



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Diplomová práce

Využití atmosférického plazmového zdroje
GA při ošetřování obilovin
Cereal treatment by using of GA
atmospheric plasma source

Vypracoval: Bc. Havelka Zbyněk
Vedoucí práce: RNDr. Kříž Pavel, Ph.D.

České Budějovice 2013

Prohlášení

Diplomová práce v nezkrácené podobě

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že, v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis studenta

ANOTACE

HAVELKA, Z. *Využití atmosférického plazmového zdroje GA při ošetřování obilovin*. České Budějovice 2013. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Pedagogická fakulta. Katedra aplikované fyziky a techniky. Vedoucí práce: RNDr. P. Kříž, Ph. D

Klíčová slova: výboj, gliding arc, ošetřování obilovin, plazma, výživové hodnoty

Tato diplomová práce obsahuje v teoretické části stručné shrnutí aplikací plazmových výbojů, dále popis a princip Gliding Arc plazmového zdroje. Praktická část je zaměřena na výzkum vlivu ošetření semen obilovin za pomoci plazmového výboje na jejich nutriční hodnoty (sušina, popeloviny, dusíkaté látky a vláknina). V závěru práce je vyhodnocení celého experimentu.

ABSTRACT

Cereal treatment by using of GA atmospheric plasma source.

Keywords: discharge, gliding arc, cereal treatment, plasma, nutritional value

This thesis contains a brief summary of the theoretical applications of plasma discharges, and a description of the principle Gliding Arc plasma source. The practical part is focused on the research of the influence of cereal seed treatment using plasma discharge on their nutritional value (dry matter, ash, protein and fiber). In the conclusion of this thesis is evaluation of the whole experiment.

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat hlavně mému vedoucímu práce panu doktoru Křížovi za mnoho podnětných rad, dále děkuji panu profesorovi Špatenkovi, který mi vůbec dal příležitost pracovat na této diplomové práci, a také za poskytnutí prostor a experimentálního přístroje ve firmě SurfaceTreat, a.s. A v neposlední řadě díky patří také mým rodičům za jejich trpělivost a podporu během celého studia.

Obsah

1 Úvod.....	6
1.1 Plazma	7
1.2 Využití plazmových výbojů	8
1.2.1 Průmyslové oblasti	9
1.2.1.1 Plazmové zpracování, depozice tenkých vrstev	9
1.2.1.2 Osvětlovací systémy založené na plazmatu	11
1.2.1.3 Zobrazovací systémy	11
1.2.2 Aplikace pro lékařství a životní prostředí	12
1.2.2.1 Sterilizace lékařských nástrojů.....	12
1.2.2.2 Úprava biomateriálů	12
1.2.2.3 Ošetřování semen obilovin.....	13
2 Princip činnosti Gliding Arc plazmového zdroje.....	18
2.1 Vývoj výboje Gliding Arc.....	20
3 Praktická část	22
3.1 Měření teploty pracovního plynu při různých parametrech výboje	23
3.1.1 Výsledné průměrné teploty bez tubusu	27
3.1.2 Výsledné průměrné teploty s tubusem	31
3.2 Vliv změny parametrů výboje na výživové vlastnosti vybraného druhu obiloviny	35
3.2.1 Sušina	37
3.2.2 Popeloviny	38
3.2.3 Tuk.....	39
3.2.4 Dusíkaté látky	40
3.2.5 Vláknina	41
4 Závěr	42
Rejstřík.....	44
Seznam obrázků.....	45
Seznam grafů	46
Seznam tabulek	47
Zdroje.....	48
Přílohy.....	51

1 Úvod

Tématem předkládané práce je využití atmosférického plazmového zdroje Gliding Arc při ošetřování obilovin. Využití a aplikace plazmatu je v současném světě velmi rozšířené a nástin těchto metod nalezneme na počátku teoretické části této práce. Samozřejmě největší prostor je věnován aplikaci, při které dochází k ošetřování potravy a krmiv. Plazmových výbojů je široké spektrum, ale v praktické části je využit pouze plazmatický výboj Gliding Arc za atmosférického tlaku. Jeho činnost si popíšeme dále v kapitole 2 a hned poté následuje praktická část práce, ve které je využit.

Praktická část obsahuje vyhodnocení experimentů, jejichž hlavním cílem bylo zjistit, zda má ošetření vzorků obilovin za pomoci plazmatu vliv na jejich výživové hodnoty (sušina, dusíkaté látky, tuky, minerály a vláknina).

Praktická část práce lze rozdělit do dvou částí. Měření teploty pracovního plynu při nastavení různých parametrů – abychom věděli, s jakými teplotami budeme pracovat a naše vzorky nezneškodili právě vysokou teplotou – a dále vliv změny parametrů výboje na výživové vlastnosti obilovin, což je hlavní náplň této diplomové práce. Celou praktickou část doprovází vybrané tabulky s naměřenými hodnotami a grafy vytvořené z těchto hodnot, zbytek těchto tabulek a grafů je vložen v přílohách na konci této práce.

1.1 Plazma

Zeptáte-li se náhodně jakéhokoliv člověka, co si představí pod pojmem plazma, tak drtivá většina vám odpoví krev, medicína a s tím související věci. Velmi málo lidí si s tímto pojmem spojuje fyziku. A přeci stejně jako je krevní plazma nedílnou součástí naší krve, je i fyzikální plazma nedílnou součástí našeho světa – označuje se také jako čtvrté skupenství hmoty. Jak tyto plazmata rozeznat? Lze na ně pohlédnout z češtinářského hlediska, kdy krevní plazmě je přiřazen rod ženský, zatímco fyzikálnímu plazmatu je přiřazen rod střední.

Co je tedy to plazma? Plazma je ionizovaný plyn, vykazující kolektivní chování částic. Je to soubor kladných, záporných, ale i neutrálních částic, kdy slovem částice jsou myšleny elektrony, ionty, neutrální atomy a molekuly.

Plazma můžeme nalézt hlavně ve vesmíru. Je uváděno, že až 99 % přirozené hmoty je ve formě plazmatu. Ve vesmíru se nachází ve formě slunečního větru, v magnetosférách planet a komet. I samotné hvězdy, kam spadá i naše Slunce, jsou vlastně velké plazmatické koule. Zajímavým se tedy zdá být fakt, že hmota, ze které je tvořena naše planeta Země, spadá do jednoho procenta jiného skupenství. I tak se ale s plazmatem setkáváme poměrně často.¹

Nejzajímavějším přírodním plazmatem pro člověka je vodivý kanál blesku nebo vedlejší efekt interakce zemské magnetosféry s nabitými částicemi od Slunce - polární záře (aurora borealis).

Plazma, lze také vyrobit umělým způsobem zde na Zemi a je využíváno v mnoha technických aplikacích.

¹ SCHMIEDT, Lukáš. Úvod do fyziky plazmatu. *Fyzika plazmatu* [online]. [2006] [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~marble/d/?p=0>

1.2 Využití plazmových výbojů

Plazma nachází uplatnění v mnoha průmyslových oblastech. Výbojů se zde využívá k úpravám povrchů materiálu (smáčivost, plazmové napařování dalších látek) a jeho opracování (řezání), osvětlení (zářivky, neonové trubice), k výrobě různých plazmových displejů nebo také na výrobu ozónu. V dnešních dobách se ale využití plazmových výbojů uplatňuje také v biomedicíně (sterilizace nástrojů, úprava povrchu biomateriálů) a přírodních vědách (ošetřování semen obilovin – ničení zárodků plísní, klíčivost, smáčivost,...).

V následujících podkapitolách je krátce představeno využití v různých odvětvích, ale jelikož se tato práce zabývá ošetřováním obilovin, zaměříme se na oblast zabývající se ošetřováním potravin a krmiv, kde bude rozebráno několik vědeckých prací zabývajících se tímto tématem.

1.2.1 Průmyslové oblasti

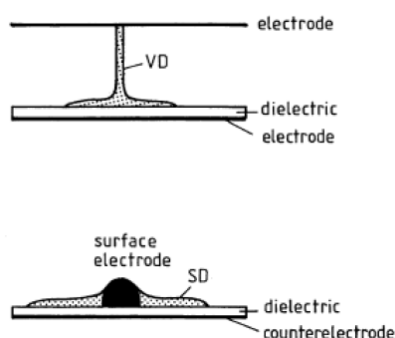
1.2.1.1 Plazmové zpracování, depozice tenkých vrstev

Plazma lze použít k úpravě povrchových vlastností (plazmové napařování látek na povrch opracovávaného materiálu, úprava smáčivosti povrchů, ochrana materiálu před vlivy prostředí,...) nebo opracování materiálu (leptání, řezání,...). K dalším úpravám patří injektování iontů do materiálu za pomoci plazmových technologií. Tohoto se velmi využívá v polovodičovém průmyslu.²

Depozice tenkých vrstev za pomoci plazmatu lze rozdělit do dvou skupin podle metody, která je využita:

1. Fyzikální metoda – napařování (využívá se zde odpařování materiálu z katody a přenesení na opracovávaný povrch)
2. Chemická metoda – depozice za pomoci chemických procesů vznikajících v plazmatu (využívá se směsi reaktivních plynů s vysokou teplotou 900–1 100 °C)

Plazmové napařování probíhá pomocí *magnetronu*, nebo za pomoci plazmových trysek. Pro napařování látek na povrch se v současné době využívá *Dielektrického bariérového výboje DBD*. Podle tloušťky opracovávaného materiálu se užívá dvou druhů rozložení elektrod (schéma uspořádání je na obrázku č. 1³):



Obrázek č. 1: Schéma uspořádání elektrod u DBD – paralelní (nahore) a povrchové (dole)

² SCHMIEDT, Lukáš. Úvod do fyziky plazmatu. *Fyzika plazmatu* [online]. [2006] [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~marble/d/?p=0>

³ BOGAERTS, A., E., NEYTS, R., GIJBELS, J., VAN DER MULLEN - Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochimica Acta*, Part B, 57, str. 609-658, Elsevier, 2002

- *Paralelní uspořádání* elektrod u objemového výboje – výhodou tohoto výboje je jednoduchost technické realizace, nevýhodou je nemožnost opracování materiálů tlustějších, než je vzdálenost mezi elektrodami (cca 110 mm).
- *Povrchové uspořádání* elektrod na dielektrické vrstvě u povrchového výboje – výhodou je možnost opracování libovolné tloušťky materiálu.

Leptání se využívá k odstraňování materiálu z povrchu. Zde se využívá DC doutnavých a Radio-frekvenčních výbojů. U leptání jsou nejdůležitější tři parametry:

- Rychlost – jak dlouho bude leptání trvat;
- Anizotropie – rychlost leptání je ve vertikálním a horizontálním směru odlišná;



Obrázek č. 2: Anizotropní leptání (vlevo), Izotropní leptání (vpravo)

- Selektivita – odstranění jednoho materiálu bez porušení ostatních.

K leptání se využívá několika mechanismů:

- *Leptání naprašováním* – totožné s depozicí tenkých vrstev, akorát upravený pro odstraňování vrstev;
- *Chemické leptání* – reagování atomů a radikálů s povrchem;
- *Leptání způsobené zvýšenou iontovou energií* – částice a energetické ionty jsou poskytovány výbojem;
- *Leptání pomocí iontových inhibitorů* – výboj navíc poskytuje ještě inhibitory (částice omezující leptání).

1.2.1.2 Osvětlovací systémy založené na plazmatu

Při plazmových výbojích v plynech také vzniká světelné záření a toho se již dlouhá léta využívá v osvětlovacích zařízeních. Dříve, než byla vynalezena žárovka panem Edisonem, se používaly k osvětlování ulic výbojky, které se později začaly plnit plyny, aby se dosáhlo různých efektů (barevnost, větší svítivost atd.). Zde se užívá *doutnavého výboje (Glow discharge)* při sníženém tlaku v trubici.

I v zářivkách se využívá plazmatu. Slouží zde jako zdroj elektronů a UV záření, jenž je za pomoci luminoforu na stěnách zářivky přeměněno na viditelné světlo.² Využívá se lavinového elektrického výboje.

1.2.1.3 Zobrazovací systémy

V televizorech se začalo využívat plazmatu před několika lety. Využívá se stejného principu jako v neonových výbojkách, s jediným rozdílem, a to že se používá více druhů fluorescenčního materiálu, konkrétně tři: červený, zelený a modrý.²

1.2.2 Aplikace pro lékařství a životní prostředí

1.2.2.1 Sterilizace lékařských nástrojů

Sterilizace zdravotnických nástrojů je v dnešní době součástí preventivního systému proti infekcím. Při sterilizaci dochází k usmrcení všech mikroorganismů, včetně vysoce odolných sporů.

K omezování běžných sterilizačních postupů a metod, jako například za pomoci autoklávu, dochází kvůli neslučitelnosti s moderními zdravotnickými nástroji. Vysokoteplotní sterilizační metody nejsou uzpůsobeny pro materiály s malou teplotní odolností. Nízkoteplotní desinfekce lze dosáhnout za pomoci ethylenoxidu (EtO) a dalších vhodných plynných složek. Pokud ale nějaká ze složek zůstane na materiálu, může být pro pacienty toxická.⁴

Omezení těchto konvenčních metod bylo impulsem pro hledání nových a lepších metod. K nim patří i plazmový výboj za nízkého nebo normálního atmosférického tlaku a využití chemických látek při něm vznikajících.

Plazmová sterilizace tedy není toxická, je šetrná k nástrojům i okolnímu prostředí a má krátkou dobu trvání celé sterilizační procedury. Výsledkem je 100% kvalitní sterilizace i složitě členitých nástrojů.⁵

1.2.2.2 Úprava biomateriálů

Úprava materiálů za pomoci plazmatu nám nabízí mnoho možností pro úpravu jejich vlastností. Je to velice oblíbená metoda pro vylepšování biomateriálů používaných v lékařství. Zlepšuje se tím jejich multifunkčnost, mechanické vlastnosti a biokompatibilita.

Například práce pana Paula K. Chu se zabývá úpravou ortopedických materiálů z Nikl-Titanu (NiTi) s tvarovou pamětí a superelasticitou.⁶ Těchto vlastností se

⁴ OHKAWA, Hiroshi, Tetsuya AKITSU, Masao TSUJI, Hideo KIMURA, Masuhiro KOGOMA a Kinpei FUKUSHIMA. Pulse-modulated, high-frequency plasma sterilization at atmospheric-pressure. *Science Direct: Surface & Coatings Technology*. 2006, č. 200, s. 5829-5835. ISSN 0257-8972. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.08.124.

⁵ Plazmová sterilizace v Nemocnici Havlíčkův Brod. TALPA, David. *Kraj Vysočina: Zdravotnický portál kraje Vysočina* [online]. 1. 3. 2010 [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://www.kr-vysocina.cz/plazmova-sterilizace-v-nemocnici-havlickuv-brod/d-4027558/p1=32066>

⁶ CHU, Paul K. Enhancement of surface properties of biomaterials using plasma-based technologies. *Science Direct: Surface & Coatings Technology*. 2007, č. 201, s. 8076-8082. ISSN 0257-8972. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.12.053.

využívá například při rovnání páteře, kdy je nemožné použít běžnější materiál pro lékařství – chirurgickou ocel – jelikož nemá tvarovou paměť. Problémem u Nikl-Titanového materiálu je jeho nízká odolnost proti korozi a možnost silné alergické reakce u lidí náchylných na nikl. A právě proto se musí ošetřovat plazmovým výbojem.

1.2.2.3 Ošetřování semen obilovin

Jak již bylo napsáno výše, této podkapitole bude poskytnut větší prostor z důvodu toho, že tato diplomová práce je zaměřena tímto směrem.

V podkapitole Plazmové zpracování, depozice tenkých vrstev se lze dočíst, že za pomoci plazmatu je možno ovlivňovat vlastnosti povrchu různých materiálů. Stejně lze upravovat/ošetřovat i povrch (a nejen ten) semen různých rostlin. Nyní to však není formou nanášení jiných materiálů na povrch semen, ale využíváním chemických reakcí, které při plazmovém výboji vznikají. Proto lze ovlivňovat nejenom povrch semena, ale také jeho obsah.

Modifikace povrchu se využívá k ovlivnění vlastností semen při zasazování (smáčivost a rychlost klíčení). Ošetření semen studeným (v nerovnovážném stavu, viz dále v kapitole Vývoj výboje Gliding Arc) vzduchovým plazmatem vede k výraznému poklesu kontaktního úhlu kapky se semenem. Tím pádem je kapka vstřebávána větším povrchem semene – semeno je lépe zavlažováno. Těmito úpravami se zabývalo několik vědců a více se o tom lze dočíst například v jednom z vědeckých článků „*Ošetření nízkoteplotním radiofrekvenčním plazmatem k úpravě smáčivosti a rychlosti klíčivosti zasazených semen*“⁷ uveřejněném v periodiku *Scientific Reports*. Jak už název napovídá, vědci využili při těchto experimentech studeného plazmatu buzeného vysokými frekvencemi.

Modifikace povrchu je jen jednou věcí, kterou se při ošetřování semen vědci zabývají. Jelikož konzumace těchto semen, nebo výrobků z nich, způsobovala lidem, ale i zvířatům, zdravotní problémy, začali se tím zabývat vědci. Zjistili, že semena mohou být napadena různými plísněmi, spóry hub a mykotoxiny (toxické sekundární

⁷ BORMASHENKO, Edward, Roman GRYNIOV, Yelena BORMASHENKO a Elyashiv DRORI. Cold Radiofrequency Plasma Treatment Modifies Wettability and Germination Speed of Plant Seeds. *Scientific Reports*. 17. 10. 2012, 2:741, s. 1-8. DOI: 10.1038/srep00741.

metabolity⁸ vzniklé z plísní a hub) způsobujícími právě tyto zdravotní problémy, ale nejen je. Tím, že jsou semena napadena, se snižuje i jejich životnost.

Začalo se řešit, jakým způsobem se může tento problém odstranit. Samozřejmě to, jak se ničily tyto metabolity, záviselo na době, ve které se problém řešil. Způsobů ničení mykotoxinů je několik. Fyzikální, chemický a biologický.⁹ Fyzikální a chemické způsoby však mají velmi rozdílné stupně úspěšnosti. U biologické metody jsou k detoxikaci používány mikroby nebo jejich enzymy. Samozřejmě každá z těchto metod má své nevýhody, jako například nežádoucí změny v jídle a krmivech během průběhu detoxikace.

Většina semen vyprodukovaných komerčními společnostmi je často ošetřována fungicidy a insekticidy ve snaze zvýšit šanci přežití vysazených semen. Vrstva vytvořená po ošetření uzavře semeno a tím sníží potenciální možnost napadení škodlivými látkami během transportu, skladování a při vysazení. Jelikož ale toto ošetřování probíhá ve vodní lázni, dochází ke znečišťování vody, což je dalším, docela výrazným problémem.¹⁰

Tyto situace tudíž vedly k vývoji nových a lepších technik detoxikace, které by byly přinejmenším stejně účinné jako ty současné, ale v některých oblastech vylepšené, například rychlejší průběh opracování, netoxicita a lepší konzervace.¹¹

V poslední době se začala věnovat pozornost opracování za pomoci plazmy (metodám deaktivace a ničení nebezpečných látek). Na toto téma bylo vypracováno již mnoho vědeckých studií, které si zde shrneme.

První práce, kterou si zde popíšeme, je od vědců z Japonska a Jižní Koreje s názvem „*Rozklad mykotoxinů za použití argonového plazmatu indukovaného mikrovlnami při atmosférickém tlaku*“.¹¹

Plazma indukované mikrovlnami je vlastně všechno plazma, které bylo vybuzeáno elektromagnetickým zářením s rozsahem frekvencí 300 MHz až 10 GHz.

⁸ **Metabolit** je produkt látkové přeměny

⁹ VARGA, J. a B. TÓTH. Novel strategies to control mycotoxins in feeds: a review. *Acta Vet Hung.* 2005, roč. 53, č. 2, s. 189-203.

¹⁰ VOILIN, John C., Ferencz S. DENES, Raymond A. YOUNG a Scott M. T. PARK. Modification of Seed Germination Performance through Cold Plasma Chemistry Technology. *Crop Science*. November-December 2000, č. 40, s. 1706-1718.

¹¹ PARK, Bong Joo, Kosuke TAKATORI, Yoshiko SUGITA-KONISHI, Ik-Hwi KIM, Mi-Hee LEE, Dong-Wook HAN, Kie-Hyung CHUNG, Soon O. HYUN a Jong-Chul PARK. Degradation of mycotoxins using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. *Science Direct: Surface & Coatings Technology*. 207, č. 201, s. 5733-5737. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2006.07.091.

Práce se zabývala rozkladem tří základních a vysoce rozšířených mykotoxinů, které se nacházejí v jídle a krmivech za pomoci plazmatu. Jsou jimi:

- Aftalotoxin
 - Jsou produktem plísni rodu *Aspergillus* a patří mezi nejsilnějších známé karcinogeny.¹²
- Deoxynivalenol (Vomitoxin)
 - U lidí se otrava projevuje zvracením, průjmem, bolestí hlavy, ... A u zvířat vede k snížení imunity, výkonnosti a dokonce může způsobit úhyn zvířete.¹³
- Zearalenon
 - Jsou produktem plísni *Fusarium*. U zvířat, hlavně vepřů, i lidí způsobují syndrom hyperestrogenismu (nižší věk puberty u dívek, porucha plodnosti u chlapců,...).¹⁴

Výsledkem této práce bylo prozkoumání, jak se tyto mykotoxiny budou chovat při ošetření. Vědci si pro tuto práci vyrobili vlastní plazmový systém pro tvorbu žádaného plazmatu, kdy jako pracovní plyn byl zvolen argon. Po ošetření zbytky mykotoxinů podrobili analýzám za pomoci chromatografu a zjistili, že použité mykotoxiny byly kompletně odstraněny již po pěti sekundách ošetření. Cytotoxicita těchto látek se dramaticky snižovala s časem, po který bylo ošetřování prováděno.

Tímto byl dokázán veliký potenciál využití ošetřování za pomoci plazmatu k rozkladu mykotoxinů, který může být efektivně použit na potravinách a krmivech.

Druhá práce zde popsána je od vědců z oddělení potravinářského inženýrství Suleyman Demielovo univerzity. Název této práce je „*Dekontaminace obilí a luštěnin napadených druhem *Aspergillus* a *Penicillium* za pomoci nízkoteplotního plazmatu*“.¹⁵

Účelem této práce bylo určení účinnosti nízkotlakého nízkoteplotního plazmového systému, který si vědci sami vyvinuli. Jako pracovní plyn zde byl použit

¹² KRMENČÍK, Pavel a Jiří KYSILKA. Aftalotoxiny. *Toxikon* [online]. 1. 1. 2001 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.biotox.cz/toxikon/mikromycety/aflatox.php>

¹³ ROTTER, BA, DB PRELUSKY a JJ PESTKA. Toxicology of deoxynivalenol (vomitoxin). *Journal of toxicology and environmental health*. 1996, roč. 48, č. 1, s. 1-34. ISSN 0098-4108.

¹⁴ KRMENČÍK, Pavel a Jiří KYSILKA. Zearalenony. *Toxikon* [online]. 1. 1. 2001 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.biotox.cz/toxikon/mikromycety/zearalenon.php>

¹⁵ SELCUK, Meral, Lutfi OKSUZ a Pervin BASARAN. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresource Technology*. 2008, roč. 99, č. 11, s. 5104-5109. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.09.076. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852407007894>

vzduch, anebo fluorid sírový (SF₆). Pro tento experiment bylo využito více druhů obilovin a luštěnin. Konkrétně pšenice, ječmen, oves, čočka, žito, kukuřice a cizrna.

