energy Komořany. V rámci odběru jsem absolvoval prohlídku všech provozů teplárny United Energy v Komořanech.



Obrázek 14: Školení o systému fluidního kotle  
(Vlastní foto, 2015)



Obrázek 15: Výsypky fluidního kotle se stacionárním ložem  
(Vlastní foto, 2015)



Obrázek 16: Látkový filtr s PPS filtračními elementy  
(Vlastní foto, 2015)



Obrázek 17: Turbogenerátory – strojovna United Energy  
(Vlastní foto, 2015)



Obrázek 18: Pohled do fluidního lože kotle za provozu  
(Vlastní foto, 2015)



Obrázek 19: Velín a řízení provozu teplárny United Energy  
(Vlastní foto, 2015)

Kontrolu filtračního elementu jsem prováděl pod metodickým vedením pana Luďka Hortlíka ze společnosti ZVVZ-Enven Engineering, a.s. Milevsko v laboratořích této společnosti ve Vysokém Mýtě.

- Vizuální vzhled, kontrola poškození filtračního elementu: Vizuální inspekci nebylo zjištěno žádné mechanické ani jiné poškození. Kontrola proběhla jak z vnější (funkční) strany filtračního elementu, tak i z vnitřní strany.



Obrázek 20, Obrázek 21, Obrázek 22  
zleva: sada obrázků – horní, střední a spodní části filtračního elementu z vnější strany (Vlastní foto, 2015)



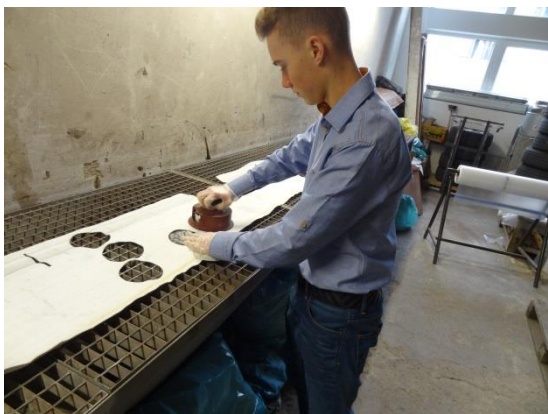
Obrázek 23, Obrázek 24, Obrázek 25  
zleva: sada obrázků – horní, střední a spodní části filtračního elementu z vnitřní strany (Vlastní foto, 2015)

- Mechanická pevnost filtračního média byla měřena na trhacím stroji. Hodnoty pevnosti byly v podélném i příčném směru téměř srovnatelné s hodnotami nového materiálu.



Obrázek 26: Měření pevnosti filtračního média - laboratoře ZVVZ-Enven Engineering. (Vlastní foto, 2015)

- Prodyšnost filtračního média se měří na zařízení na zjišťování prodyšnosti textilií. Prodyšnost byla měřena na filtračním médiu, tak jak bylo odebráno z filtračního zařízení (bez očištění) a na filtračním médiu po simulaci regenerace. Prodyšnost s prachem: horní část 32, střední část 28, spodní část 25 l/dm<sup>2</sup>.min. Prodyšnost po 1x simulaci regenerace: horní část 91, střední část 102, spodní část 106 l/dm<sup>2</sup>.min. Podle metodiky MGF Gutsche jsou hodnoty prodyšnosti velmi vysoké.



Obrázek 27: Odběr vzorků pro měření prodyšnosti  
(Vlastní foto, 2015)



Obrázek 28: Měření prodyšnosti v laboratořích ZVVZ-Enven  
(Vlastní foto, 2015)

- Regenerovatelnost filtračního média je stanovena jako rozdíl prodyšnosti filtračního média v odebraném stavu a po simulaci regenerace. Rozdíly v prodyšnosti jsou 280% v horní části, 424% ve spodní části filtračního elementu. Podle metodiky MGF Gutsche jsou hodnoty regenerovatelnosti výborné. Simulace regenerace se provádí ve speciálním regeneračním tunelu, viz foto číslo 27-28.

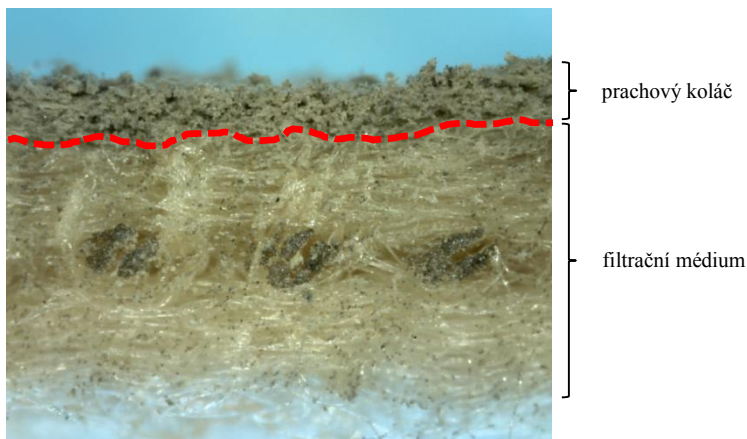


Obrázek 29: Simulace regenerace v laboratoři  
(Vlastní foto, 2015)



Obrázek 30: Regenerační tunel pro simulaci regenerace  
(Vlastní foto, 2015)

- Kontrola penetrace prachu se provádí speciálním optickým mikroskopem s výstupem do počítače. Na příčném řezu se kontroluje, zda nedochází k penetraci prachu do struktury filtračního média. Kontrola prokázala velmi dobrou povrchovou filtraci bez známek penetrace prachu do struktury filtračního média.



Obrázek 31: Příčný řez – mikroskopický snímek  
(Vlastní foto, 2015)

Kontrola pH výluhu vzorku filtračního média se provádí pro kontrolu, v jakém prostředí filtrační médium pracuje. V přednášce v Gutsche Academy bylo uvedeno, že výrazně kyselé pH by svědčilo o častém překračování rosného bodu kyseliny, což má za následek vznik kyseliny, která se následně penetruje do filtračního média. To je z provozního hlediska nepříznivé a snižuje to životnost filtračních elementů (Musil, „Spalovací procesy a aplikační doporučení, 2012“). Hodnota pH byla zjištěna 6, což nesvědčí o častém překračování rosného bodu kyseliny.



Obrázek 32: Měření pH výluhu filtračního média  
(Vlastní foto, 2015)

Kontrola všech parametrů filtračního média po 3 měsících provozu prokázala velmi dobrou kondici filtračního média. Nebylo prokázáno žádné poškození ani jiné negativní hodnoty. Kontrola po 3 měsících prokázala správnou volbu polymeru a filtračního média.

### 2.3 Vyhodnocení výsledků

Testování metodou DSC prokázalo, že v případě testování nových vláken (polymerů), které nebyly vystaveny procesním podmínkám, lze pracovat dle manuálu a výsledek testu je možné dobře interpretovat. Při testování PPS vláken bylo relativně jednoduché porovnat výsledné DSC křivky s vzorovými křivkami pro PPS.

V případě, kdy se testují metodou DSC vlákna (polymery), která již byly vystavena procesním podmínkám, je interpretace výsledků velmi náročná a je založena výhradně na zkušenostech a dlouhodobém know-how. V tomto případě jsem nenalezl při použití všech dostupných informací a manuálů jakoukoliv možnost stanovit správný výsledek.

Testování filtračních médií dle VDI/DIN 3926 je velmi průkazná a moderní metoda. Díky jejímu zavedení je možné srovnávat výsledky účinnosti a vlastností filtračních médií od výrobců z celého světa. Rozsah testování je velmi široký a velmi přesným způsobem dokumentuje vlastnosti a účinnosti testovaných filtračních médií. V našem konkrétním případě se jasně prokázaly výrazně lepší vlastnosti a účinnost u vysoce účinného filtračního média microvel<sup>®</sup> PPS 600 proti konvenčnímu filtračnímu médiu porotex<sup>®</sup> PPS 600.

Výsledek mého výběru polymeru pro dané procesní podmínky se zcela shodoval s výběrem výrobce, tj. společností MGF Gutsche. Zde je možné konstatovat, že podrobně zpracované informace o vlastnostech polymerů je možné relativně dobře použít pro konečný a správný výběr. Následný návrh koncepce filtračního média je již výrazně složitější. Základní informace o filtračních médiích umožňují stanovit pouze základní typ filtračního média. Ke konečnému návrhu je nutné mít podrobné zkušenosti o výrobě filtračních médií. Výborným základem pro návrh konstrukce mohou být statistické výsledky z testování dle VDI/DIN 3926.