Již podle názvu práce je zřejmé, že vědci se zaměřili na ničení dvou druhů patogenních hub, a to plísně rodu *Aspergillus* a *Penicillium*, které jsou nejvíce zodpovědné za kažení semen během skladování. Snižují kvalitu semen (snižují nutriční hodnoty, vytváří nevábné zápachy a zbarvení).

- *Aspergillus*
 - Způsobuje různé alergické reakce postihující zejména nosní dutiny. Dále může způsobit infekční onemocnění aspergilózu.¹⁶
- *Penicillium*
 - Mnoho druhů této houby produkuje spousty toxických mykotoxinů. Mohou způsobovat i úmrtí zvířat. Na druhou stranu se také mnoho druhů využívá v potravinářském průmyslu, například v sýrech s modrou plísní, kde zlepšují chuť a zabraňují kolonizaci jiných forem plísní a bakterií.¹⁷

Vlastní aparatura, ve které tyto experimenty probíhaly, se skládá z několika částí. Hlavní část je křemíková plazmová trubice, jež je 6x obtočená anténou. Další částí prototypu je zásobník pracovního plynu a vakuová pumpa pro udržení nízkého tlaku v trubici. Semena se po dávkách vložila doprostřed trubice, kde je největší plazmová hustota. Do trubice se pustil pracovní plyn a vytvořil se plazmový výboj. K vytvoření výboje se používal sinusový signál 20 000 V o frekvenci 1 kHz. Ošetřování probíhalo periodicky po 30 s a celkový čas ošetřování se pohyboval v rozmezí 5-20 minut.

Úspěch ošetření nezávisí ale jen na pracovním plynu a době ošetřování, nýbrž také na typu a povrchu semen. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo při použití fluoridu sírového jako pracovního plynu a délce ošetření 15 min. U těchto parametrů bylo dosaženo snížení obsahu plísní o 3log . Jinak celkově u všech parametrů se dospělo ke snížení obsahu plísní pod 1 % počátečního počtu v závislosti na kontaminaci.

Jako hlavní nevýhody tohoto experimentu vědci uvedli počáteční náklady na zařízení a také omezený objem plazmového aplikátoru.

¹⁶ ASPERGILLUS WEBSITE. *The Aspergillus Website* [online]. 2009 [cit. 2013-06-23]. Dostupné z: <http://www.aspergillus.org.uk/>

¹⁷ THE UNIVERSITY OF ADELAIDE. *Mycology Online: Penicillium sp.* [online]. 2013, 22/06/2013 [cit. 2013-06-23]. Dostupné z: [http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Hyphomycetes_\(hyaline\)/Penicillium/](http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Hyphomycetes_(hyaline)/Penicillium/)

Nabízí se tedy otázka, čím to tedy je, že dochází k ničení těchto mikroorganismů? U plazmového výboje mohou být buňky bakterií ničeny čtyřmi známými faktory nebo jejich kombinacemi. Těmito faktory jsou teplota, ultrafialové záření, nabitě a reaktivní částice. Každý z těchto faktorů je navíc ještě ovlivňován dalšími parametry – pracovním plynem a rychlostí jeho průtoku.

Těmito faktory, mimo nabitých částic, se zabývala další práce. Tato práce byla publikována vědci z Old Dominion University v USA. Název práce je „*Vyhodnocení role reaktivních částic, tepla a UV radiace při deaktivaci buněk bakterií ve vzduchovém plazmatu při atmosférickém tlaku*“.¹⁸

Již dlouho byl znám vliv teploty na živé buňky. Již dávno byly vyvinuty sterilizační techniky na bázi tepla. Avšak při zjišťování jakou roli hraje teplo při použití vzduchové plazmy, nebyl zjištěn žádný markantní vliv na ničení buněk mikroorganismů.

Co se týče ultrafialového záření (UV), pro ničení DNA buněk bakterií jsou nejvhodnější vlnové délky v rozmezí 220-280 nm. Avšak během proběhlých pokusů se objevily vlnové délky až za hranicí 285 nm. Tudíž UV záření nemá žádný vliv na sterilizační proces.

Posledním ze sledovaných faktorů jsou reaktivní částice vznikající při plazmovém výboji. Ty hrají v plazmatu významnou roli. Díky nim dochází k povrchové interakci. Těmito částicemi jsou nejčastěji kyslík (O), ozón (O₃), hydroxyl (OH), NO, NO₂, atd. Zmíněné radikály mají přímý dopad na buňky mikroorganismů a mohou vést k eventuálnímu zničení této buňky.

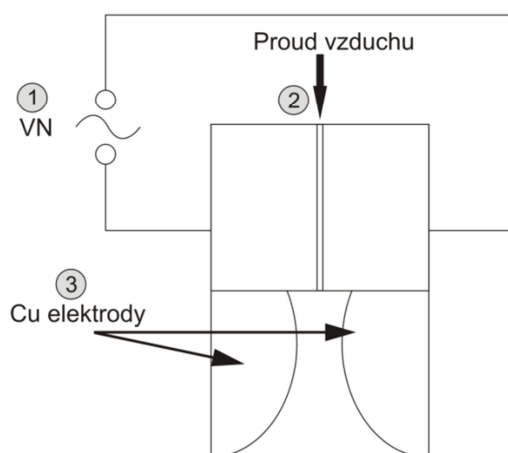
Výsledkem práce amerických vědců je tedy závěr, že největší roli při ničení buněk mikroorganismů hrají právě reaktivní částice. Teplota a UV záření mohou hrát vedlejší roli.

¹⁸ LAROUSSE, M. a F. LEIPOLD. Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. *International Journal of Mass Spectrometry*. 2004, roč. 233, 1-3, s. 81-86. DOI: 10.1016/j.ijms.2003.11.016. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138738060400003X>

2 Princip činnosti Gliding Arc plazmového zdroje

Gliding arc (klouzavý výboj) je při atmosférickém tlaku velice jednoduchým a nenákladným zdrojem netermálního plazmatu. Je velmi energeticky účinný, má vysokou selektivitu reakcí a specifickou produktivitu. Proto se ve velké míře užívá v průmyslových oblastech.¹⁹

K nastínění principu činnosti plazmového zdroje je zde využito schématického znázornění plazmatické trysky pro experimentální činnost²⁰ (Obrázek č. 3).



Obrázek č. 3: Schéma plazmové trysky pro experimentální činnost

Na schématu můžeme vidět složení celého přístroje. Hlavní části této trysky jsou následující:

1. Vysokonapěťový zdroj
2. Tryska s přívodem plynu
3. Obloukové elektrody

Vysokonapěťový zdroj zde slouží k přivedení dostatečně vysokého napětí, aby došlo k průrazu vzduchu mezi elektrodami a tím se vytvořil výboj. Toto napětí je závislé na vzdálenosti mezi elektrodami (viz další kapitola).

¹⁹ GROSSMANNOVÁ, H. *Diagnostika rozkladu těkavých organických látek v klouzavém obloukovém plazmatickém výboji* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. 2008, 94 s.

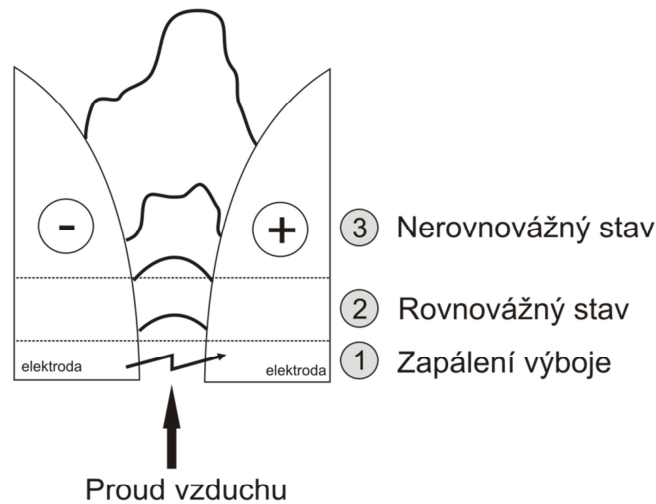
²⁰ KRÍŽ, Pavel, Petr ŠPATENKA, J. CERMÁN, M. DIENSTBIER, B. GAVRIL a B. ŠERÁ. Examples of Organic Substances Treatment by Gliding Arc Plasma. *Society of Vacuum Coaters Bulletin: A Publication for the Vacuum Coating Industry*. 2012, Summer 2012, s. 42-45. Dostupné z: http://delivery.qmags.com/d/?pub=SVC&upid=17395&s=ML&fl=others/SVC/SVC_Summer_2012.pdf

Další důležitou částí přístroje je *tryska s přívodem plynu*. Touto tryskou je do celého systému přiváděn plyn, který ovlivňuje vlastnosti výboje, a navíc ho ještě „posouvá“ po elektrodách. Jako pracovní plyn může být použit vzduch, vodní páry, Ar, H₂, N₂ a další plyny, zvolené podle chemických reakcí, kterých chceme dosáhnout. Tyto plyny mohou být přehřáté nebo chladné a o tlaku v rozmezí 0,5-5 atmosfér.

Poslední částí přístroje je *pár elektrod* (někdy i více párů), které jsou umístěny v určité vzdálenosti od sebe. Po přivedení dostatečně vysokého napětí na tyto elektrody vzniká mezi těmito elektrodami námi žádaný výboj. Specifický tvar těchto elektrod (oblouk) je dán vývojem výboje, který je vysvětlen níže v další kapitole.

2.1 Vývoj výboje Gliding Arc

Během vývoje výboje Gliding Arc plazma prochází mnoha stavy²¹ a tyto stavy jsou ukázány na obrázku č. 4. Fyzikální fenomény, jako jsou změny v elektrickém poli proudu a napětí, procesy tepelného přenosu, systémová nestabilita atd., se dějí během jednoho cyklu vývoje tohoto nestálého výboje.



Obrázek č. 4: Fáze vývoje Gliding Arc

Zapálením výboje začíná cyklus vývoje Gliding Arc. Vysokonapěťový generátor poskytuje potřebné elektrické pole k proražení vzduchu mezi elektrodami. Průraz nastává v nejmenší vzdálenosti mezi elektrodami. Pro proražení vzduchové mezery o velikosti 1 mm při atmosférickém tlaku se udává potřebné průrazové napětí o velikosti přibližně 3 kV²¹. Na našem experimentálním přístroji jsou elektrody od sebe vzdálené 5 mm, tím pádem potřebné napětí k průrazu dosahuje velikosti 15 kV.

Po ustálení plazmového kanálu nastává rovnovážný stav. Během tohoto stavu se teplota příliš nemění (teplota elektronů a neutrálního plynu je vysoká) a výboj je posouván po elektrodách za pomoci proudu pracovního plynu. Tento pohyb není možné geometricky popsat a ještě nejsou vyvinuty kvantitativní modely pro popis relativních rychlostí výboje a proudu plynu.

Specifickou vlastností výboje je narůstající délka plazmového kanálu během jeho vývoje. Délka se zvětšuje až do momentu, kdy výkon dosáhne maximální hodnoty

²¹ FRIDMAN, Alexander, Sergei NESTER, Lawrence A. KENNEDY, Alexei SAVELIEV a Ozlem MUTAF-YARDIMCI. Gliding arc gas discharge. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1999, č. 25, s. 211-231. ISSN 0360-1285.

dostupné od zdroje. Jakmile ale délka překročí kritickou hodnotu, nastává nerovnovážený stav (studená plazma). Teplo vyzařující z výboje začne překračovat energii dodávanou ze zdroje a je nemožné udržet plazma v termodynamické rovnováze. Výsledkem je to, že vyvržené plazma se rapidně ochladí, zatímco jeho konduktivita je udržována vysokou teplotou elektronů. Dochází k postupné ionizaci.

Po skončení nerovnovážného stavu dochází k zhášení a poté novému zapálení výboje v nejužší části mezi elektrodami a celý cyklus se opakuje.

Elektrická energie, která je přivedena při nerovnovážném stavu, je využita přímo pro generování vysoce reaktivního prostředí podporující chemické reakce. Až 80 % této elektrické energie může být spotřebováno endotermickými²² chemickými reakcemi.

Těchto chemických reakcí se využívá například při dekompozici těžkých organických látek (toluen, xylen, CO₂, N₂O, amoniak, atd.), hlavně z různých chemických provozoven, jako jsou například úpravny plastů.²¹

²² **Endotermická reakce** je taková reakce, která spotřebovává teplo. Pro proběhnutí reakce musíme nutně teplo dodávat, jinak se odebírá z okolí. Pokud není teplo dodáno, reakce neproběhne.

3 Praktická část

Jak je zřejmé z podkapitoly 1.2.2.3 (Ošetřování semen obilovin), studiem a využitím plazmatu při ošetření obilovin (ničení nebezpečných a toxických látek, zlepšování klíčivosti a smáčivosti, atd.) se zabývalo mnoho studií a vědeckých prací. Spousta z nich, ne-li všechny, dospěly k výsledkům, že se plazmové výboje mohou velmi dobře využívat s vysokou efektivitou k těmto ošetřováním. Bohužel žádná z těchto prací se přímo nezabývala tím, co se bude dít s výživovými hodnotami samotných semen. Je velmi dobré vědět, že plazmové ošetřování semen s vysokou účinností ničí mykotoxiny, plísně a další látky. Pokud se však při tomto ošetření zničí i výživové hodnoty, je toto ošetřování, můžeme říci, zbytečné. Protože zničením výživových hodnot semen dojde k jejich znehodnocení a tím pádem i k nevyužitelnosti. Z tohoto důvodu se tato práce zabývá tím, co se děje s výživovými hodnotami ošetřených vzorků semen.

Praktická část této diplomové práce se skládá z více částí. Jelikož se celá práce zabývá ošetřováním obilovin plazmatickým výbojem Gliding Arc při určitém nastavení parametrů, muselo se jako první udělat měření teploty pracovního plynu při několika variacích těchto parametrů. Až podle naměřených hodnot se vybíralo, při jakém nastavení parametrů se budou vzorky obilovin ošetřovat. Kdyby došlo ke špatnému zvolení parametrů, mohlo by dojít ke zničení vzorků, a tím i ke znehodnocení experimentu. Teprve po naměření a správném zvolení vhodných parametrů mohlo dojít k experimentům se vzorky obilovin. Tyto vzorky byly později odeslány na analýzu výživových hodnot.

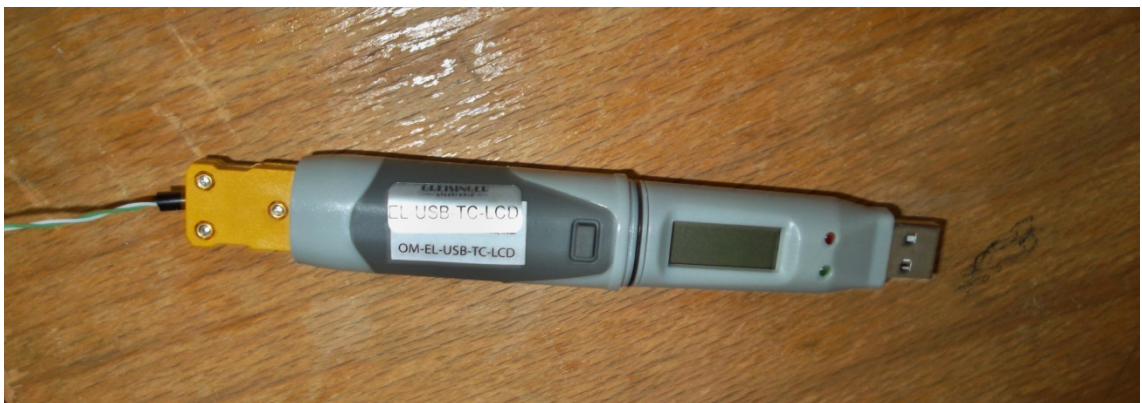
Semena obilovin, použítá v následujících experimentech, jsou druhu Triticale, který vznikl křížením žita a pšenice, a jsou poskytnuta paní Ing. Pavlínou Vazdovou ze Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Opracování semen probíhalo na experimentální sestavě poskytnuté firmou SurfaceTreat, a.s. v prostorách Vědeckotechnického parku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Schéma sestavy je znázorněno na obrázku č. 3: Schéma plazmové trysky pro experimentální činnost a její popis naleznete v kapitole číslo 2. Jak celá sestava vypadala doopravdy, je vyobrazeno na obrázku č. 6 v následující kapitole.

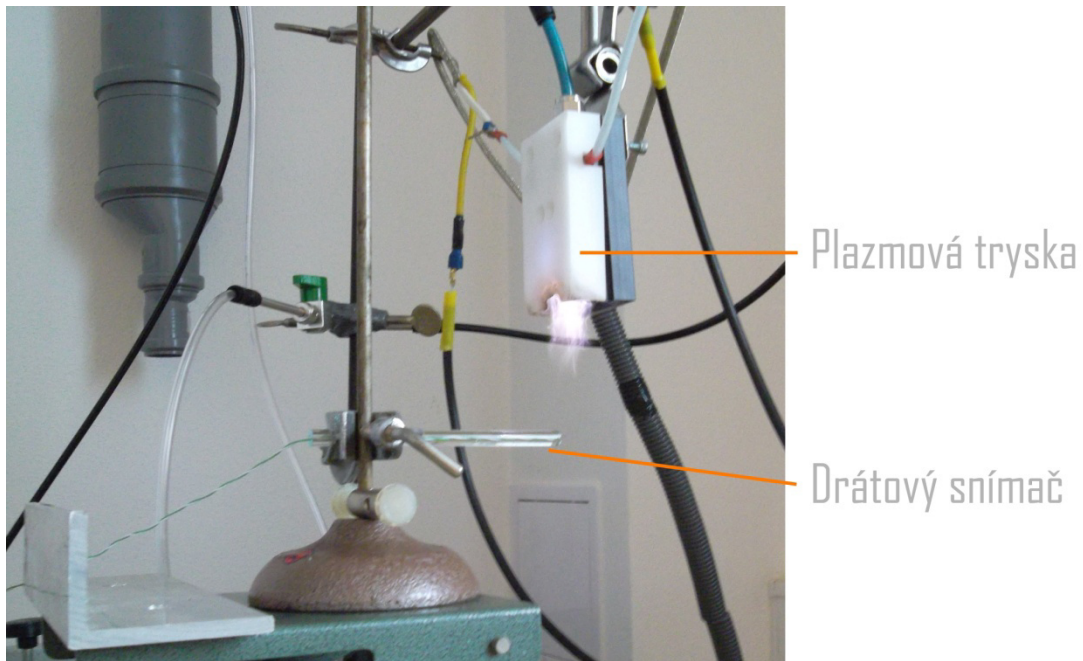
3.1 Měření teploty pracovního plynu při různých parametrech výboje

V první řadě muselo být provedeno měření teplot pracovního plynu pro různé nastavení parametrů výboje. Těmito parametry je myšlen průtok pracovního plynu (Q [SCFH]), vzdálenost od experimentálního přístroje (d [cm]) a také čas po jaký bude výboj spuštěn (t [s]). Nastavení těchto parametrů bylo ovlivněno zkušenostmi z dřívějších experimentů, které prováděl vedoucí této diplomové práce.

K měření teplot byl použit datalogger OM-EL-USB-TC-LCD s drátovým snímačem Greisinger GTF 300. Tento snímač je uzpůsoben k rychlému měření teplot vzduchu, plynů, kapalin a malých ploch v rozmezí -65 °C až $+300\text{ °C}$. Přístroj byl nastaven tak, aby každou sekundu byla zaznamenána aktuální teplota, s přesností na $0,1\text{ °C}$, zjištěná teplotním snímačem. Naměřené hodnoty byly poté za pomoci přiloženého softwaru staženy do počítače, kde byly následně zpracovány a vyhodnoceny v tabulkovém procesoru.



Obrázek č. 5: Datalogger OM-EL-USB-TC-LCD

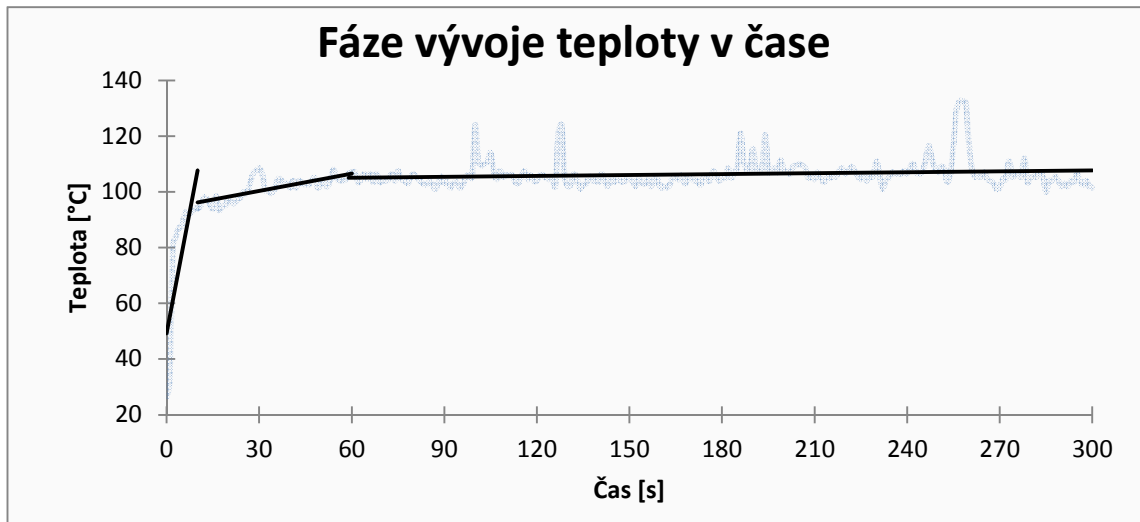


Obrázek č. 6: Sestava pro měření teploty výboje
(Drátový snímač je umístěn v skleněné trubičce, aby nedocházelo k tavení ochranné bužírky)

Základní měření teploty probíhalo bez použití tubusu sloužícího k míchání semen obilovin, a to ze dvou důvodů. První z těchto důvodů je využití výsledků tohoto měření v současně probíhajících experimentech dalších kolegů. Druhým důvodem je také zjištění, jakých teplot lze při určitém nastavení parametrů dosáhnout, aby při pozdějším použití tubusu nedošlo k jeho poškození.

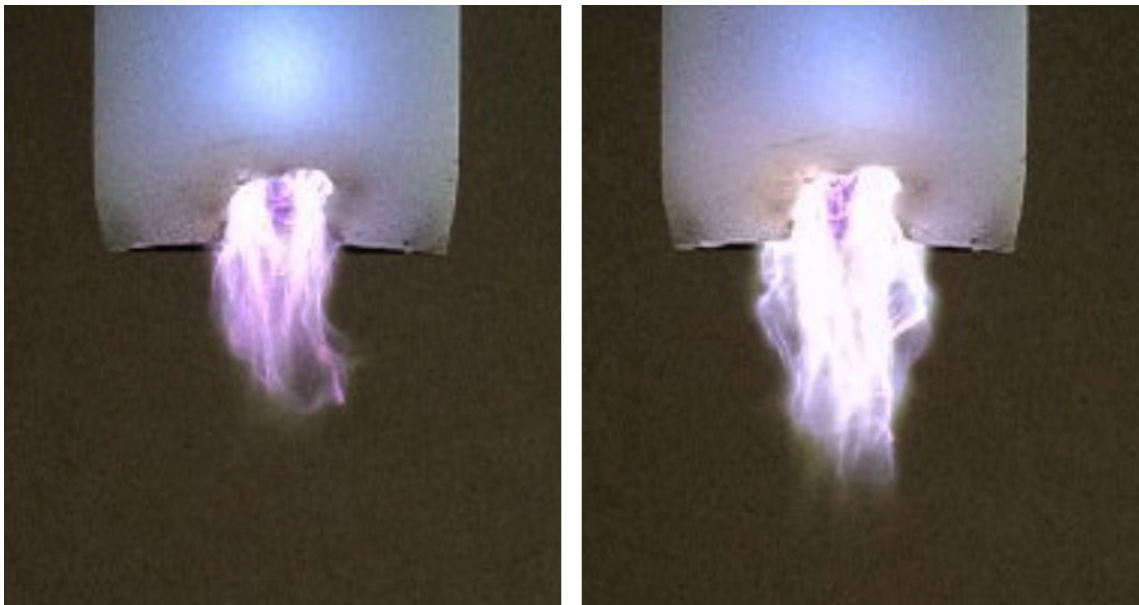
Během měření teplot byl zjištěn stejný průběh zaznamenaných hodnot, který lze rozdělit do tří fází. V první fázi, cca do 6 s od začátku měření, došlo k prudkému nárůstu teploty pracovního plynu. Po uplynutí této doby dochází k druhé fázi, od 6 s do 60 s, kde teplota plynu stále narůstá, ale již ne tak razantním způsobem. Nakonec dochází k ustálení maximální teploty, nebo jen k jejímu minimálnímu nárůstu, ve fázi třetí.

Celé toto měření bylo prováděno kontinuálně po dobu 5 min. Výsledek celého měření lze demonstrovat na jednom z mnoha grafů (viz Graf č. 1), které byly k tomuto měření vytvořeny a jsou vloženy v přílohách této práce.



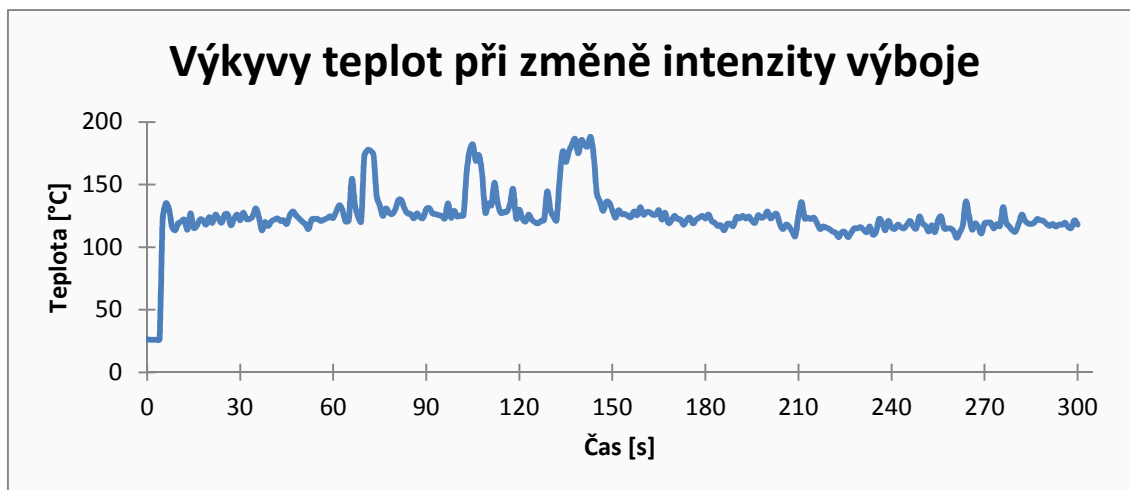
Graf č. 1: Fáze vývoje teploty v čase
(Graf naměřených hodnot je pro parametry: průtok 40 SCFH a vzdálenost 5 cm)

Celý první den měření proběhl v pořádku bez žádných větších anomálií. Druhý den měření byl přestěhován kompresor poskytující proud vzduchu do jiné místnosti a začaly se objevovat změny výboje během jeho průběhu (viz obrázek č. 7).



Obrázek č. 7: Výboje (vlevo normální výboj; vpravo intenzivnější výboj)

Zapálený výboj čas od času měnil svou intenzitu a to se promítlo do naměřených hodnot. V naměřených hodnotách se v době, kdy byl výboj intenzivnější, objevil vysoký nárůst teploty (viz Graf č. 2). Doba, kdy byl výboj intenzivnější než za normálních okolností, se pohybovala v rozmezí od jedné sekundy do několika desítek sekund.



Graf č. 2: Výkyvy teplot při změně intenzity výboje
(Graf naměřených hodnot je pro parametry: průtok 30 SCFH, vzdálenost 3 cm)

Tento děj byl nejspíše s velkou pravděpodobností způsoben vlhkostí vzduchu. Při stlačování plynu (v tomto případě vlhkého vzduchu) v kompresoru dochází ke kondenzování vlhkosti. Při následném vypuštění natlakovaného plynu tryskou byla tímto proudem strhnuta zkondenzovaná vlhkost, která se následně dostala mezi elektrody experimentálního plazmového zdroje a vyvolávala tyto anomálie – docházelo ke zvyšování vodivosti mezi elektrodami zdroje.

3.1.1 Výsledné průměrné teploty bez tubusu

Teploty v následujících tabulkách jsou vypočteny jako průměr z naměřených hodnot. Průměrná maximální teplota je vypočtena z hodnot, které jsou menší než rozhodovací teplota $T_{\text{rozhodovací}}$, vypočtená z rovnice č. 2 po ustálení teploty (tj. třetí fáze, viz výše) za pomoci aritmetického průměru (viz rovnice č. 1).

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

Rovnice č. 1: Aritmetický průměr

Průměrná teplota peeku je počítána z hodnot vybočujících z průběhu teploty (peekem se zde rozumí náhlý nárůst teploty a je zmíněn výše v předchozí podkapitole). Tyto hodnoty byly určeny s pomocí rozhodovací teploty. Rozhodovací teplota byla vypočtena podle rovnice č. 2 a všechny hodnoty nad touto teplotou (opět teploty z třetí fáze) byly použity pro výpočet průměrné teploty peeku. I tato průměrná hodnota je vypočtená pomocí aritmetického průměru (viz rovnice č. 1).

$$T_{\text{rozhodovací}} = \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{2} + T_{\text{min}}$$

Rovnice č. 2: Vzorec pro výpočet rozhodovací teploty

- Teploty pro vzdálenost $d = 20$ mm

Tabulka č. 1: Teploty pro vzdálenost 20 mm

Průtok vzduchu Q [SCFH]	Průměrná teplota \bar{T} [°C]	Průměrná teplota peeku \bar{T}_{peeku} [°C]
30	142,1	186,5
40	94,2	70,3
50	70,3	77,2
60	58,9	67,8

- Teploty pro vzdálenost $d = 30$ mm

Tabulka č. 2: Teploty pro vzdálenost 30 mm

Průtok vzduchu Q [SCFH]	Průměrná teplota \bar{T} [°C]	Průměrná teplota peeku \bar{T}_{peeku} [°C]
30	122,3	173,0
40	100,7	133,3
50	65,2	76,0
60	60,9	69,7

- Teploty pro vzdálenost $d = 40$ mm

Tabulka č. 3: Teploty pro vzdálenost 40 mm

Průtok vzduchu Q [SCFH]	Průměrná teplota \bar{T} [°C]	Průměrná teplota peeku \bar{T}_{peeku} [°C]
30	105,5	139,5
40	109,0	122,4
50	67,4	83,3
60	58,7	67,2

- Teploty pro vzdálenost $d = 50$ mm

Tabulka č. 4: Teploty pro vzdálenost 50 mm

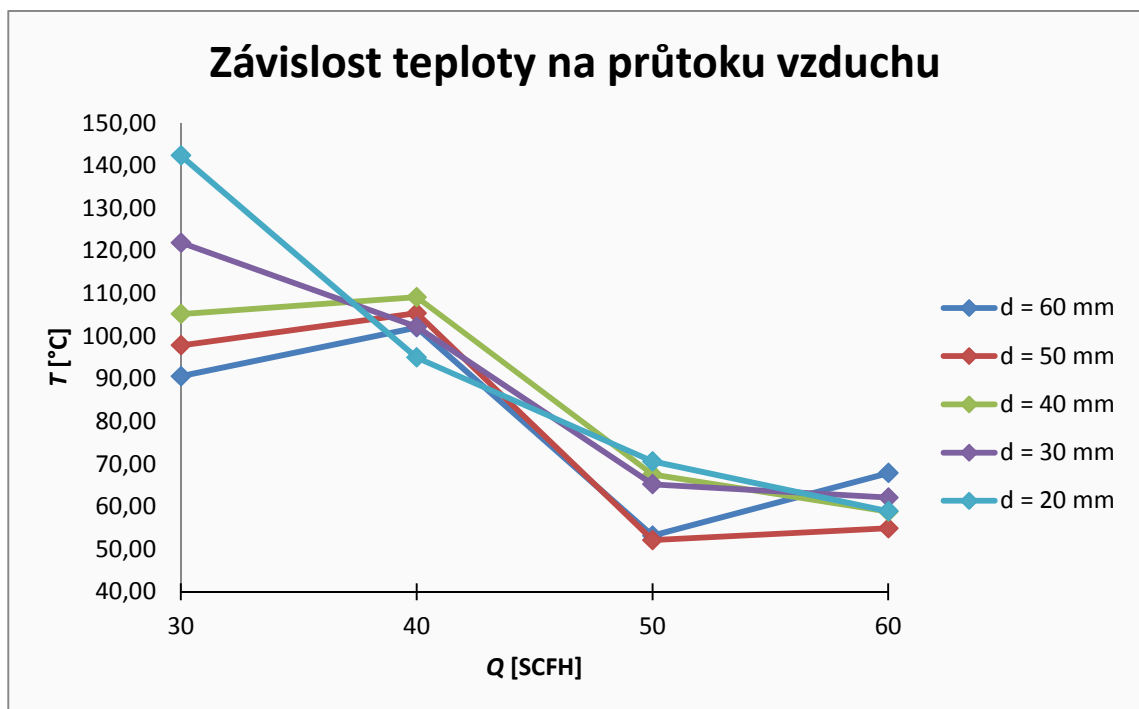
Průtok vzduchu Q [SCFH]	Průměrná teplota \bar{T} [°C]	Průměrná teplota peeku \bar{T}_{peeku} [°C]
30	98,3	132,5
40	105,4	124,0
50	52,3	81,6
60	53,7	66,5

- Teploty pro vzdálenost $d = 60$ mm

Tabulka č. 5: Teploty pro vzdálenost 60 mm

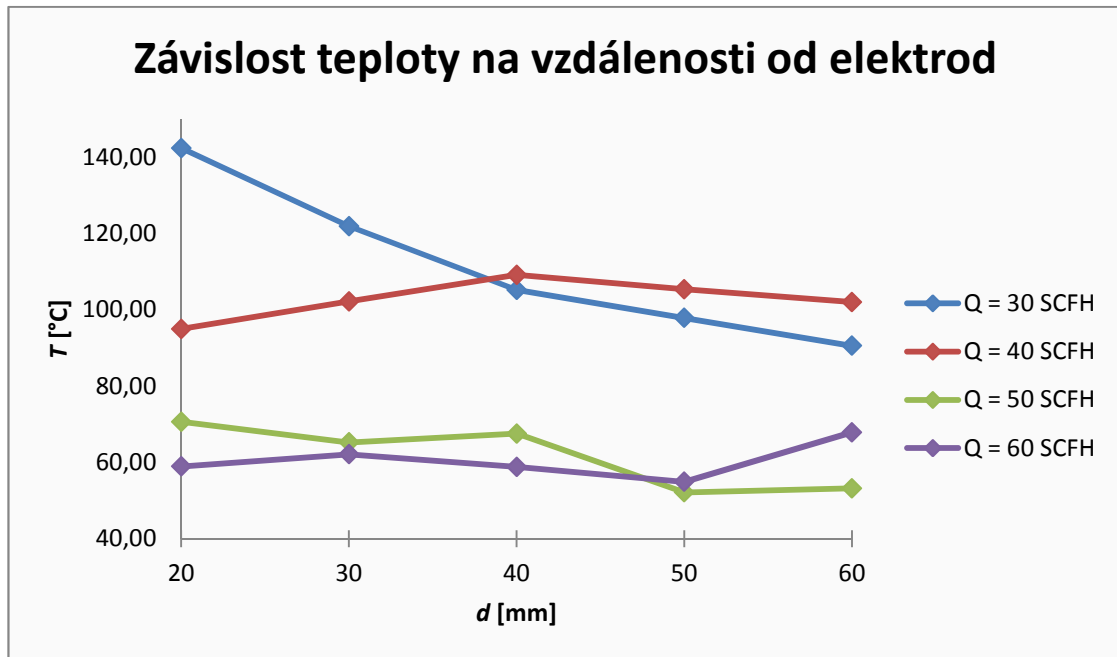
Průtok vzduchu Q [SCFH]	Průměrná teplota \bar{T} [°C]	Průměrná teplota peeku \bar{T}_{peeku} [°C]
30	90,6	139,2
40	101,1	105,5
50	53,8	76,1
60	67,0	68,7

Z naměřených hodnot lze vytvořit grafy závislosti teploty na průtoku vzduchu a závislosti teploty na vzdálenosti od elektrod. Z grafu č. 3 je zřejmé, že se zvyšujícím se průtokem vzduchu se teplota výboje snižuje. Výjimkou je průtok 40 SCFH, při kterém je u většiny měření teplota vyšší než u průtoku 30 SCFH.



Graf č. 3: Závislost teploty na průtoku vzduchu

Druhým grafem, který byl z hodnot vytvořen, je závislost teploty na vzdálenosti od elektrod (viz Graf č. 4). Z tohoto grafu lze vyčíst, že maximálních hodnot teplot pro každý z průtoků bylo dosaženo v jiných vzdálenostech. Tento jev může být vysvětlen tím, že pokud máme větší průtok plynu, je i výsledný výboj delší, tím pádem je nejvyšší teplota ve větší vzdálenosti.



Graf č. 4: Závislost teploty na vzdálenosti od elektrod

3.1.2 Výsledné průměrné teploty s tubusem

Po změření teplot mimo tubus bylo dalším úkolem zjistit a změřit teploty, jakých bude dosahováno uvnitř tubusu, ve kterém se semena budou dále opracovávat. Z předchozích měření byly vybrány dvě vzdálenosti, se kterými se bude dále pracovat. Těmito vzdálenostmi jsou $d_1 = 10$ cm a $d_2 = 6$ cm.



Obrázek č. 8: Tubus a míchací zařízení

Pro následující měření byla zvolena jen jedna vzdálenost a to $d_2 = 6$ cm, jelikož se předpokládá, že při větší vzdálenosti teploty budou dosahovat nižších hodnot. To znamená, že pokud při vzdálenosti $d_2 = 6$ cm nebudou teploty příliš vysoké (semínka se nespálí), nebudou ani teploty ve vzdálenosti $d_1 = 10$ cm pro semena nebezpečné. Vybrán byl také jeden kontrolní čas, po který probíhalo měření, a to $t = 60$ s. Tento čas byl vybrán z důvodu, že s přibývajícím časem se teplota zvyšuje a ošetřovaná semena se mohou začít pálit.

Před tímto měřením byla semena navážena a rozdělena do několika vzorků, konkrétně do 32. Hmotnost jednotlivých vzorků byla určena na 100 g, a to vzhledem k možnostem kapacity a schopnosti experimentálního přístroje míchat tato semena tak, aby se pod plazmovou tryskou nenacházela pouze jedna a tatáž semínka (aby byla stejnoměrně opracovaná všechna semena).

Výpočty teplot, uvedených v následujících tabulkách, proběhly opět podle předchozích rovnic. Jak průměrná teplota v tubusu, tak i průměrná teplota peeku, kde se opět využilo rozhodovací teploty z rovnice č. 2, se poté zprůměrovala znovu podle rovnice č. 1.

- *Bez semínek* (vzdálenost $d = 60$ mm; čas $t = 120$ s)

Tabulka č. 6: Teploty v tubusu bez semínek

Průtok vzduchu Q [SCFH]	Průměrná teplota \bar{T} [°C]	Průměrná teplota peeku \bar{T}_{peeku} [°C]
30	176,9	193,4
40	149,1	163,7
50	108,6	119,2
60	67,9	75,4

- Během tohoto měření nebyl použit čas $t = 60$ s, jak bylo výše napsáno, ale čas $t = 120$ s, a to z důvodu, že bylo potřeba zjistit, jak se bude chovat tubus při vyšších teplotách (zdali se nebude tavit).

- *Se semínky* (vzdálenost $d = 60$ mm; čas $t = 60$ s)

Tabulka č. 7: Teplota v tubusu se semínky

Průtok vzduchu Q [SCFH]	Průměrná teplota \bar{T} [°C]	Průměrná teplota peeku \bar{T}_{peeku} [°C]
30	114,8	123,1
40	107,4	115,9
50	88,9	97,0
60	68,6	89,1

- Jelikož chování tubusu bylo zjištěno a z důvodu již jsou výše napsány, bylo použito pro toto měření čas ošetřování $t = 60$ s.

- Pod semínky (vzdálenost $d = 60$ mm; čas $t = 60$ s)

Tabulka č. 8: Teplota v tubusu pod semínky

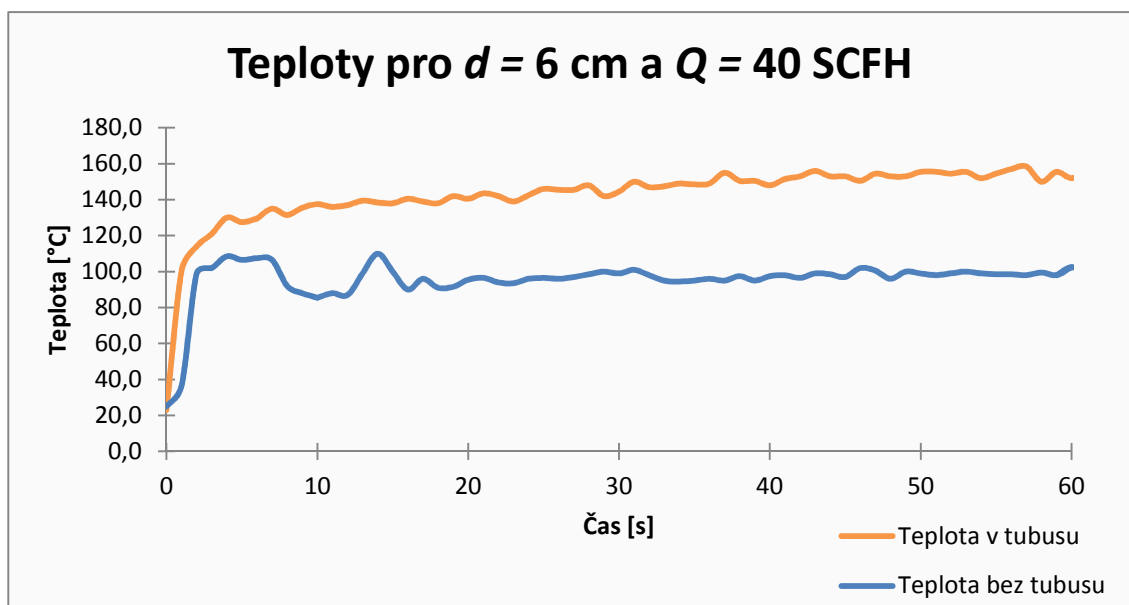
Průtok vzduchu Q [SCFH]	Výchozí teplota $T_{\text{výchozí}}$ [°C]	Maximální naměřená teplota T [°C]	Nárůst teploty oproti výchozí teplotě ΔT [°C]
30	25,5	29,0	3,5
40	29,5	34,0	4,5
50	29,5	34,0	4,5
60	29,5	33,5	4,0

- V tomto měření již nebylo možné průměrovat teploty, jelikož stále narůstaly. Proto se zde vyskytuje pouze maximální teplota a její výchylka oproti výchozí teplotě vypočtená podle rovnice č. 3.

$$\Delta T = T - T_{\text{výchozí}}$$

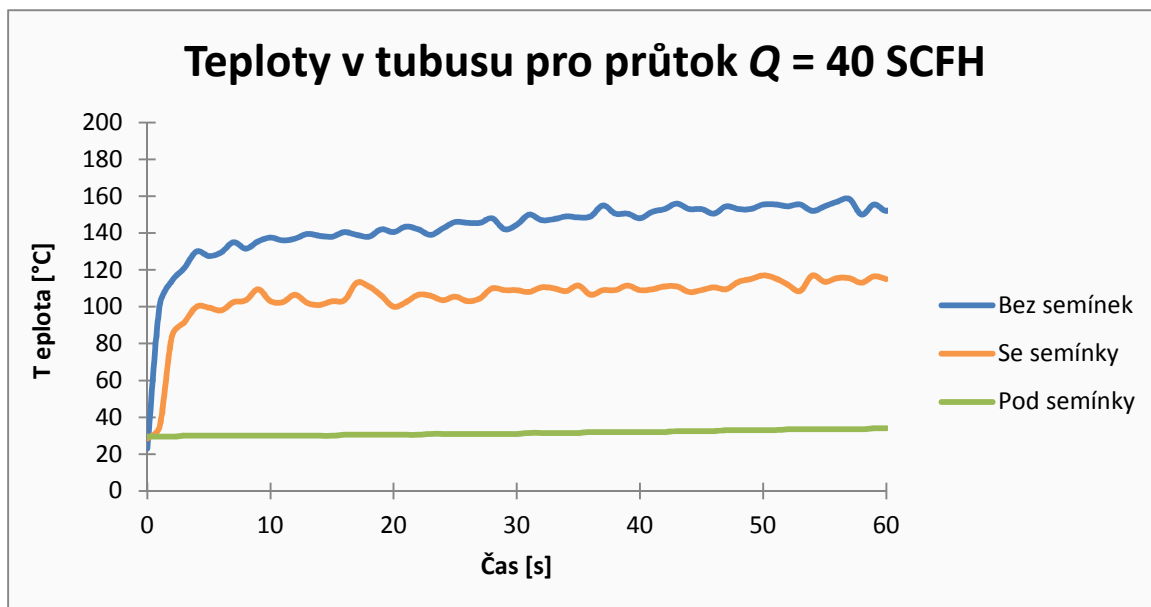
Rovnice č. 3: Výpočet nárůstu teploty

Z hodnot v tabulce č. 5 a tabulce č. 6 vidíme, že podle logického předpokladu, teplota v tubusu (v uzavřeném prostoru) bude vyšší, než teplota bez použití tubusu. Tento předpoklad je vyobrazen v grafu č. 5.



Graf č. 5: Teploty v tubusu (oranžová) a bez tubusu (modrá)
 (Graf naměřených hodnot je pro parametry: průtok 40 SCFH, vzdálenost 6 cm)

Z hodnot lze také vyčíst, že semena umístěná v tubusu během ošetřování absorbují teplo pocházející od výboje a tím se vlastně vysouší, což se nám velice hodí pro další aplikaci této plazmové trysky (viz další kapitola). Takže teplota, která byla naměřena nad ošetřovanými semeny, je menší nežli teplota měřená bez semen (viz Graf č. 6).



Graf č. 6: Všechny měřené teploty v tubusu
(Graf naměřených hodnot je pro parametry: průtok 40 SCFH, vzdálenost 6 cm)

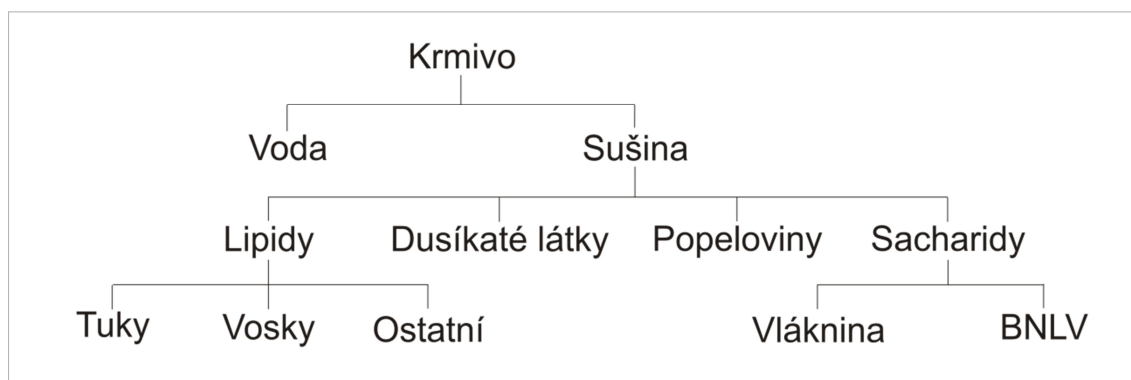
Dále teplota měřená pod semínky narůstala z počáteční hodnoty jen minimálně a velmi pomalu (maximálně o 4,5 °C za jednu minutu; Graf č. 6 - zelená barva). Nárůst této teploty lze připisovat ohřevu tubusu, míchacího zařízení a také absorpcí tepla semeny (zvyšují svojí vnitřní teplotu).