Kontrola výběru správného typu polymeru a filtračního média po 3 měsících provozu prokázala správnou volbu. Mnohem více však prokázala, jak zajímavý zdroj informací toto testování za provozu je. Všechny informace získané při tomto testování jsou velmi dobře použitelné pro další aplikace s podobnými procesními podmínkami a pro vývoj nových filtračních médií.

## Diskuse

Výsledky mé práce je možné rozdělit do několika oblastí. Tou první je určitě fakt, že při aplikaci všech dobře a strukturovaně zpracovaných informací o vlastnostech polymerů je možné relativně přesně stanovit správný typ polymeru pro konkrétní procesní podmínky. Zde se výsledky mé práce nelišily od práce renomovaných odborníků z oboru.

Výrazně složitější je již volba konstrukce filtračního média včetně chemických výbav a provozních doporučení. Zde se mi potvrdil fakt, že problematika průmyslové filtrace je velmi široký obor, který pracuje se zkušenostmi z oblasti textilního průmyslu, chemického průmyslu, strojírenství a v neposlední řadě oboru procesního inženýrství. Znalost procesů, které se budou filtrovat, je zcela zásadní pro celkově správné řešení.

Když jsem se účastnil v rámci Gustche Academy přednášky na téma „Spalovací procesy a aplikační doporučení“, pochopil jsem, jak hluboká znalost jednotlivých procesů a pro mě i zanedbatelné detaily mohou být zcela zásadní pro správné a úspěšné řešení.

Protože filtrační elementy v teplárně United Energy Komořany dále pracují, mám ambici ve své práci pokračovat až do konce životnosti filtračních elementů. Výsledkem by mohl být přehled vývoje emisí prachu TZL a dokumentace všech problémů po celou dobu životnosti.

Výsledkem mé práce je i velmi překvapující zkušenost, že jako student druhého ročníku gymnázia jsem měl pocit, že všichni z Gutsche Academy považují mou práci za důležitou a dostávalo se mi velké podpory. Pochopil jsem, že to co jsem v rámci mé práce dělal, je velmi důležité nejen pro moji budoucnost, ale i pro budoucnost společností, které mají ambice být těmi nejlepšími ve svém oboru. Tato zkušenost nebyla v zadání mé práce, ale je pro mě osobně neméně důležitá jako odborné výsledky mé práce.

## Závěr

Cílem mé práce bylo verifikovat proces výběru správného typu polymeru a filtračního média pro konkrétní procesní podmínky při spalování uhlí v teplárnách a tepelných elektrárnách.

Výsledkem je potvrzení polymeru PPS, který zvolil výrobce, společnost MGF Gutsche. V tomto případě jsem prokázal, že při použití dostupných a dobře strukturovaných informací o vlastnostech polymerů je možné správný výběr provést.

Výsledkem mé práce je i zjištění, že použití moderních testovacích zařízení v laboratořích je velmi důležité pro navrhování správné konstrukce filtračních médií. Návrhy je možné tímto způsobem ověřit velmi exaktním způsobem. Práce při testování vláken metodou DSC nebo testování filtračních médií dle VDI/DIN 3926 byla velmi inspirující a zajímavá. Na počátku jsem se domníval, že je pro mě téměř nemožné využít výsledky těchto testů pro svoji práci. Při práci a zpracování výsledků se ukázalo, že struktura informací z těchto testů je relativně jednoduchá a měla zcela zásadní vliv na výsledek mé práce.

Práce, vedle metodiky výběru polymeru a filtračního média, popisuje i proces výběru a vedlejší činnosti, které s tím souvisí. Věřím, že výsledky mé práce mohou být využity jako metodika výběru správného typu polymeru pro studenty, kteří uvažují o své budoucnosti v oblasti průmyslové filtrace. Po diskusi s výrobcem filtračních elementů v České republice, společností Hytex Production, jsou výsledky použitelné i pro firmy, které jsou v procesu průmyslové filtrace standardně zapojeny.

Díky tématu mé práce jsem se celou dobu pohyboval ve skutečném prostředí moderních průmyslových firem. Podpora ze strany společnosti MGF Gutsche byla velkou inspirací pro moji práci. Pochopil jsem, že pro moderní společnosti je důležité nejen vyrábět kvalitní produkty, ale hledat stále nová řešení a inovace.