Celé měření teplot během průběhu plazmového ošetřování probíhalo již na experimentálních vzorcích, které byly po proběhnutém ošetření poslány dále na analýzy, co dané nastavení parametrů udělalo s výživovými hodnotami (viz následující kapitola 3.2).

3.2 Vliv změny parametrů výboje na výživové vlastnosti vybraného druhu obiloviny

Po ošetření všech 32 vzorků – každá kombinace vzdálenosti (6 a 10 cm) a průtoku vzduchu (30, 40, 50 a 60 SCFH) a byla ošetřována po čtyři různé časy (1,2, 3 a 4 min) – byly vzorky poslány na analýzu ke kolegyni Ing. Pavlíně Vazdové, momentálně na doktorském studiu na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

V této části jsme se již zabývali tím, jak celé ošetřování za pomoci plazmových výbojů ovlivňuje výživové hodnoty našich vzorků. Jak je vidět na obrázku č. 9 krmiva, v případě této práce semena, se skládají z mnoha živin. V této práci byly ale zjišťovány změny v základních výživových parametrech. Základním parametrem tedy je sušina a podíl popelovin, tuků, dusíkatých látek a vlákniny v ní obsažené.



Obrázek č. 9: Chemické složení krmiv

Nejlépeších výsledků, kterých by bylo dosaženo, jsou takové, kdy by se s výživovými hodnotami nic nedělo, ale docházelo by k vysušování semen, což by bylo výborné pro praktickou realizaci ve skladovacích silech různých společností.

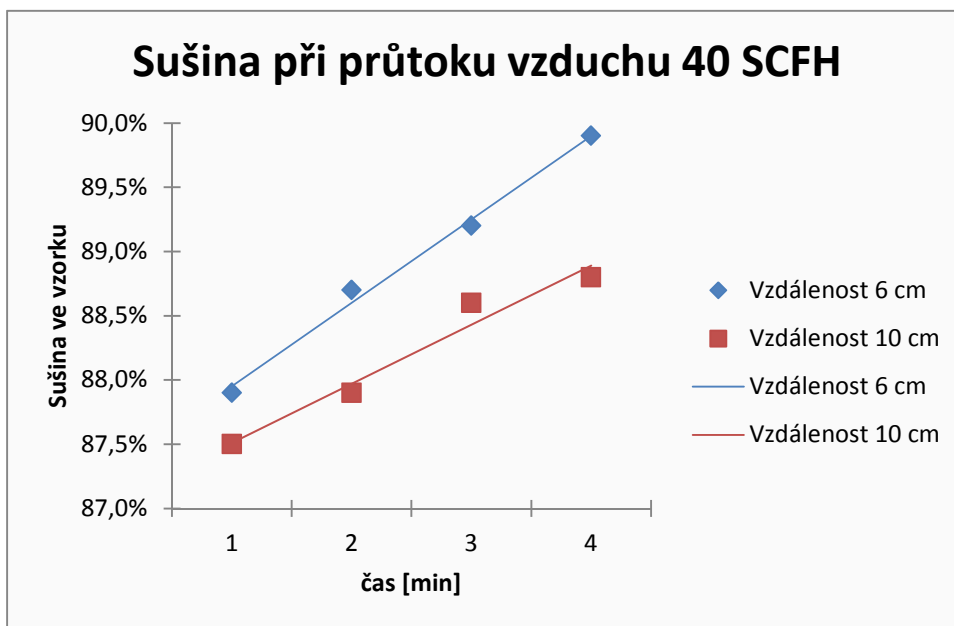
Je jasné, proč je pro praxi vhodné, aby výživové hodnoty zůstaly stále stejné. Docházelo by k degradaci těchto semen a pro další využití by byly nepoužitelné. K čemu by nám byla semena bez výživových hodnot?

Proč by ale bylo vhodné vysoušení semen? Aplikace plazmového ošetřování se využívá pro ničení různých bakterií, hub a plísní semen. Ty ke svému růstu a rozšiřování však potřebují také vlhkost, a tím, že semena budou vysušena, se výrazně zredukuje možnost jejich dalšího šíření na ostatní semena. Při praktické realizaci se tohoto vysušování může využít a tím zefektivnit celý postup (v jeden čas se semena ošetří a vysuší, čímž se omezí možnost znovunakažení a přenosu plísní na jiná semena).

To, co se bude dít s výživovými hodnotami, nelze moc dobře předpokládat, ale co se týče vysušování semen, je velice pravděpodobné, že k němu bude docházet, jelikož při ošetřování výbojem je dosahováno vysokých teplot, až cca 125 °C (ve vzdálenosti 6 cm a průtoku vzduchu 30 SCFH, ale pouze při ošetřování po dobu jedné minuty; viz Tabulka č. 7: Teplota v tubusu se semínky). Otázkou ale je, zda při dlouhodobějším působení této teploty na semena, se tato semena nebudou pálit – ničit. Avšak tato možnost by se měla eliminovat správným nastavením parametrů plazmového výboje (viz kapitola 3.1 výše).

3.2.1 Sušina

Sušina je zbytek krmiva, v tomto případě semen, získaný vysušením za stanovených podmínek tj. $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Po jejím sněžení se člověk/zvíře cítí nasycen/o (mechanické nasycení). Neříká nám tedy míru fyziologického nasycení – to je dáno množstvím přijatých živin.²³



Graf č. 7: Změna sušiny při průtoku vzduchu $Q = 40$ SCFH

Z grafu č. 7 (jeden z mnoha vytvořených grafů; zbytek je vložen v příloze) je již na první pohled vidět, že předpoklad vysoušení semen, byl správný. S nárůstem času, po který jsou semena ošetřována, opravdu úměrně vzrůstá obsah sušiny – vypařuje se z nich vlivem působení tepla voda.

Jak bylo napsáno výše, výsledek této analýzy se nám velice hodí pro pozdější využití v praktické aplikaci.

Ošetření plazmatem **má** tedy vliv na podíl sušiny v semenech.

²³ SLÁMA, J. – KODEŠ, A. – MUDŘÍK, Z. – HUČKO, B. Podtyp: Příspěvek ve sborníku (mimo kategorie RIV); *Ověření nutriční hodnoty modelových jetelovinotravních směšek*. 2011. In: Sborník konference IX. Kábrtovy dietetické dny, konference s mezinárodní účastí o bezpečnosti a produkční účinnosti krmiv. 18. 5. 2011, Brno, s. 206-210. ISBN: 978-80-7399-125-8.

3.2.2 Popeloviny

Popeloviny neboli minerální látky jsou pevným zbytkem po dokonalém spálení vzorku v muflové peci za teploty $(550 \pm 20) ^\circ\text{C}$. Pro živočichy jsou velmi důležité, organismus je nutně potřebuje, ale sám si je nedokáže vyrobit. Pro příklad v lidském těle tvoří minerální látky 4 % celkové tělesné hmotnosti. Jsou důležité pro správný růst a funkci metabolismu celého organismu. Mnohé z těchto látek jsou také velmi důležité při prevenci různých chorob.

Co se týče výsledků analýzy popelovin, neodhalily téměř žádnou nebo jen velmi malou změnu v hodnotách (maximální rozptyl byl pouze 0,2 %) a tato změna lze přičíst nepřesnosti měření.

V následující tabulce (Tabulka č. 9) jsou uvedeny naměřené hodnoty popelovin, které byly převedeny na obsah při 100% sušině.

Tabulka č. 9: Obsah popelovin při průtoku $Q = 30$ SCFH a vzdálenosti $d = 6$ cm

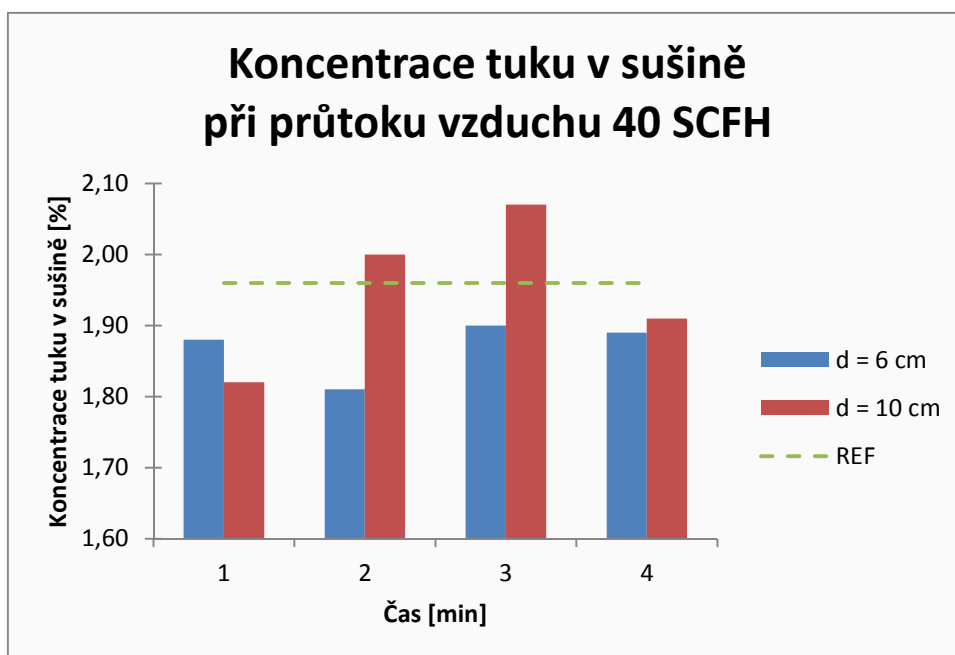
Čas ošetřování t [min]	Obsah popelovin při 100% sušině [%]
Referenční vzorek $t = 0$ min	2,0
1	2,0
2	2,0
3	2,0
4	1,9

Ošetření plazmatem tedy **nemá** vliv na obsah popelovin v semenech.

3.2.3 Tuk

Další z hodnot výživových parametrů, který se sledoval, byl obsah tuku. Jsou to látky rozpustné v organickém rozpouštědle.

Tuky jako látky jsou pro živočichy nezbytné. S jejich pomocí může organismus přijímat a plně využívat vitamíny rozpustné pouze v tucích. Obsahují také esenciální mastné kyseliny regulující metabolismus tuků. V našem případě rostlinné tuky mají pozitivní vliv na zdraví organismů právě díky vhodnému složení mastných kyselin.



Graf č. 8: Koncentrace tuku v sušině při průtoku vzduchu 40 SCFH

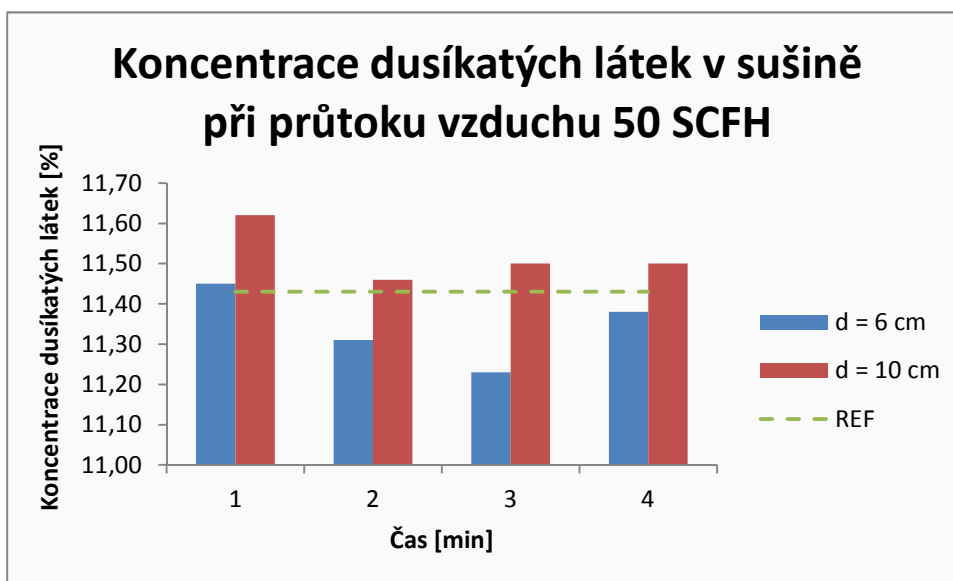
Z grafů (zde konkrétně Graf č. 8; opět zbytek grafů je vložen v příloze) můžeme vypořadovat, že ošetřování semen nemá téměř žádný vliv na obsah tuků v těchto semenech. Výchyly zde způsobené jsou minimální (maximální rozdíl mezi největší a nejmenší hodnotou je pouhých 0,4 %) a mohou být způsobeny tím, že ani jedno ze semen není stejné jako druhé.

Ošetření plazmatem **nemá** vliv na obsah tuků v sušině.

3.2.4 Dusíkaté látky

Dusíkaté látky jsou vlastně všechny látky, které obsahují dusík. Stanovují se ze zjištěného obsahu dusíku v sušině (stanoveného podle Kjeldahla)²³ a vynásobením koeficientem 6,25, ten je odvozen ze skutečnosti, že bílkoviny obsahují 16 % dusíku.

Dusíkaté látky jsou stavebními kameny živočišného těla, jsou spjaty s energetickou hodnotou krmiva a nelze je přijímat do zásoby. Přebytek způsobuje přetížení jater a poškozování vylučování, zatímco nedostatek například zpomaluje růst.



Graf č. 9: Koncentrace dusíkatých látek v sušině při průtoku vzduchu 50 SCFH

Stejně jako u koncentrace tuku (viz kapitola 3.2.3) ani zde ošetřování semen za pomoci plazmatu nemělo žádný vliv na obsah dusíkatých látek v sušině (Graf č. 9). Opět jsou zde hodnoty, které se pohybují v rozmezí jednoho stupně, a to mezi 11-12 % koncentrace pro obě vzdálenosti ošetření (pohybují se tedy v okolí koncentrace dusíkatých látek v referenčním vzorku).

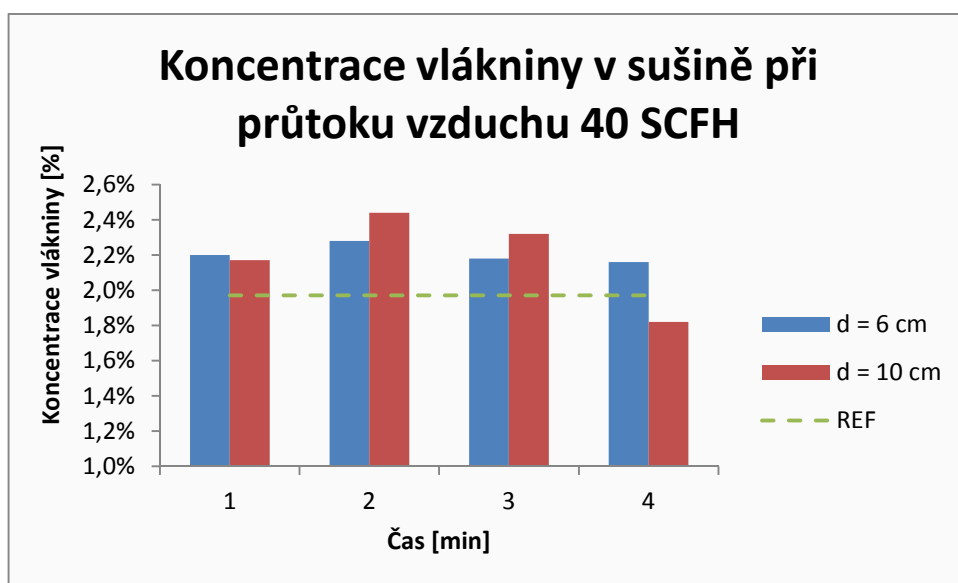
Ošetření plazmatem **nemá** vliv na obsah dusíkatých látek v sušině.

3.2.5 Vlákna

Zbytek krmiva po rozpuštění v kyselině, zásadě a organickém rozpouštědlu a po odečtení podílu popela v tomto zbytku se nazývá vlákna.

Lidé nedokáží vlákninu rozložit na stravitelné části, a proto se nemění na energii. Napomáhá tedy pohybu potravy trávicím traktem, váže na sebe vodu a cholesterol. Vlákna se dělí na dva druhy²⁴:

- Rozpustná
 - Rozpouští se ve vodě a zpomaluje pohyb potravy trávicím traktem, čímž napomáhá k zpracování nezbytných látek.
- Nerozpustná
 - Změkčuje stolicí a tím napomáhá ke správnému vyprazdňování střev.



Graf č. 10: Koncentrace vlákniny v sušině při průtoku vzduchu 40 SCFH

Stejně jako u koncentrace tuku (kapitola 3.2.3) a dusíkatých látek (kapitola 3.2.4), ani v případě koncentrace vlákniny v sušině nebyly zaznamenány žádné změny po ošetření plazmatem. Opět se hodnoty pohybovaly v okolí koncentrace vlákniny referenčního vzorku.

Ošetření tedy **nemá** vliv na obsah vlákniny v semenech.

²⁴ DR. POPOV S.R.O. *Vlákna: Váš zdroj informací o vláknině* [online]. 2009 [cit. 2013-06-12]. Dostupné z: <http://vlakna.cz/>

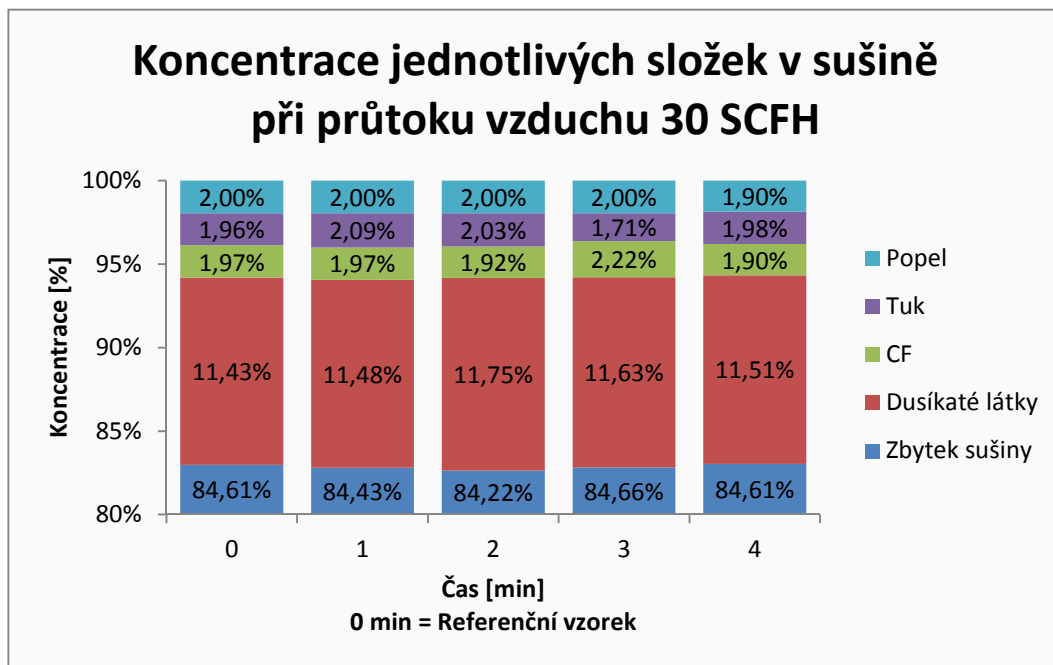
4 Závěr

Shrňme si zde závěry z praktické části této diplomové práce. Cílem této práce bylo shrnout současné využití plazmatu, aplikace plazmatu při ošetřování potravin a krmiv, dále v praktické části naleznout optimální parametry výboje pro ošetřování semen obilovin. V neposlední řadě však také ošetřená semena podrobit analýze z hlediska jejich výživových hodnot a zjistit zdali se během ošetření tyto hodnoty nezměnily, ať už k lepšímu nebo horšímu.

Zabývejme se zde pouze praktickou částí. Prvním úkolem bylo měřit teplotu pracovního plynu při různých parametrech výboje. Tento úkol bylo nutné vykonat jako první, neboť se s naměřenými hodnotami teplot dále pracovalo. Během tohoto měření bylo nutné nalézt optimální parametry, při kterých se mohlo dále pracovat již se vzorky semen Triticale. Měření za pomoci dataloggeru zapůjčeného firmou SurfaceTreat, a. s. probíhalo velice snadno a rychle, jelikož tento měřicí přístroj je schopen zaznamenávat teplotu v každé sekundě měření s přesností na 0,1 °C. Tímto měřením byly zjištěny optimální vzdálenosti a časy ošetřování, se kterými se mohlo pracovat dále. Těmito vzdálenostmi byly $d = 6$ cm a $d = 10$ cm a časy vhodné pro ošetřování vzorků jsou v rozmezí $t = 1-4$ min, kdy pro naše účely byly vybrány hodnoty vždy po jedné minutě. V případě, kdy by bylo použito menších vzdáleností, nebo delších časů, mohlo již docházet k znehodnocování vzorků a také ke zničení experimentálního přístroje určeného pro míchání semen, který je vyroben z umělohmotného tubusu.

Další částí této práce bylo vyhodnocování, jaký mělo samotné opracování za pomoci plazmatu vliv na výživové hodnoty vzorků semen. Těmito výživovými hodnotami byly: sušina, popeloviny, tuky, dusíkaté látky a jako poslední vláknina. Ošetření plazmatem ovlivnilo pouze množství sušiny semen. Množství sušiny se s narůstajícím časem, po který byla semena opracována, zvyšovalo. Toto bylo způsobeno působením vysokých teplot, které zapříčinily vysoušení vzorků. Další ze zkoumaných výživových hodnot, které jsou vypsány výše, ošetřováním ovlivněny nebyly. Naměřené hodnoty těchto dalších nutričních hodnot se pohybovaly kolem referenčního vzorku. Tento menší rozptyl lze vysvětlit nestejnorodostí jednotlivých semen.

Jak vypadá celkové rozložení koncentrací výživových hodnot ve vzorcích semen během ošetřování je vidět na následujícím grafu č. 11. Z tohoto grafu je jasně vidět, že ošetřování nemělo na koncentraci jednotlivých složek v semenech žádný vliv.



Graf č. 11: Koncentrace jednotlivých složek v sušině při průtoku vzduchu $Q = 30$ SCFH a ve vzdálenosti $d = 6$ cm

Vyústěním celé této práce je následující závěr:

Ošetřování obilovin za pomoci atmosférického plazmového zdroje Gliding Arc nemá vliv na změnu výživových hodnot těchto obilovin, a proto jej lze využít pro další aplikace ošetřování, jako například ničení plísní a mykotoxinů, bez obav, že by byly ošetřované obiloviny zničeny po nutriční stránce.