Obrázek 33: Návštěva vedení společnosti MGF Gustche GmbH & Co. KG v rámci Gutsche Academy (Vlastní foto, 2015)

## Použitá literatura

DUCHÁČEK, Vratislav. *POLYMERY, výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2006. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 80-7080-617-6.

Přístup z internetu: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_isbn-80-7080-617-6/pages-img/obalka-1.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/obalka-1.html)

HARFMANN, Peter. Gutsche Academy - DSC, 2015.

MUSIL, Petr. Spalovací procesy a aplikační doporučení, (*prezentace v rámci Gutsche Academy*), 2012.

MUSIL, Petr. Základy filtrace a Gutsche filtrační média, (*prezentace v rámci Gutsche Academy*), 2012.

MUSIL, Petr. Laboratories, R&D Training (*prezentace v rámci Gutsche Academy*), 2014.

United Energy Komořany [online]. [cit. 2016-02-07].

Dostupné z:

[http://www.unitedenergy.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=16&Itemid=10](http://www.unitedenergy.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=10)

WIKIPEDIE. Tex (jednotka). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-02-07]. Dostupné z:

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Tex\\_\(jednotka\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tex_(jednotka))



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Příčný řez filtračním médiem – jehlovou plstí.....	9
Obrázek 3: Výroba jehlových plstí.....	10
Obrázek 4: UE Komořany v roce 1943    Obrázek 5: United Energy Komořany v roce 2015 .....	10
Obrázek 6: Rozdělení prachových částic dle procesů a jemnosti.....	13
Obrázek 8: Schéma procesu v teplárně United Energy Komořany .....	14
Obrázek 9: Schéma fluidního kotle se stacionárním ložem v United Energy, a.s. Komořany.....	15
Obrázek 10: Příčný řez filtračním médiem microvel® PPS .....	15
Obrázek 11: Diferenční skenovací kalorimetr, laboratoře MGF Gustche.....	16
Obrázek 12: Testování dle VDI/DIN 3926 .....	18
Obrázek 13: Graf DSC – testování vlákna PPS Procon, testováno ve společnosti MGF Gutsche..	20
Obrázek 14: Graf DSC – testování vlákna PPS po 36 měsících provozu, testováno ve společnosti MGF Gutsche.....	21
Obrázek 15: Testovací linka dle VDI/DIN 3926 - laboratoře R&D společnosti MGF Gutsche.....	22
Obrázek 16: Školení o systému fluidního kotle.    Obrázek 17: Výsypky fluidního kotle se stacionárním ložem. ....	25
Obrázek 18: Látkový filtr s PPS filtračními elementy.    Obrázek 19: Turbogenerátory – strojovna United Energy. ....	25
Obrázek 20: Pohled do fluidního lože kotle za provozu.    Obrázek 21: Velín a řízení provozu teplárny United Energy. ....	25
Obrázek 22, Obrázek 23, Obrázek 24 .....	26
Obrázek 25, Obrázek 26, Obrázek 27 .....	26
Obrázek 28: Měření pevnosti filtračního média - laboratoře ZVVZ-Enven Engineering.....	26
Obrázek 29: Odběr vzorků pro měření prodyšnosti.    Obrázek 30: Měření prodyšnosti v laboratořích ZVVZ-Enven.....	27
Obrázek 31: Simulace regenerace v laboratoři.    Obrázek 32: Regenerační tunel pro simulaci regenerace.....	27
Obrázek 33: Příčný řez – mikroskopický snímek.....	28
Obrázek 34: Měření pH výluhu filtračního média. ....	28
Obrázek 35: Návštěva vedení společnosti MGF Gustche GmbH & Co. KG v rámci GA.....	31

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Typy polymerů, ze kterých se vyrábí filtrační média a jejich základní vlastnosti .....	8
Tabulka 2: Rozdělení vláken dle jemností. ....	9
Tabulka 3: Procesní podmínky v provozu teplárny United Energy, a.s. Komořany. ....	11
Tabulka 4: Proces výběru správného typu polymeru dle jejich vlastností. ....	13
Tabulka 5: Porovnání výsledků z testu dle VDI/DIN 3926 . ....	23