Rejstřík

CYKLUS VÝVOJE		SELEKTIVITA.....	10
NEROVNOVÁŽNÝ STAV	20	MYKOTOXINY	13
ROVNOVÁŽNÝ STAV	19	AFTALOTOXIN	15
ZAPÁLENÍ	19	DEOXYNIVALENOL (VOMITOXIN)....	15
DEPOZICE TENKÝCH VRSTEV	9	ZEARALENON	15
FYZIKÁLNÍ METODA	9	PLÍSNĚ	
CHEMICKÁ METODA	9	APERGILLUS	16
GLIDING ARC		PENICILLUM	16
CYKLUS VÝVOJE	19	PRŮMĚRNÁ TEPLOTA	
PRINCIP ČINNOSTI	17	MAXIMÁLNÍ.....	26
LEPTÁNÍ.....	10	PEEKU	26
ANIZOTROPIE	10	ROZHODOVACÍ TEPLOTA.....	26
CHEMICKÉ LEPTÁNÍ.....	10	VÝŽIVOVÉ HODNOTY	
LEPTÁNÍ NAPRAŠOVÁNÍM.....	10	DUSÍKATÉ LÁTKY	39
LEPTÁNÍ POMOCÍ IONTOVÝCH		POPELOVINY.....	37
INHIBITORŮ.....	10	SUŠINA	36
LEPTÁNÍ ZPŮSOBENÉ ZVÝŠENOU		TUKY.....	38
IONTOVOU ENERGIÍ	10	VLÁKNINA.....	40
RYCHLOST	10		

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Schéma uspořádání elektrod u DBD – paralelní (nahore) a povrchové (dole).....	9
Obrázek č. 2: Anizotropní leptání (vlevo), Izotropní leptání (vpravo).....	10
Obrázek č. 3: Schéma plazmové trysky pro experimentální činnost.....	18
Obrázek č. 4: Fáze vývoje Gliding Arc	20
Obrázek č. 5: Datalogger OM-EL-USB-TC-LCD.....	23
Obrázek č. 6: Sestava pro měření teploty výboje	24
Obrázek č. 7: Výboje (vlevo normální výboj; vpravo intenzivnější výboj)	25
Obrázek č. 8: Tubus a míchací zařízení.....	31
Obrázek č. 9: Složení krmiv	35

Seznam grafů

Graf č. 1: Fáze vývoje teploty v čase.....	25
Graf č. 2: Výkyvy teplot při změně intenzity výboje	26
Graf č. 3: Závislost teploty na průtoku vzduchu.....	29
Graf č. 4: Závislost teploty na vzdálenosti od elektrod	30
Graf č. 5: Teploty v tubusu (oranžová) a bez tubusu (modrá).....	33
Graf č. 6: Všechny měřené teploty v tubusu.....	34
Graf č. 7: Změna sušiny při průtoku vzduchu $Q = 40$ SCFH	37
Graf č. 8: Koncentrace tuku v sušině při průtoku vzduchu 40 SCFH	39
Graf č. 9: Koncentrace dusíkatých látek v sušině při průtoku vzduchu 50 SCFH	40
Graf č. 10: Koncentrace vlákniny v sušině při průtoku vzduchu 40 SCFH.....	41
Graf č. 11: Koncentrace jednotlivých složek v sušině při průtoku vzduchu $Q = 30$ SCFH a ve vzdálenosti $d = 6$ cm.....	43

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Teploty pro vzdálenost 20 mm	27
Tabulka č. 2: Teploty pro vzdálenost 30 mm	28
Tabulka č. 3: Teploty pro vzdálenost 40 mm	28
Tabulka č. 4: Teploty pro vzdálenost 50 mm	28
Tabulka č. 5: Teploty pro vzdálenost 60 mm	29
Tabulka č. 6: Teploty v tubusu bez semínek	32
Tabulka č. 7: Teplota v tubusu se semínky	32
Tabulka č. 8: Teplota v tubusu pod semínky	33
Tabulka č. 9: Obsah popelovin při průtoku $Q = 30$ SCFH a vzdálenosti $d = 6$ cm	38

Zdroje

- [1.] SCHMIEDT, Lukáš. Úvod do fyziky plazmatu. *Fyzika plazmatu* [online]. [2006] [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/~marble/d/?p=0>
- [2.] BOGAERTS, A., E., NEYTS, R., GIJBELS, J., VAN DER MULLEN - Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochimica Acta, Part B*, 57, str. 609-658, Elsevier, 2002
- [3.] OHKAWA, Hiroshi, Tetsuya AKITSU, Masao TSUJI, Hideo KIMURA, Masuhiro KOGOMA a Kinpei FUKUSHIMA. Pulse-modulated, high-frequency plasma sterilization at atmospheric-pressure. *Science Direct: Surface & Coatings Technology*. 2006, č. 200, s. 5829-5835. ISSN 0257-8972. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.08.124.
- [4.] Plazmová sterilizace v Nemocnici Havlíčkův Brod. TALPA, David. *Kraj Vysočina: Zdravotnický portál kraje Vysočina* [online]. 1. 3. 2010 [cit. 2013-04-04]. Dostupné z: <http://www.kr-vysocina.cz/plazmova-sterilizace-v-nemocnici-havlickuv-brod/d-4027558/p1=32066>
- [5.] CHU, Paul K. Enhancement of surface properties of biomaterials using plasma-based technologies. *Science Direct: Surface & Coatings Technology*. 2007, č. 201, s. 8076-8082. ISSN 0257-8972. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2005.12.053.
- [6.] BORMASHENKO, Edward, Roman GRYNIOV, Yelena BORMASHENKO a Elyashiv DRORI. Cold Radiofrequency Plasma Treatment Modifies Wettability and Germination Speed of Plant Seeds. *Scientific Reports*. 17. 10. 2012, 2:741, s. 1-8. DOI: 10.1038/srep00741.
- [7.] VARGA, J. a B. TÓTH. Novel strategies to control mycotoxins in feeds: a review. *Acta Vet Hung*. 2005, roč. 53, č. 2, s. 189-203.
- [8.] VOILIN, John C., Ferencz S. DENES, Raymond A. YOUNG a Scott M. T. PARK. Modification of Seed Germination Performance through Cold Plasma Chemistry Technology. *Crop Science*. November-December 2000, č. 40, s. 1706-1718.

- [9.] PARK, Bong Joo, Kosuke TAKATORI, Yoshiko SUGITA-KONISHI, Ik-Hwi KIM, Mi-Hee LEE, Dong-Wook HAN, Kie-Hyung CHUNG, Soon O. HYUN a Jong-Chul PARK. Degradation of mycotoxins using microwave-induced argon plasma at atmospheric pressure. *Science Direct: Surface & Coatings Technology*. 207, č. 201, s. 5733-5737. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2006.07.091.
- [10.] KRMENČÍK, Pavel a Jiří KYSILKA. Aftalotoxiny. *Toxikon* [online]. 1. 1. 2001 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.biotox.cz/toxikon/mikromycety/aflatox.php>
- [11.] ROTTER, BA, DB PRELUSKY a JJ PESTKA. Toxicology of deoxynivalenol (vomitin). *Journal of toxicology and environmental health*. 1996, roč. 48, č. 1, s. 1-34. ISSN 0098-4108.
- [12.] KRMENČÍK, Pavel a Jiří KYSILKA. Zearalenony. *Toxikon* [online]. 1. 1. 2001 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z: <http://www.biotox.cz/toxikon/mikromycety/zearalenon.php>
- [13.] SELCUK, Meral, Lutfi OKSUZ a Pervin BASARAN. Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. by cold plasma treatment. *Bioresource Technology*. 2008, roč. 99, č. 11, s. 5104-5109. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.09.076. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852407007894>
- [14.] ASPERGILLUS WEBSITE. *The Aspergillus Website* [online]. 2009 [cit. 2013-06-23]. Dostupné z: <http://www.aspergillus.org.uk/>
- [15.] THE UNIVERSITY OF ADELAIDE. *Mycology Online: Penicillium sp.* [online]. 2013, 22/06/2013 [cit. 2013-06-23]. Dostupné z: [http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Hyphomycetes_\(hyaline\)/Penicillium/](http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Hyphomycetes_(hyaline)/Penicillium/)

- [16.] LAROUSSE, M. a F. LEIPOLD. Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at atmospheric pressure. *International Journal of Mass Spectrometry*. 2004, roč. 233, 1-3, s. 81-86. DOI: 10.1016/j.ijms.2003.11.016. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S138738060400003X>
- [17.] KŘÍŽ, Pavel, Petr ŠPATENKA, J. CERMÁN, M. DIENSTBIER, B. GAVRIL a B. ŠERÁ. Examples of Organic Substances Treatment by Gliding Arc Plasma. *Society of Vacuum Coaters Bulletin: A Publication for the Vacuum Coating Industry*. 2012, Summer 2012, s. 42-45. Dostupné z: http://delivery.qmags.com/d/?pub=SVC&upid=17395&s=ML&fl=others/SVC/SVC_Summer_2012.pdf
- [18.] FRIDMAN, Alexander, Sergei NESTER, Lawrence A. KENNEDY, Alexei SAVELIEV a Ozlem MUTAF-YARDIMCI. Gliding arc gas discharge. *Progress in Energy and Combustion Science*. 1999, č. 25, s. 211-231. ISSN 0360-1285.
- [19.] GROSSMANNOVÁ, H. *Diagnostika rozkladu těkavých organických látek v klouzavém obloukovém plazmatickém výboji* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. 2008, 94 s.
- [20.] SLÁMA, J. – KODEŠ, A. – MUDŘÍK, Z. – HUČKO, B. Podtyp: Příspěvek ve sborníku (mimo kategorie RIV); *Ověření nutriční hodnoty modelových jetelovino-travních směsí*. 2011. In: Sborník konference IX. Kábrtovy dietetické dny, konference s mezinárodní účastí o bezpečnosti a produkční účinnosti krmiv. 18. 5. 2011, Brno, s. 206-210. ISBN: 978-80-7399-125-8.
- [21.] DR. POPOV S.R.O. *Vláknina: Váš zdroj informací o vláknině* [online]. 2009 [cit. 2013-06-12]. Dostupné z: <http://vlaknina.cz/>

Přílohy

Seznam příloh

- Příloha I – Tabulky
- Příloha II – Grafy – Teploty bez tubusu
- Příloha III – Grafy – Teploty s tubusem
- Příloha IV – Grafy – Výživové hodnoty

Příloha I – Tabulky

Tabulka 1: Průměrné teploty

Doba měření t [min]	5							
Vzdálenost d [mm]	60				50			
Průtok vzduchu Q [SCFH]	30	40	50	60	30	40	50	60
Průměrná max. teplota [°C]	90,57	102,03	53,16	67,87	97,86	105,40	52,12	54,90
Průměrná teplota peeku [°C]	139,21		68,80		126,39	123,35	80,78	68,90

Vzdálenost d [mm]	40				30			
Průtok vzduchu Q [SCFH]	30	40	50	60	30	40	50	60
Průměrná max. teplota [°C]	105,21	109,14	67,51	58,79	121,92	102,19	65,23	62,09
Průměrná teplota peeku [°C]	127,63	124,70	83,56	68,25	168,86	141,94	75,96	72,00

Vzdálenost d [mm]	20			
Průtok vzduchu Q [SCFH]	30	40	50	60
Průměrná max. teplota [°C]	142,40	94,99	70,62	58,92
Průměrná teplota peeku [°C]	187,53	148,82	83,63	68,62

Tabulka 2: Teploty v tubusu

Doba měření t [min]	2
---------------------	---

	Bez semínek				Se semínky			
Vzdálenost d [mm]	60				60			
Průtok vzduchu Q [SCFH]	30	40	50	60	30	40	50	60
Průměrná max. teplota [°C]	176,93	149,08	108,58	67,87	114,81	107,38	88,86	68,59
Průměrná teplota peeku [°C]	193,39	163,65	119,16	75,36	123,13	115,88	96,98	89,14

	Pod semínky			
Vzdálenost d [mm]	60			
Průtok vzduchu Q [SCFH]	30	40	50	60
Nárůst teploty [°C]	3,50	4,50	4,50	4,00
Maximální teplota [°C]	29,0	34,0	34,0	33,5

Tabulka 3: Obsah výživových hodnot při průtoku 30 a 40 SCFH + referenční vzorek

		Referenční vzorek								
Q [SCFH]		0	30							
vzdálenost d [mm]		0	60				100			
čas t [min]		0	1	2	3	4	1	2	3	4
Obsah	Sušina	88,10%	87,70%	88,70%	88,80%	89,70%	87,50%	88,40%	88,70%	89,10%
	Popel (100% sušina)	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	1,90%	2,20%	2,00%	2,00%	2,00%
	Tuk (100% sušina)	1,96%	2,09%	2,03%	1,71%	1,98%	1,93%	1,97%	2,05%	1,86%
	Vláknina (100% sušina)	1,97%	1,97%	1,92%	2,22%	1,90%	1,79%	2,28%	1,81%	2,00%
	Dusíkaté látky (100% sušina)	11,43%	11,48%	11,75%	11,63%	11,51%	11,70%	11,68%	11,75%	11,55%

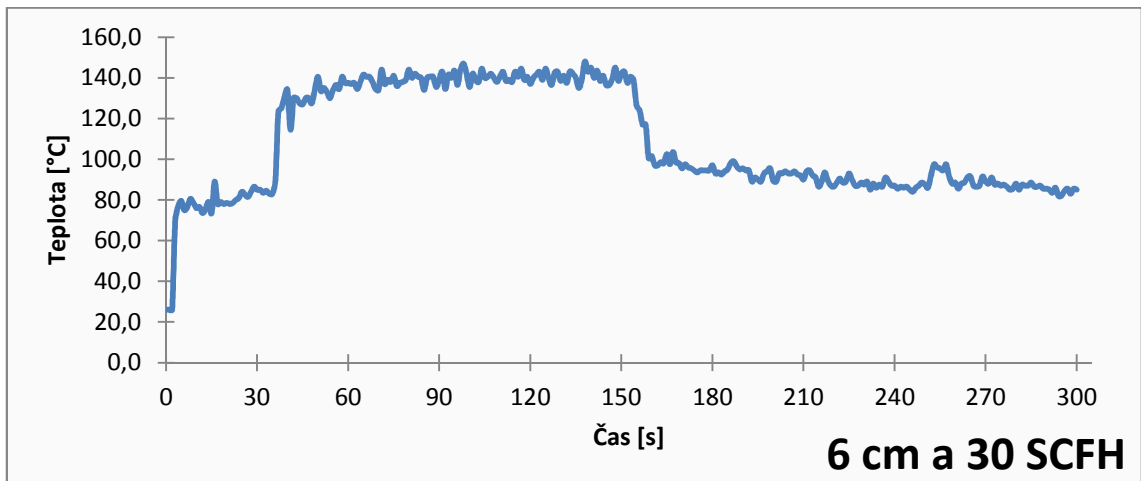
Q [SCFH]		40							
vzdálenost d [mm]		6				10			
čas t [min]		1	2	3	4	1	2	3	4
Obsah	Sušina	87,90%	88,70%	89,20%	89,90%	87,50%	87,90%	88,60%	88,80%
	Popel (100% sušina)	2,00%	2,10%	2,00%	2,00%	2,10%	2,10%	2,00%	2,10%
	Tuk (100% sušina)	1,88%	1,81%	1,90%	1,89%	1,82%	2,00%	2,07%	1,91%
	Vláknina (100% sušina)	2,20%	2,28%	2,18%	2,16%	2,17%	2,44%	2,32%	1,82%
	Dusíkaté látky (100% sušina)	11,89%	11,60%	11,48%	11,78%	12,10%	11,46%	11,28%	11,83%

Tabulka 4: Obsah výživových hodnot pro průtok 50 a 60 SCFH

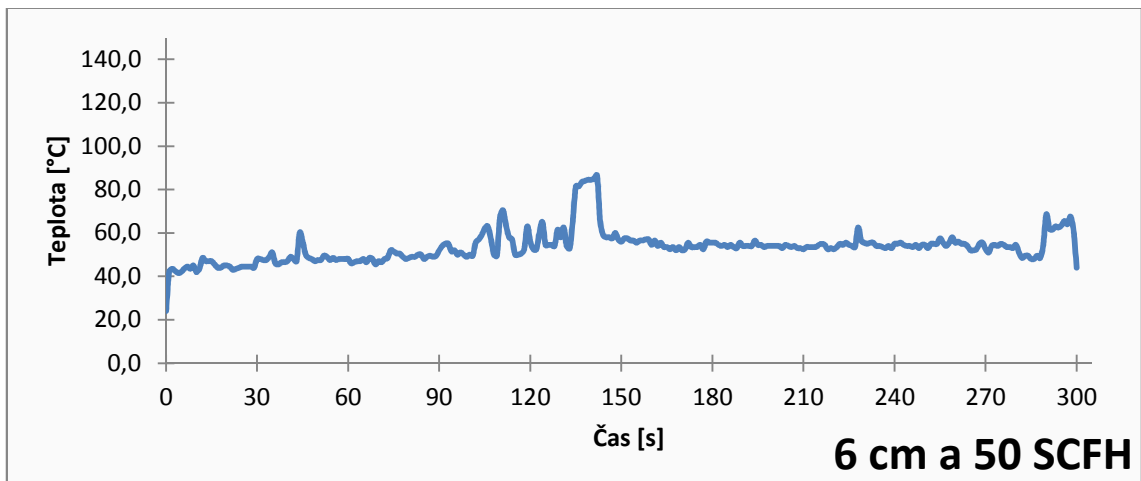
Q [SCFH]		50							
vzdálenost d [mm]		6				10			
čas t [min]		1	2	3	4	1	2	3	4
Obsah	Sušina	87,90%	89,00%	89,60%	90,00%	87,40%	88,20%	88,30%	88,30%
	Popel (100% sušina)	1,90%	2,00%	2,10%	2,00%	2,00%	2,00%	2,10%	2,00%
	Tuk (100% sušina)	1,94%	1,96%	2,06%	1,79%	2,13%	2,03%	1,87%	1,77%
	Vláknina (100% sušina)	1,60%	1,75%	1,84%	2,21%	2,23%	2,15%	2,13%	2,22%
	Dusíkaté látky (100% sušina)	11,45%	11,31%	11,23%	11,38%	11,62%	11,46%	11,50%	11,50%

Q [SCFH]		60							
vzdálenost d [mm]		6				10			
čas t [min]		1	2	3	4	1	2	3	4
Obsah	Sušina	88,10%	88,70%	89,20%	89,10%	87,80%	88,00%	88,50%	88,30%
	Popel (100% sušina)	2,10%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,00%	2,30%
	Tuk (100% sušina)	1,92%	1,86%	1,93%	2,06%	2,03%	1,96%	1,83%	1,89%
	Vláknina (100% sušina)	1,94%	2,09%	1,80%	2,01%	1,96%	2,19%	2,04%	2,24%
	Dusíkaté látky (100% sušina)	11,62%	11,15%	11,58%	11,98%	11,47%	10,98%	11,13%	11,50%

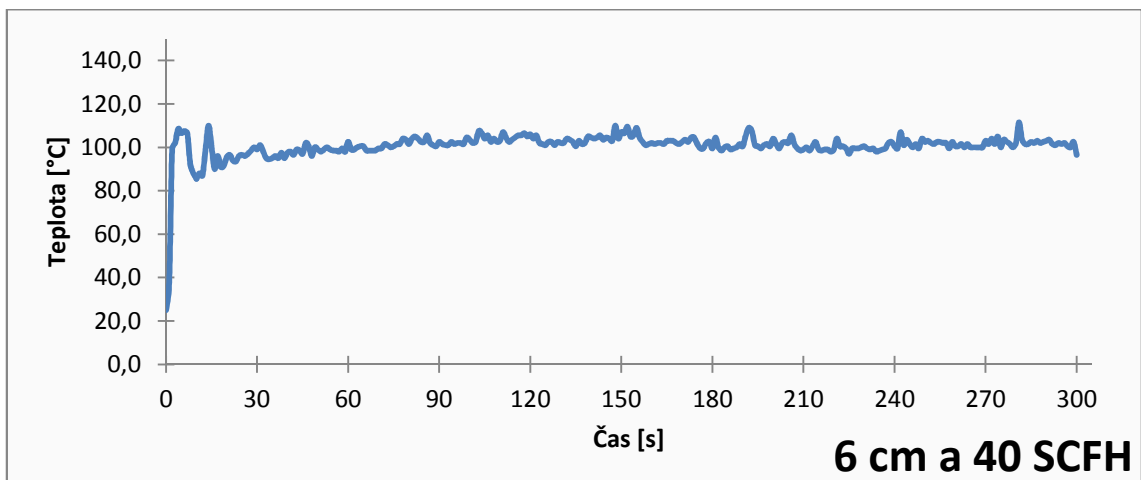
Příloha II – Grafy – Teploty bez tubusu



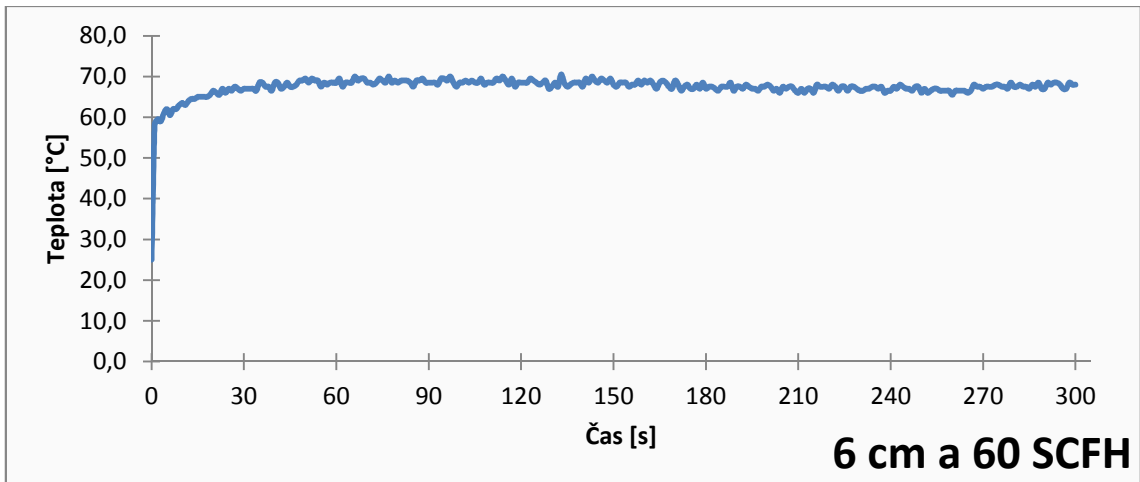
Graf 1: Teplota při průtoku $Q = 30$ SCFH ve vzdálenosti $d = 6$ cm



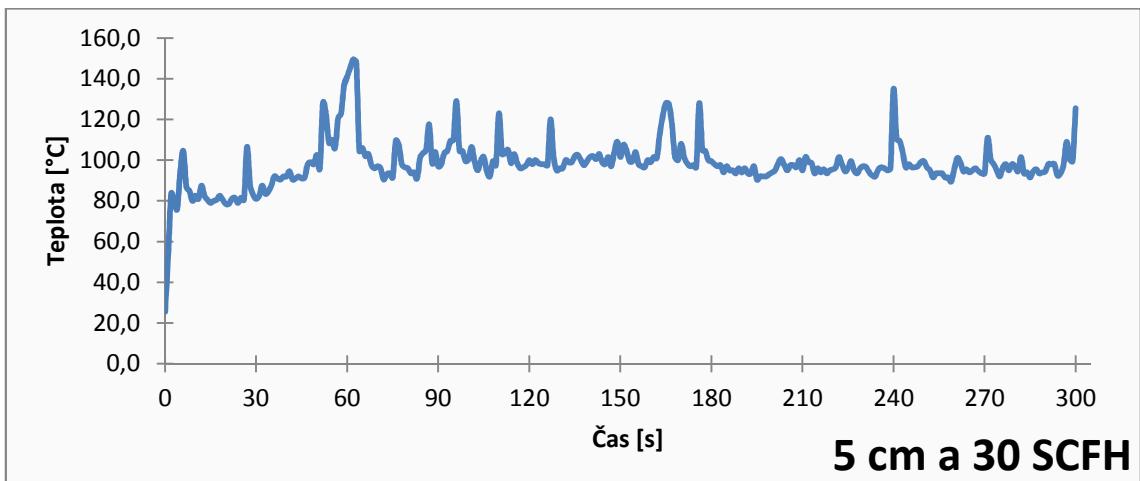
Graf 2: Teplota při průtoku $Q = 50$ SCFH ve vzdálenosti $d = 6$ cm



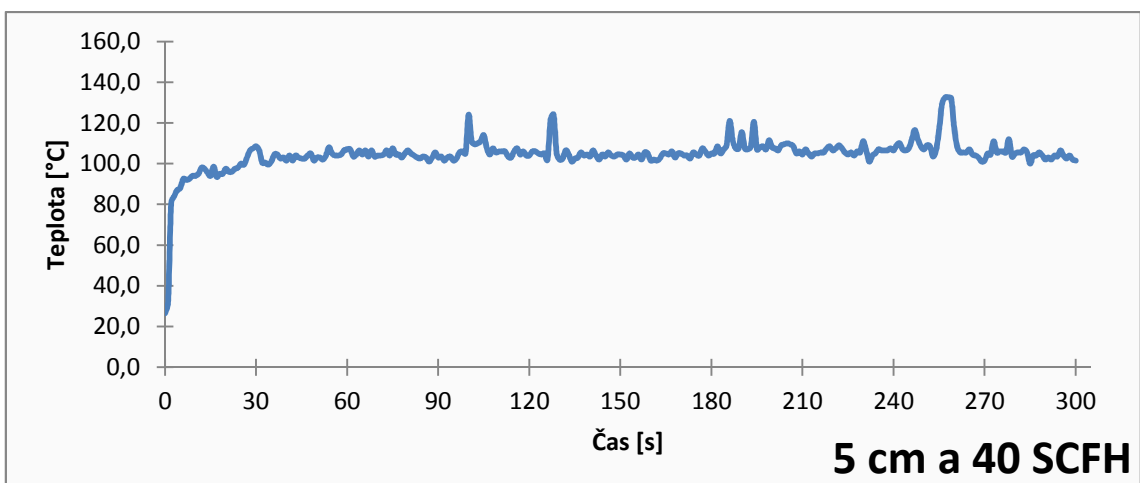
Graf 3: Teplota při průtoku $Q = 40$ SCFH ve vzdálenosti $d = 6$ cm



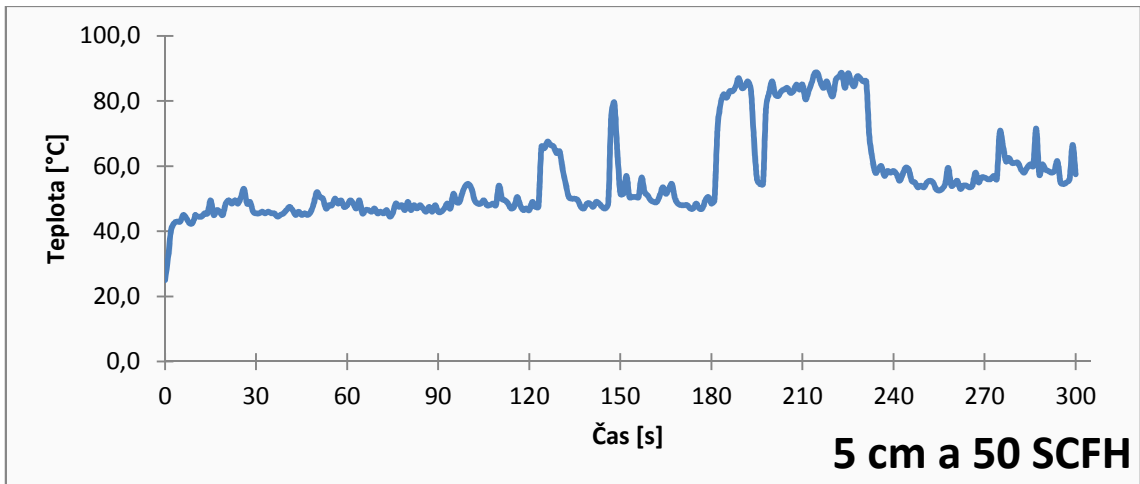
Graf 4: Teplota při průtoku $Q = 60$ SCFH ve vzdálenosti $d = 6$ cm



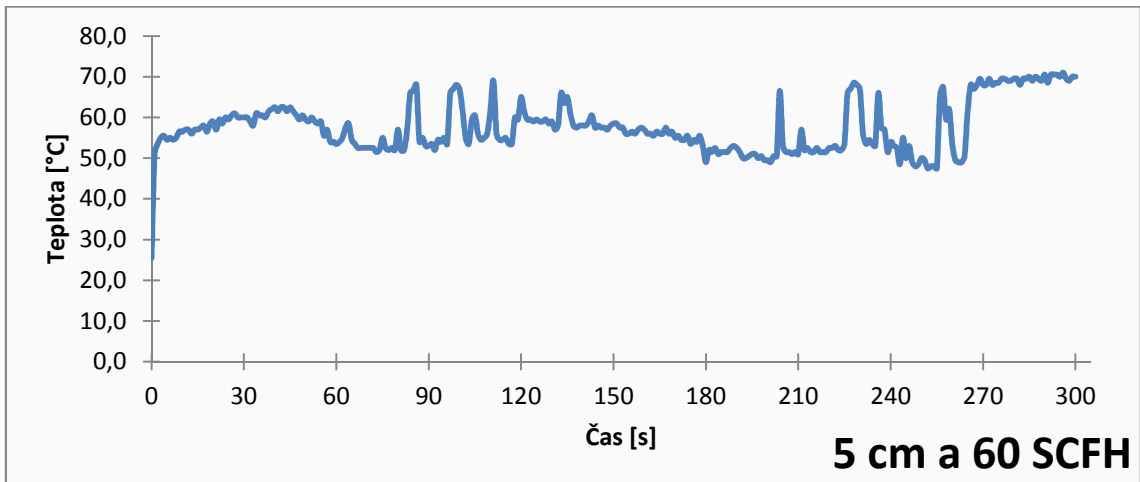
Graf 5: Teplota při průtoku $Q = 30$ SCFH ve vzdálenosti $d = 5$ cm



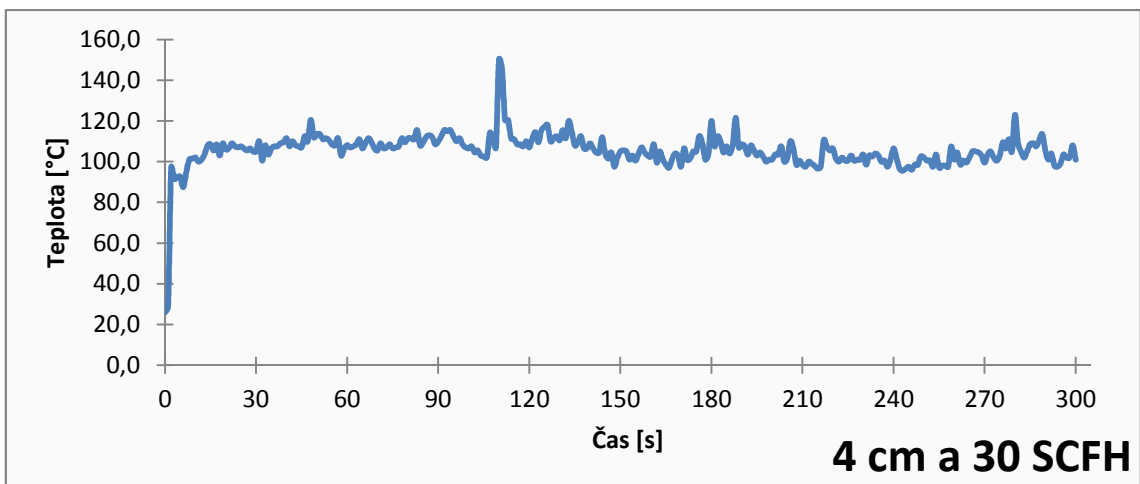
Graf 6: Teplota při průtoku $Q = 40$ SCFH ve vzdálenosti $d = 5$ cm



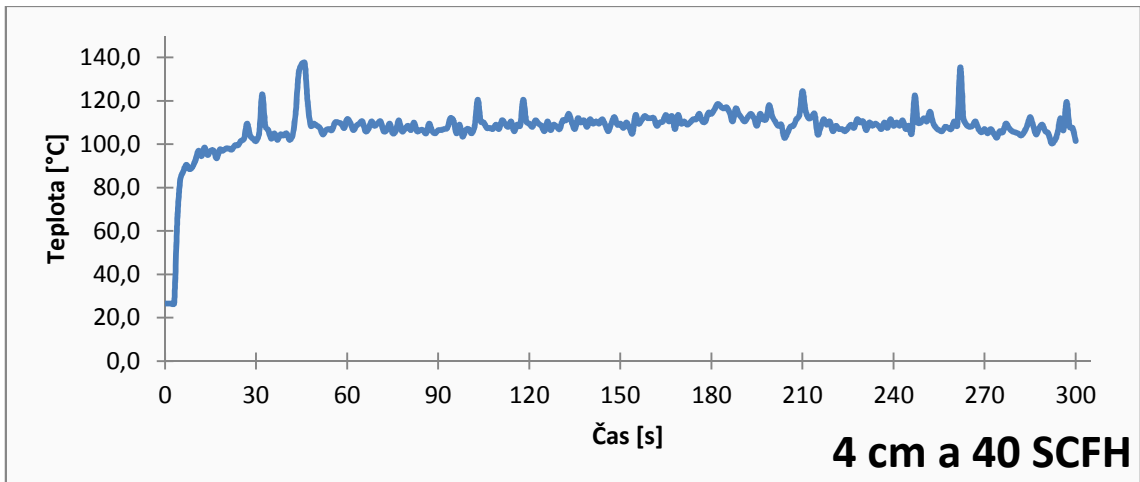
Graf 7: Teplota při průtoku $Q = 50$ SCFH ve vzdálenosti $d = 5$ cm



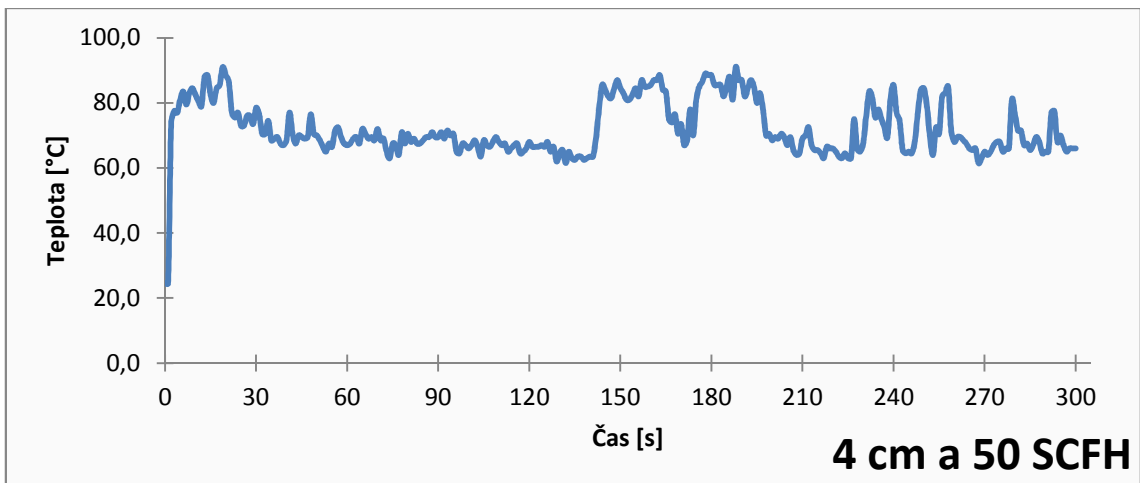
Graf 8: Teplota při průtoku $Q = 60$ SCFH ve vzdálenosti $d = 5$ cm



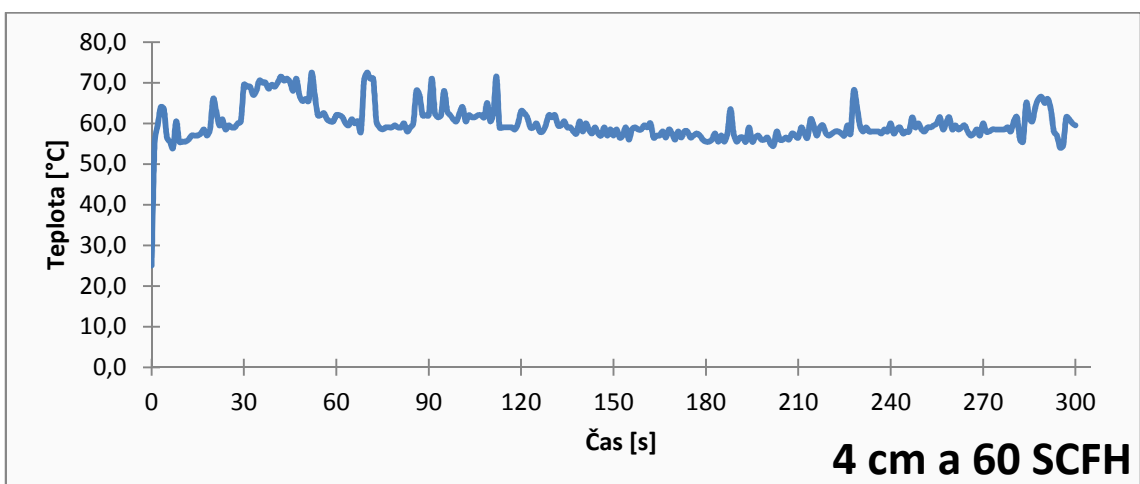
Graf 9: Teplota při průtoku $Q = 30$ SCFH ve vzdálenosti $d = 4$ cm



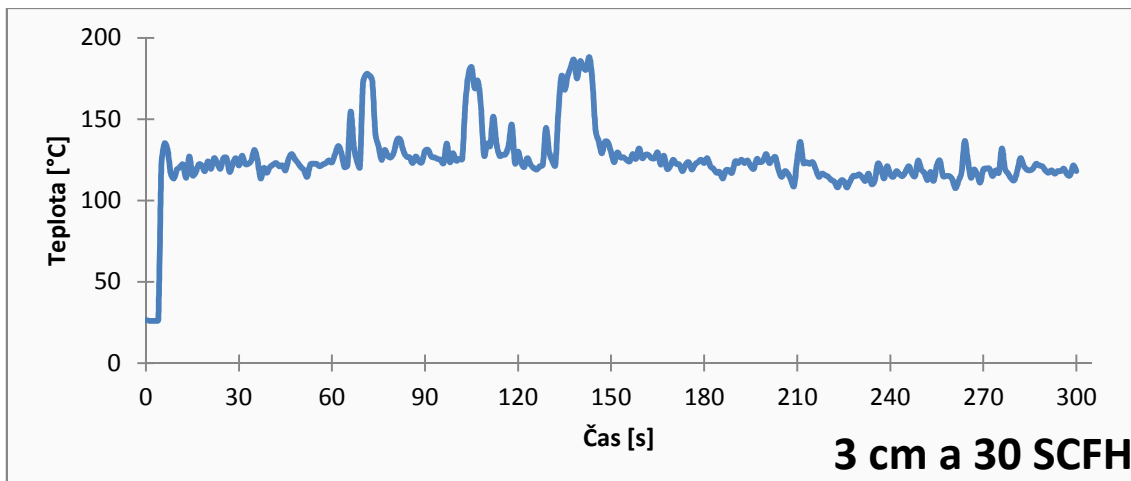
Graf 10: Teplota při průtoku $Q = 40$ SCFH ve vzdálenosti $d = 4$ cm



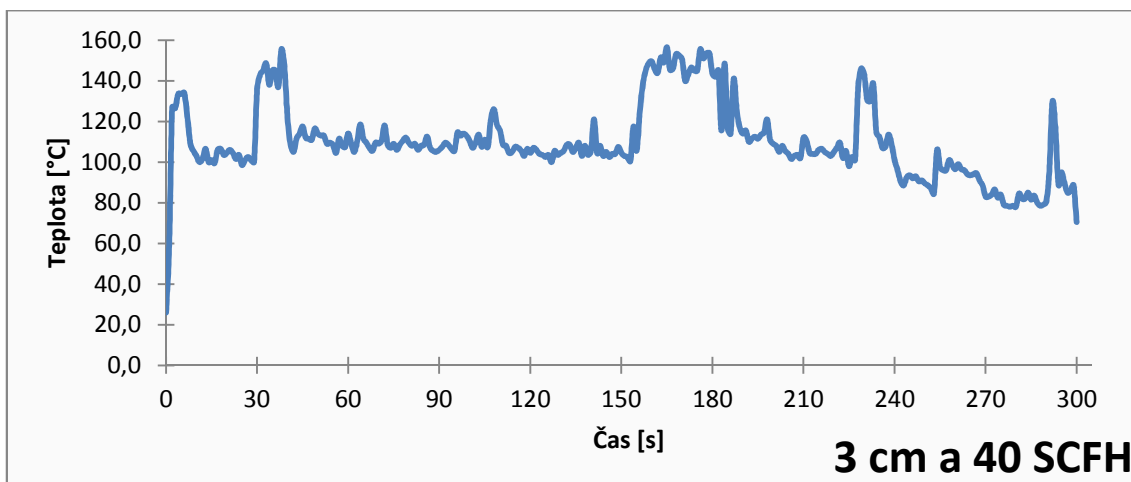
Graf 11: Teplota při průtoku $Q = 50$ SCFH ve vzdálenosti $d = 4$ cm



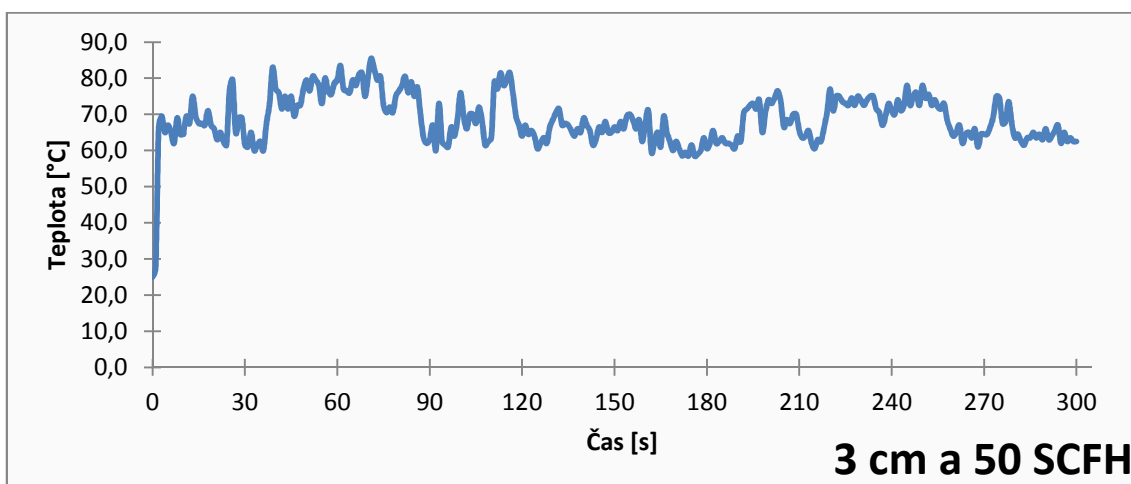
Graf 12: Teplota při průtoku $Q = 60$ SCFH ve vzdálenosti $d = 4$ cm



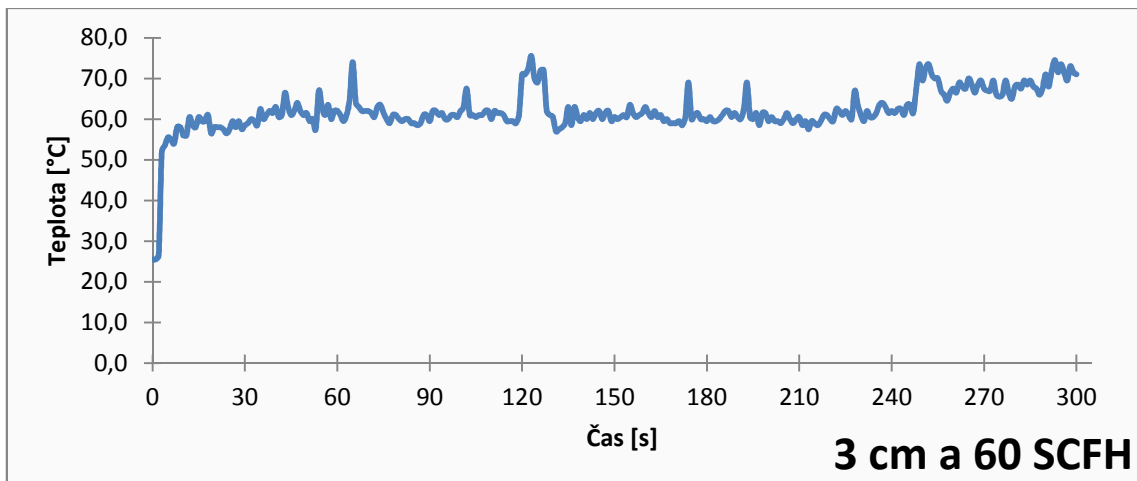
Graf 13: Teplota při průtoku $Q = 30$ SCFH ve vzdálenosti $d = 3$ cm



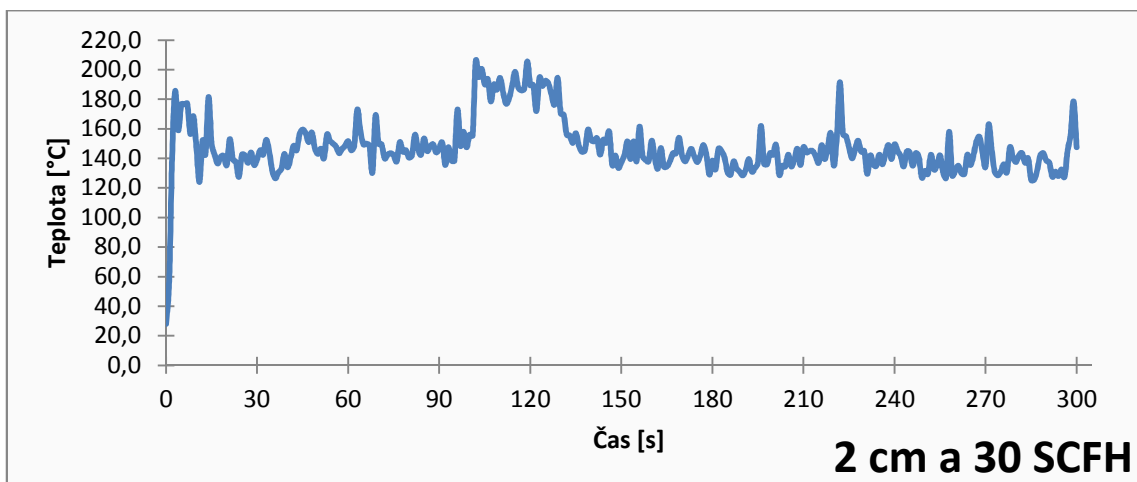
Graf 14: Teplota při průtoku $Q = 40$ SCFH ve vzdálenosti $d = 3$ cm



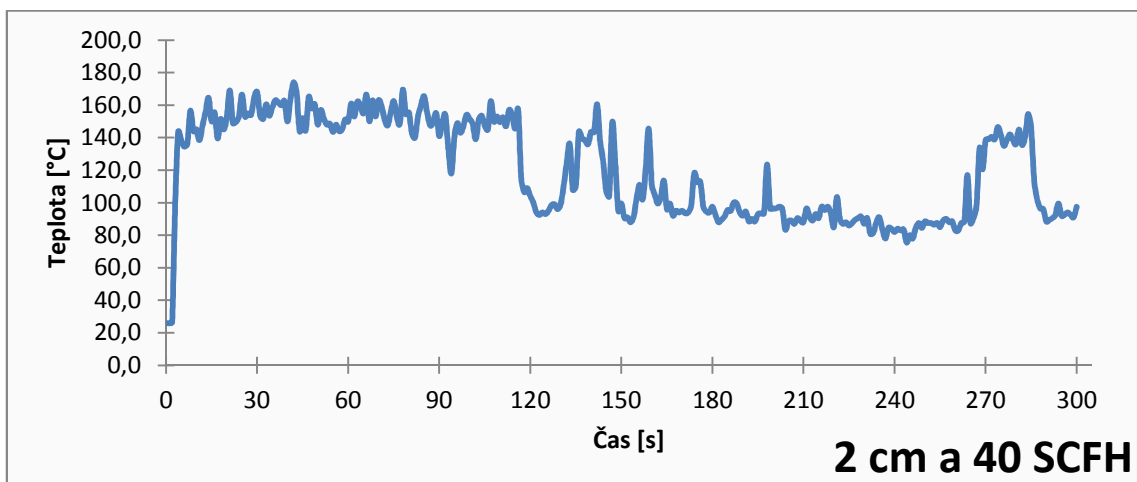
Graf 15: Teplota při průtoku $Q = 50$ SCFH ve vzdálenosti $d = 3$ cm



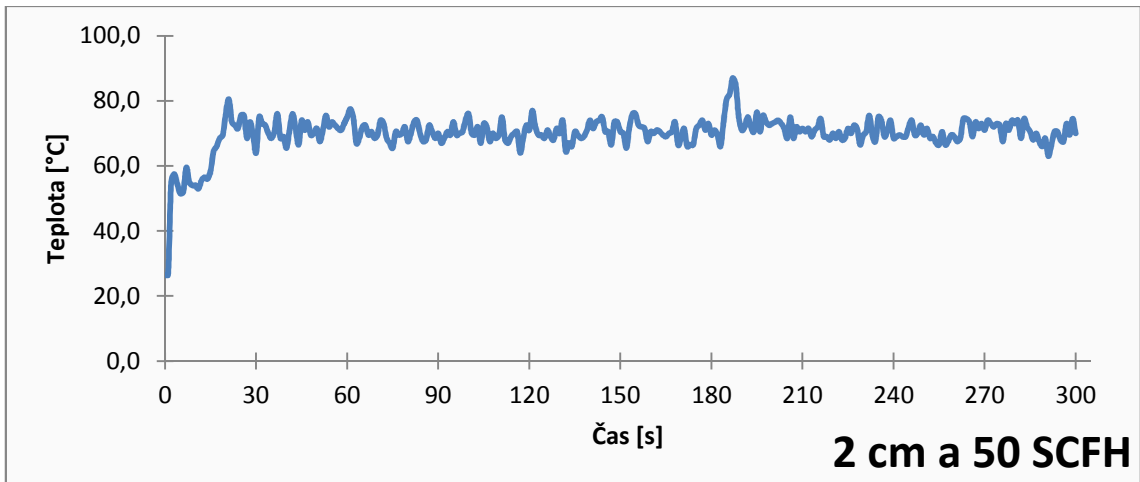
Graf 16: Teplota při průtoku $Q = 60$ SCFH ve vzdálenosti $d = 3$ cm



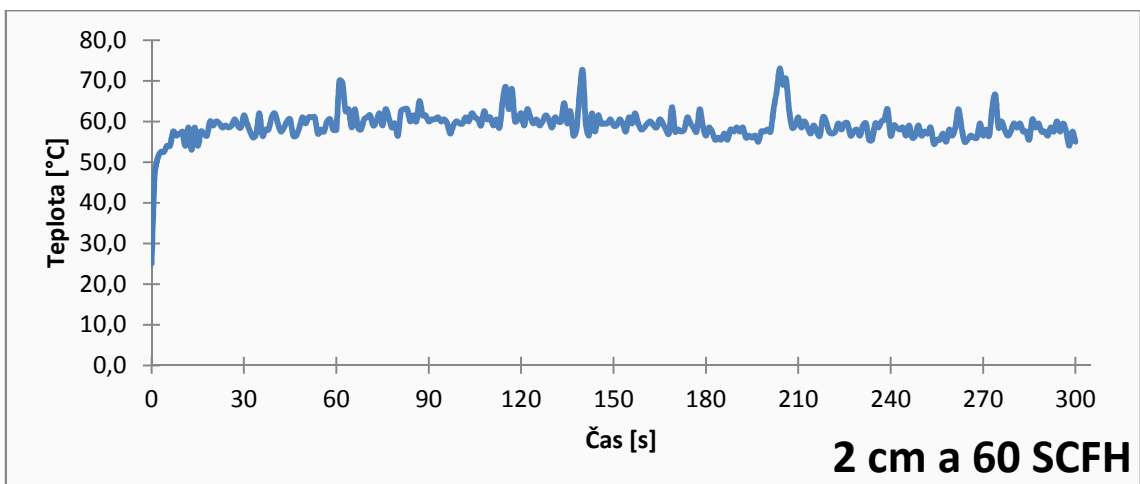
Graf 17: Teplota při průtoku $Q = 30$ SCFH ve vzdálenosti $d = 2$ cm



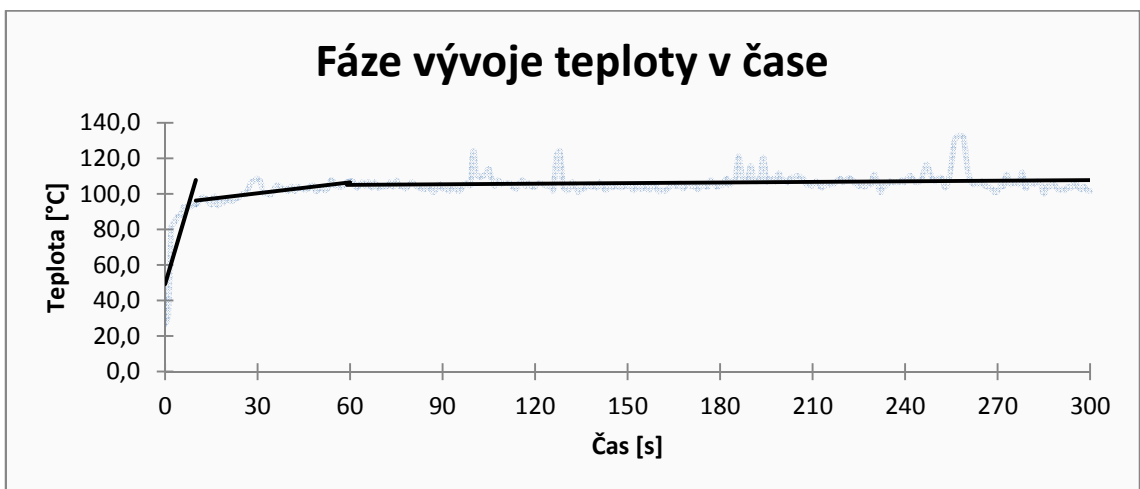
Graf 18: Teplota při průtoku $Q = 40$ SCFH ve vzdálenosti $d = 2$ cm



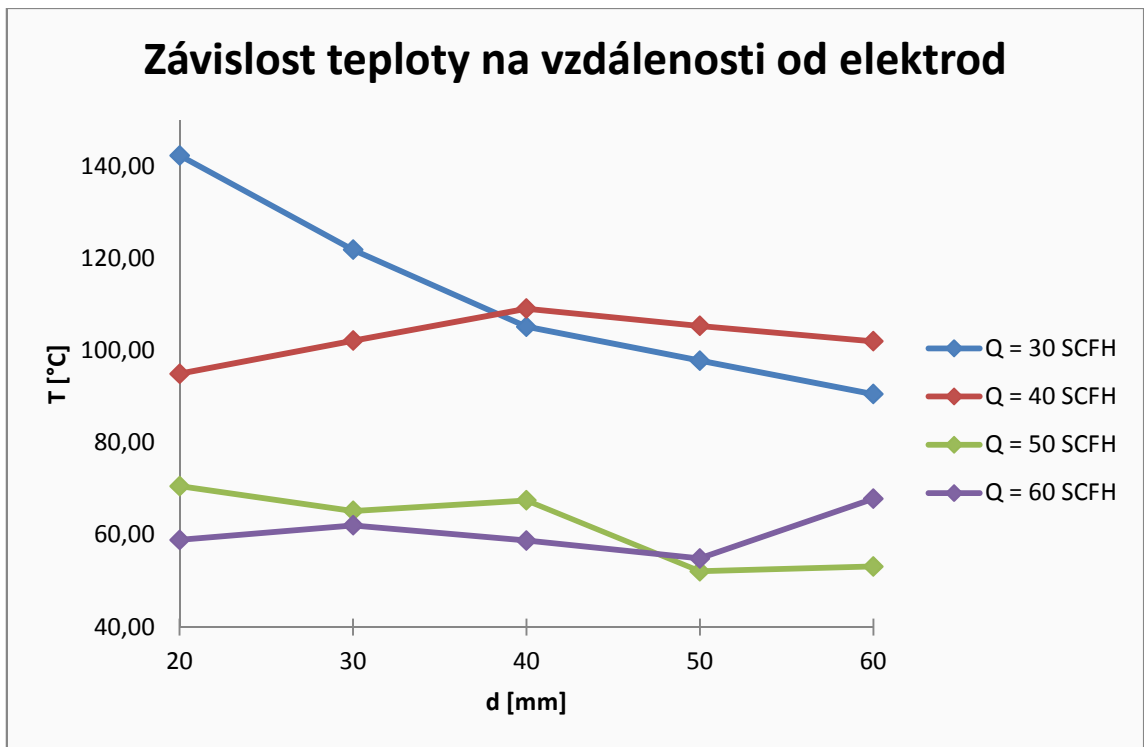
Graf 19: Teplota při průtoku $Q = 50$ SCFH ve vzdálenosti $d = 2$ cm



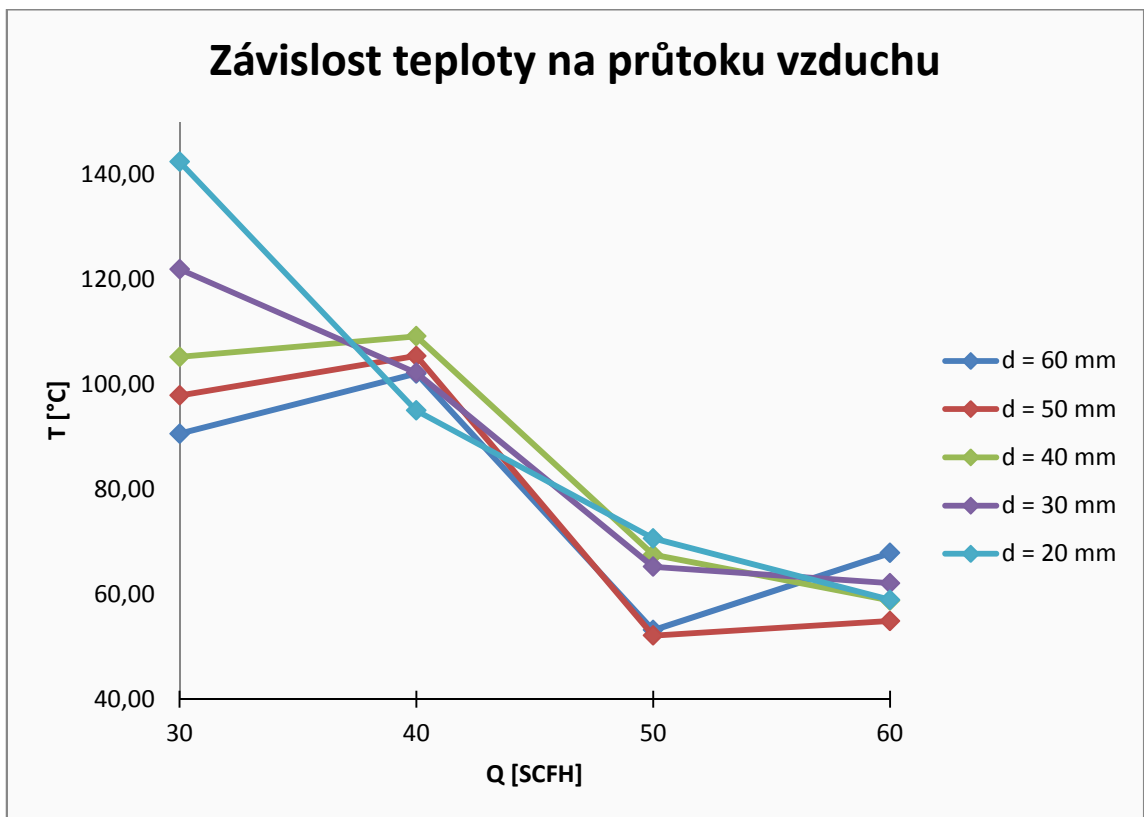
Graf 20: Teplota při průtoku $Q = 60$ SCFH ve vzdálenosti $d = 2$ cm



Graf 21: Fáze vývoje teploty v čase

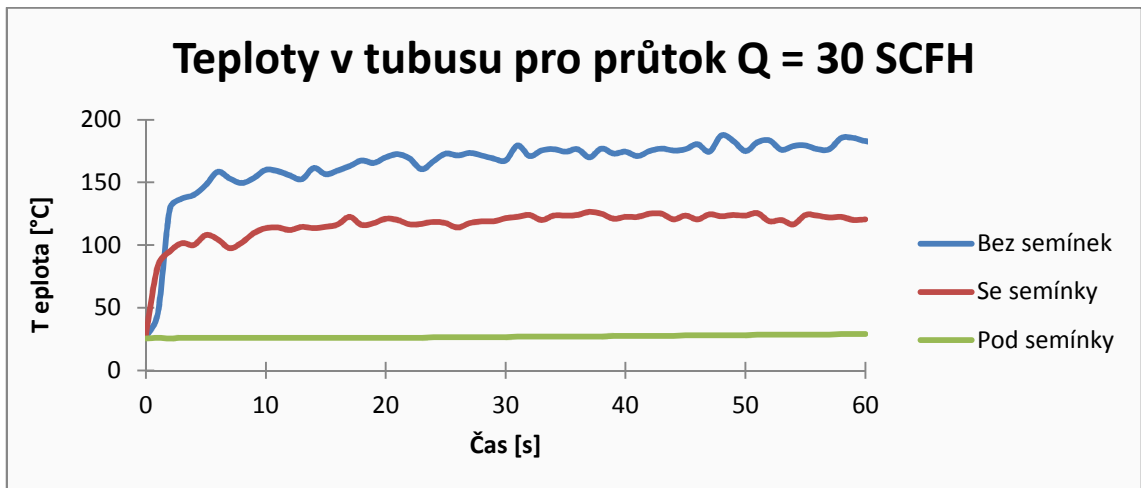


Graf 22: Závislost teploty na vzdálenosti od elektrod

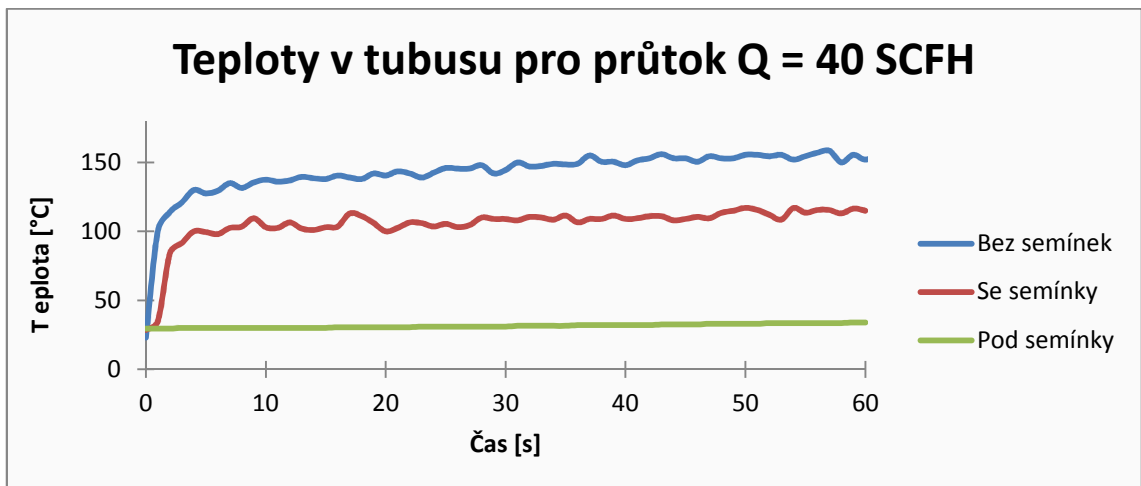


Graf 23: Závislost teploty na průtoku vzduchu

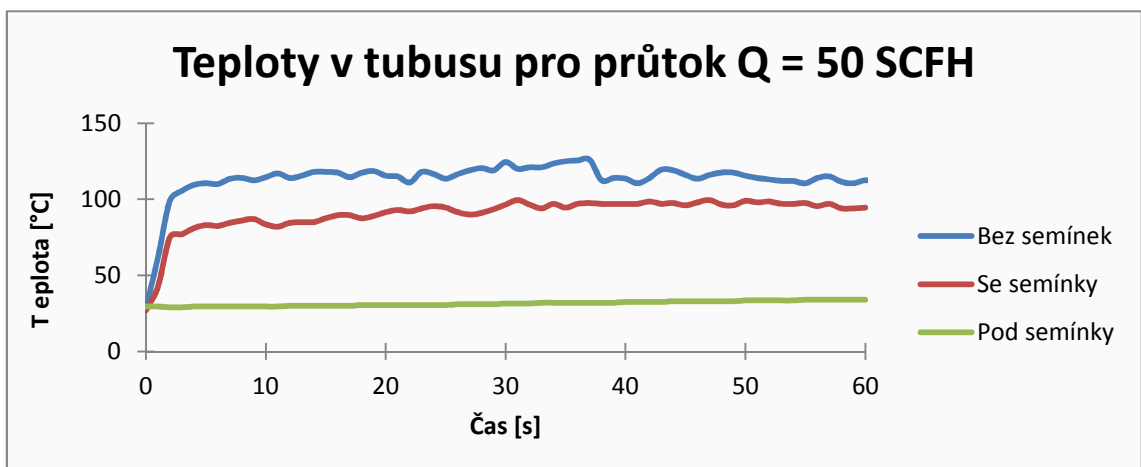
Příloha III – Grafy – Teploty v tubusu



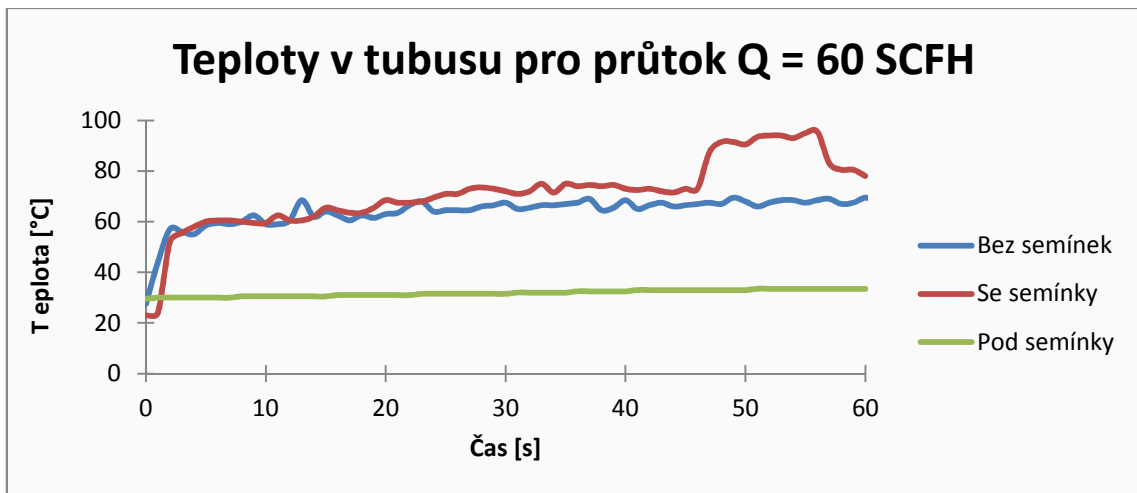
Graf 24: Teploty v tubusu pro průtok $Q = 30$ SCFH



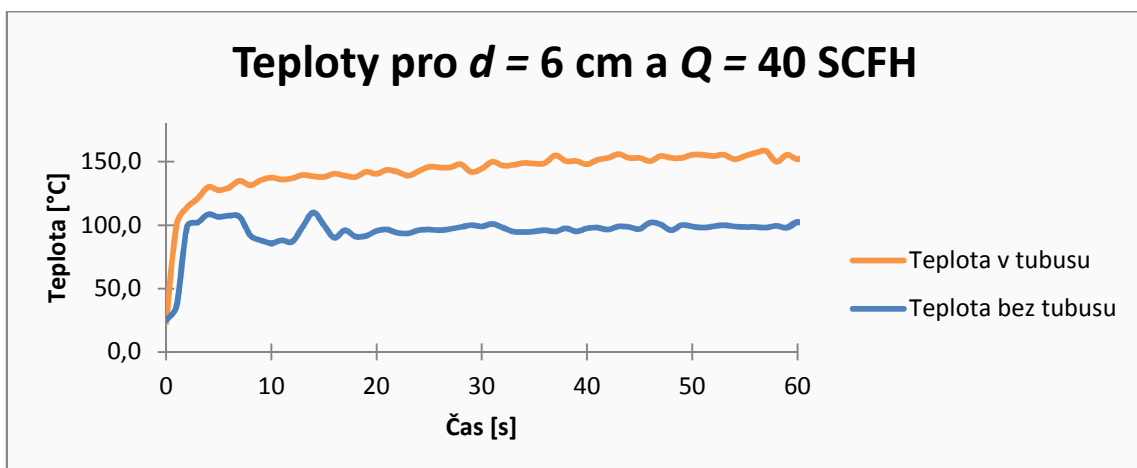
Graf 25: Teploty v tubusu pro průtok $Q = 40$ SCFH



Graf 26: Teploty v tubusu pro průtok $Q = 50$ SCFH



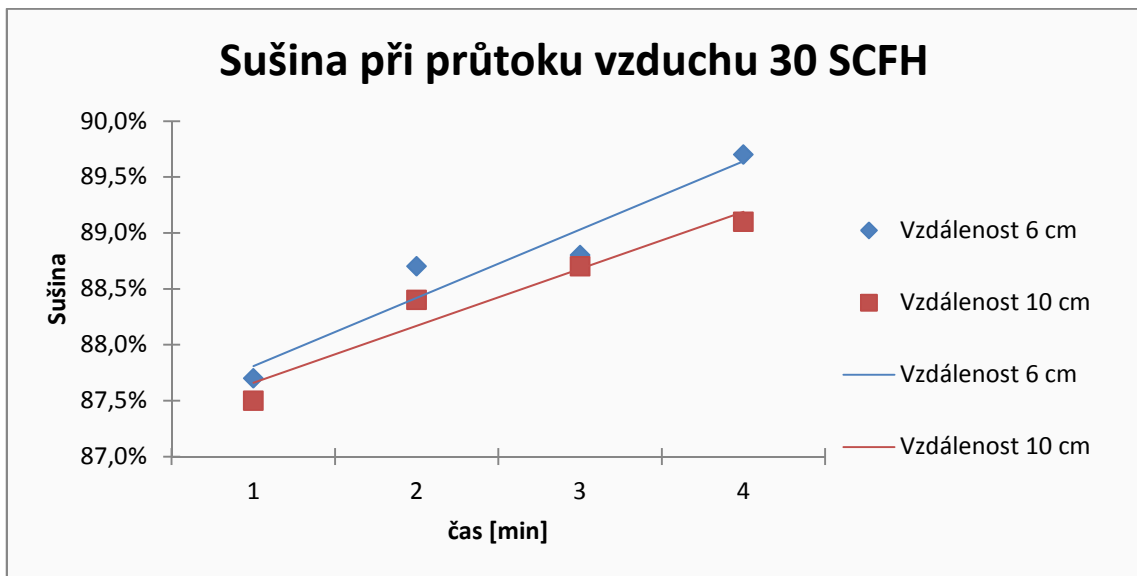
Graf 27: Teploty v tubusu pro průtok $Q = 60$ SCFH



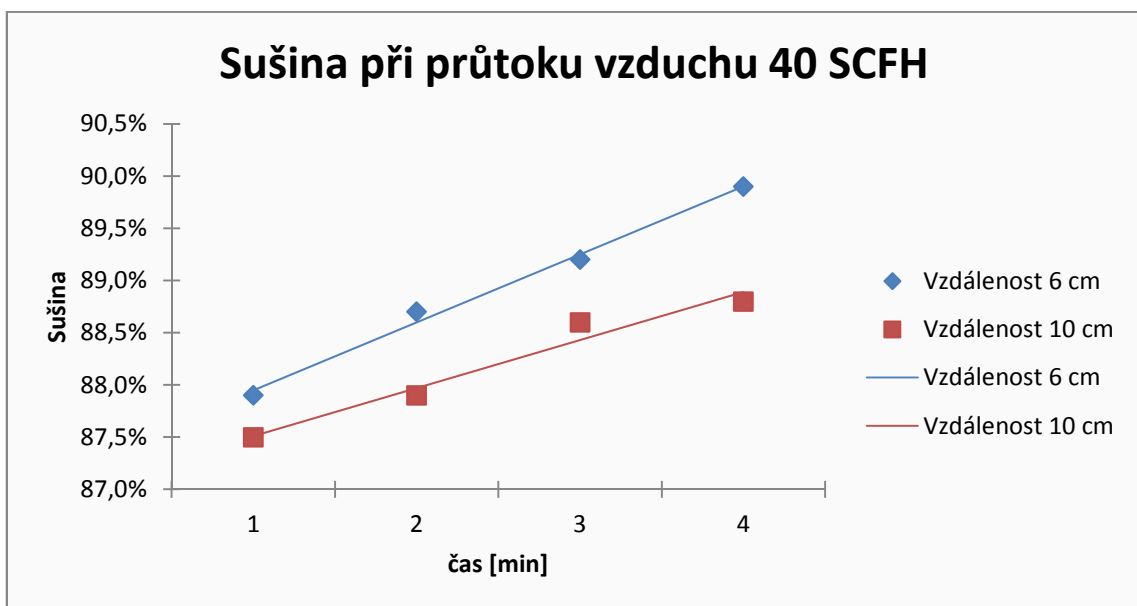
Graf 28: Porovnání teplot v tubusu a bez tubusu pro $d = 6$ cm a $Q = 40$ SCFH

Příloha IV – Grafy – Výživové hodnoty

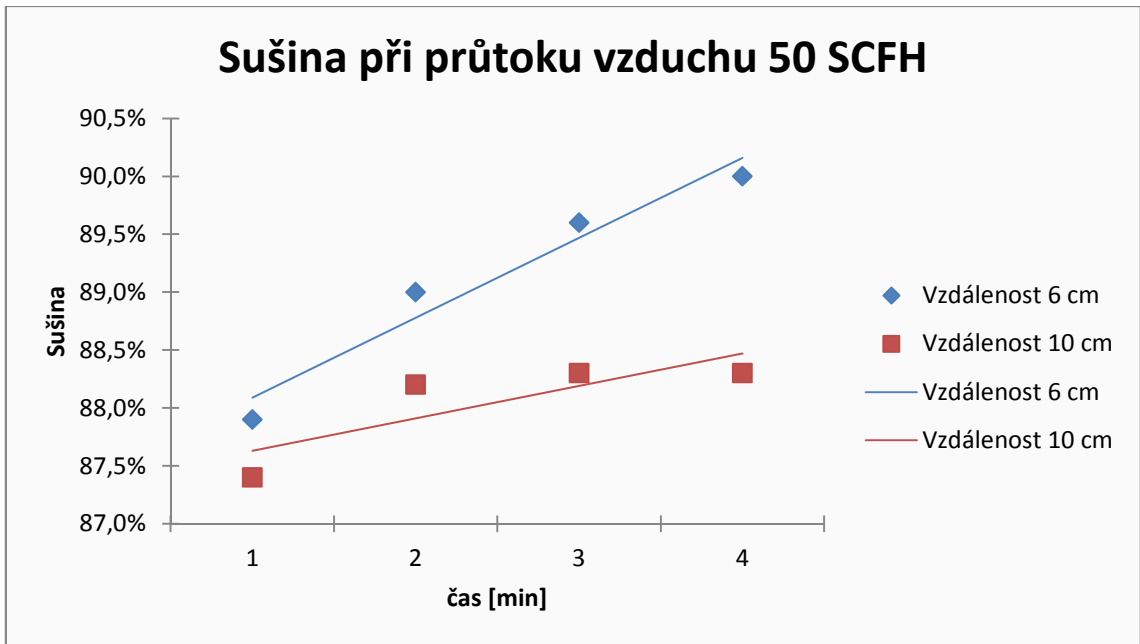
Sušina:



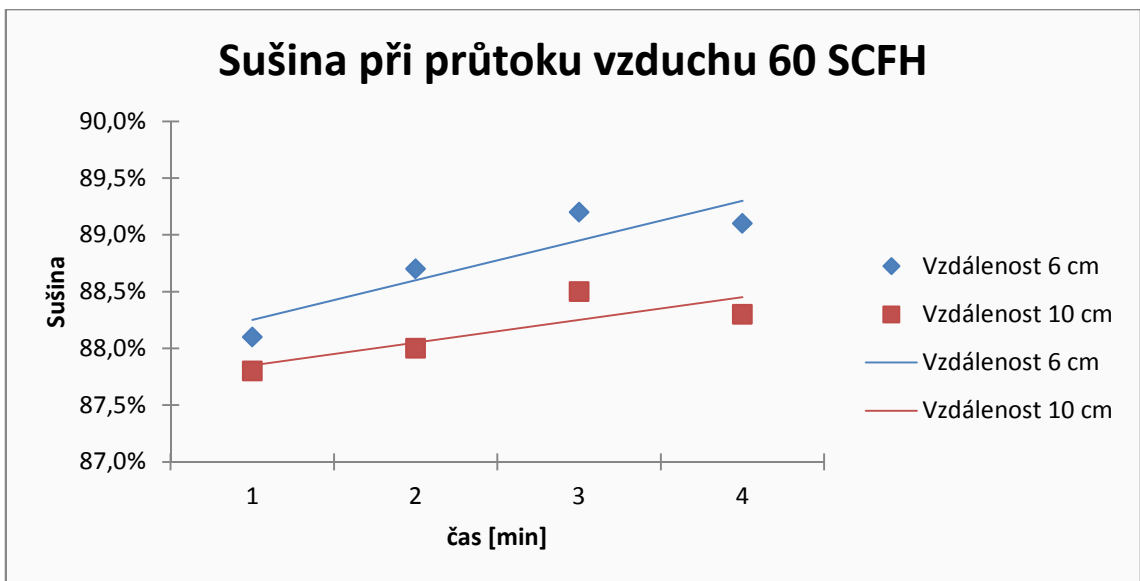
Graf 29: Obsah sušiny při průtoku $Q = 30$ SCFH



Graf 30: Obsah sušiny při průtoku $Q = 40$ SCFH

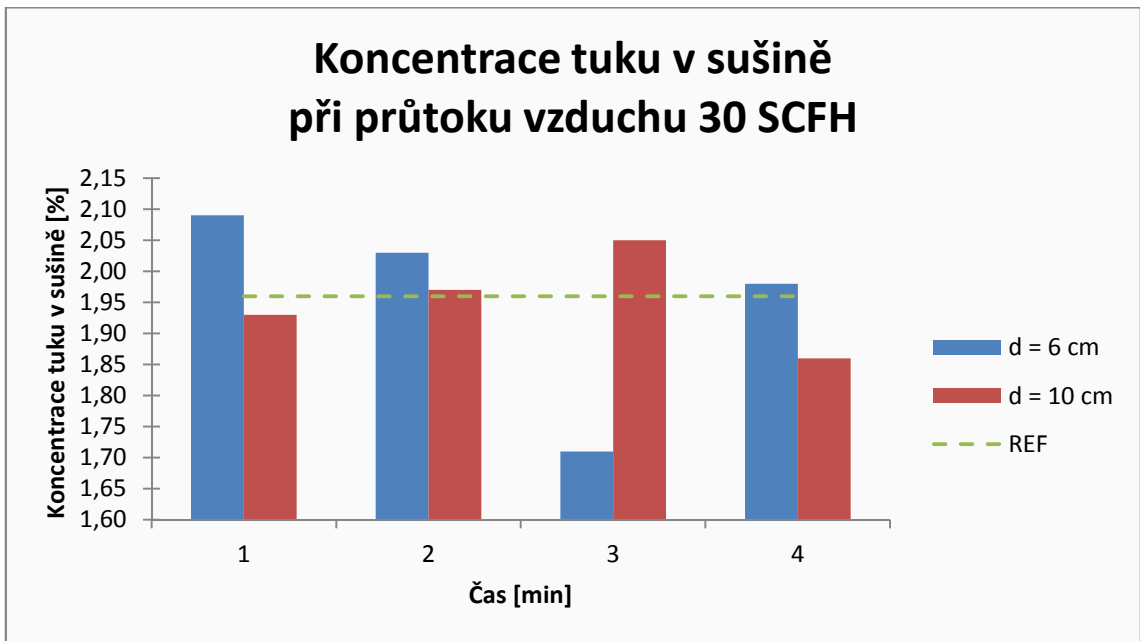


Graf 31: Obsah sušiny při průtoku $Q = 50$ SCFH

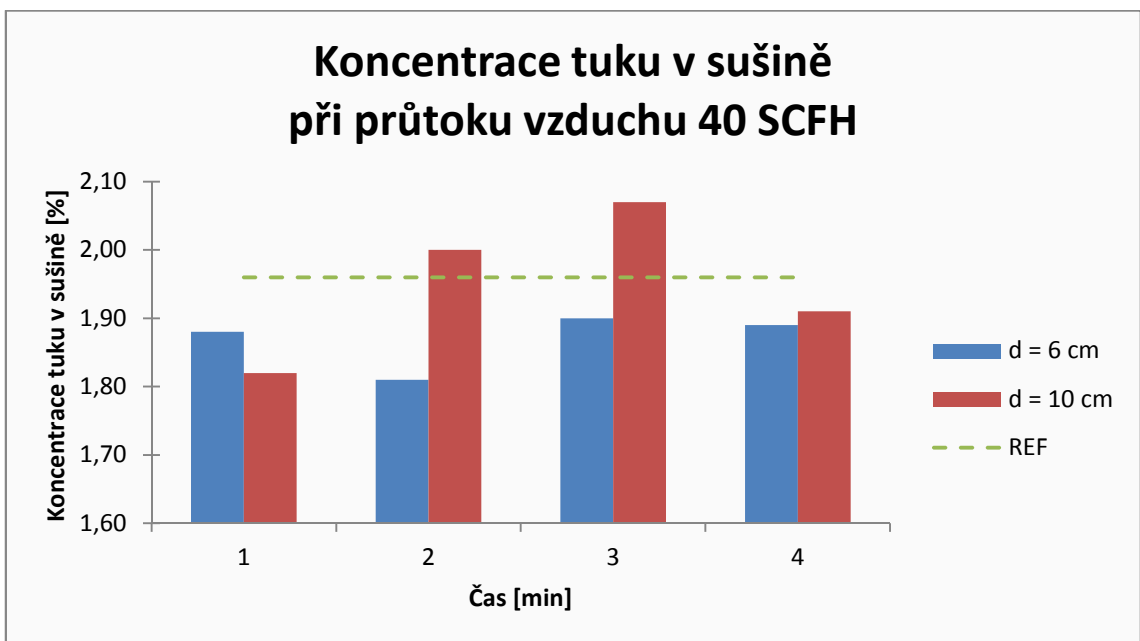


Graf 32: Obsah sušiny při průtoku $Q = 60$ SCFH

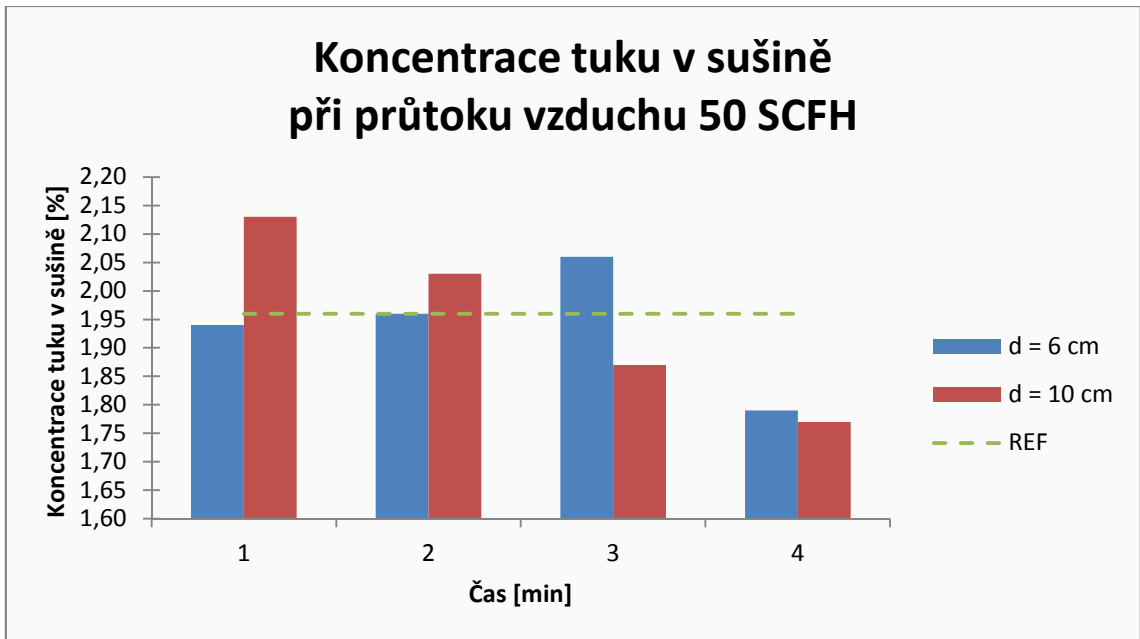
Tuk:



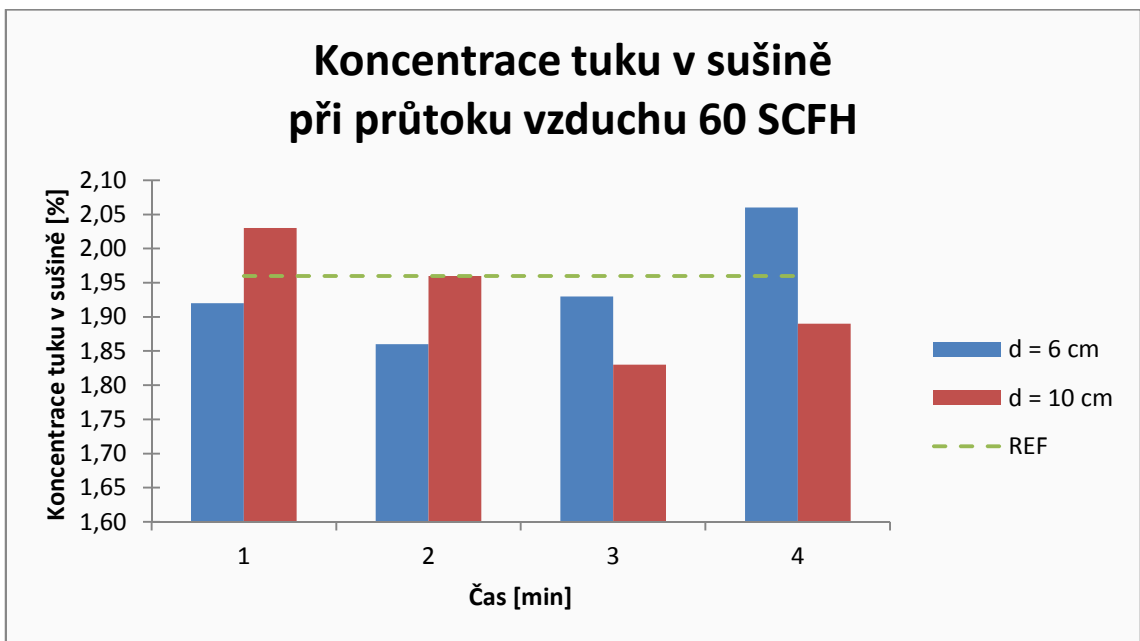
Graf 33: Koncentrace tuku ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 30$ SCFH



Graf 34: Koncentrace tuku ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 40$ SCFH

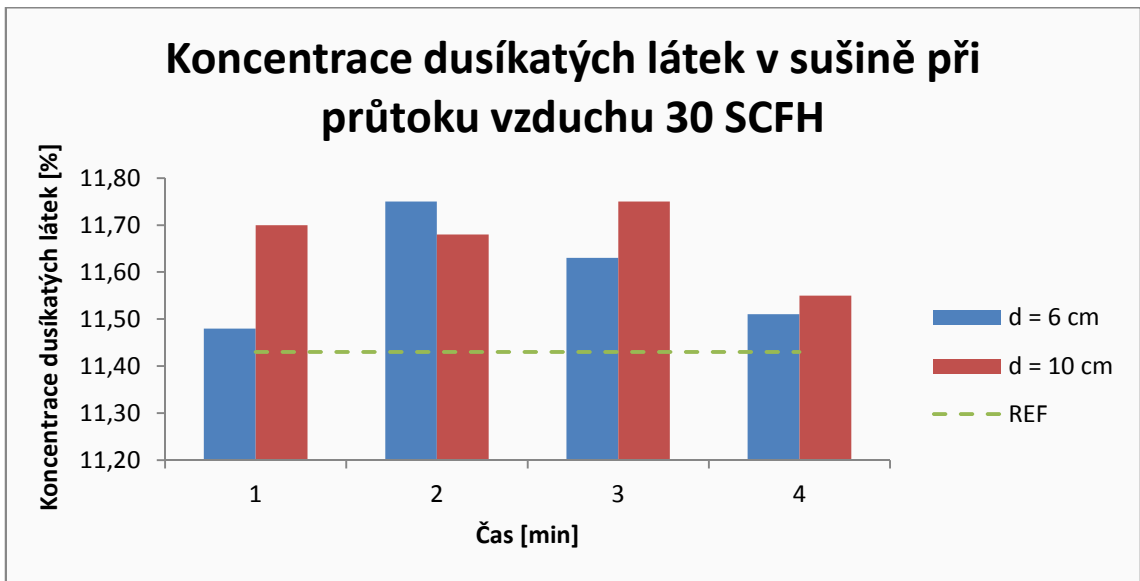


Graf 35: Koncentrace tuku ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 50$ SCFH

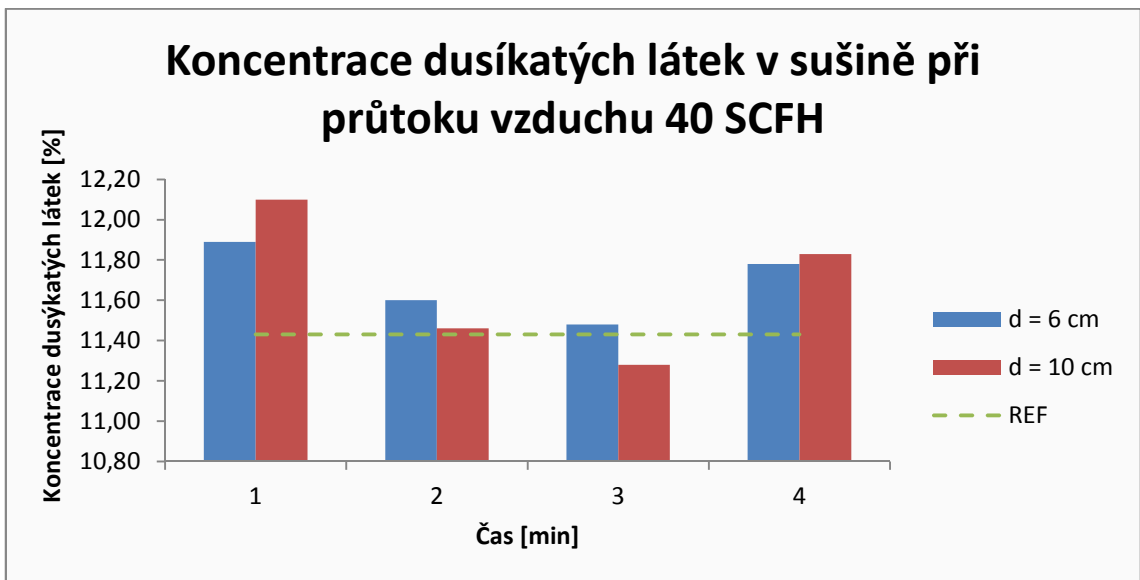


Graf 36: Koncentrace tuku ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 60$ SCFH

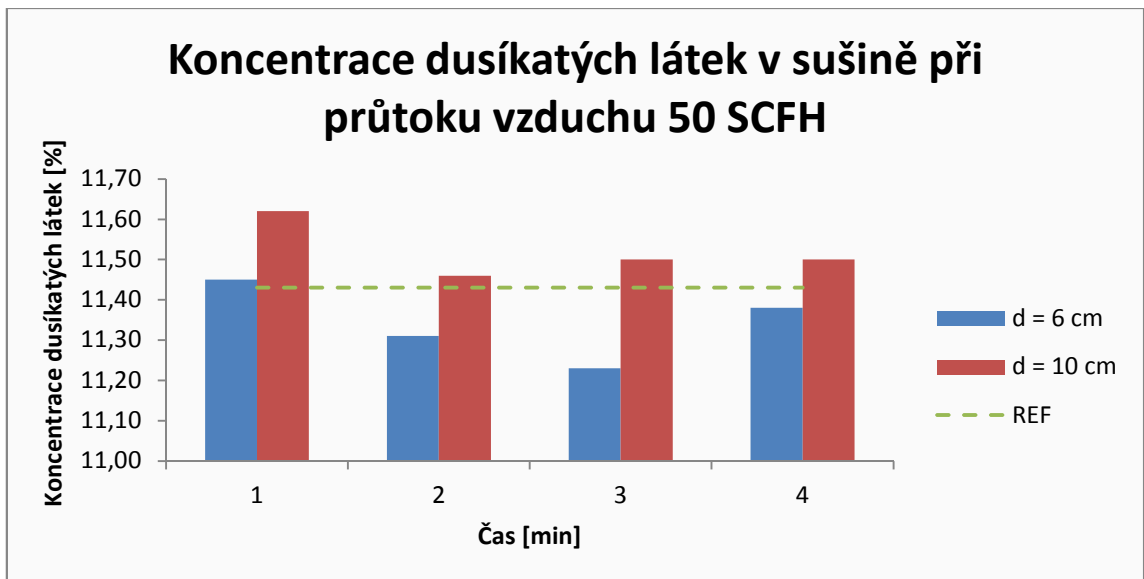
Dusíkaté látky:



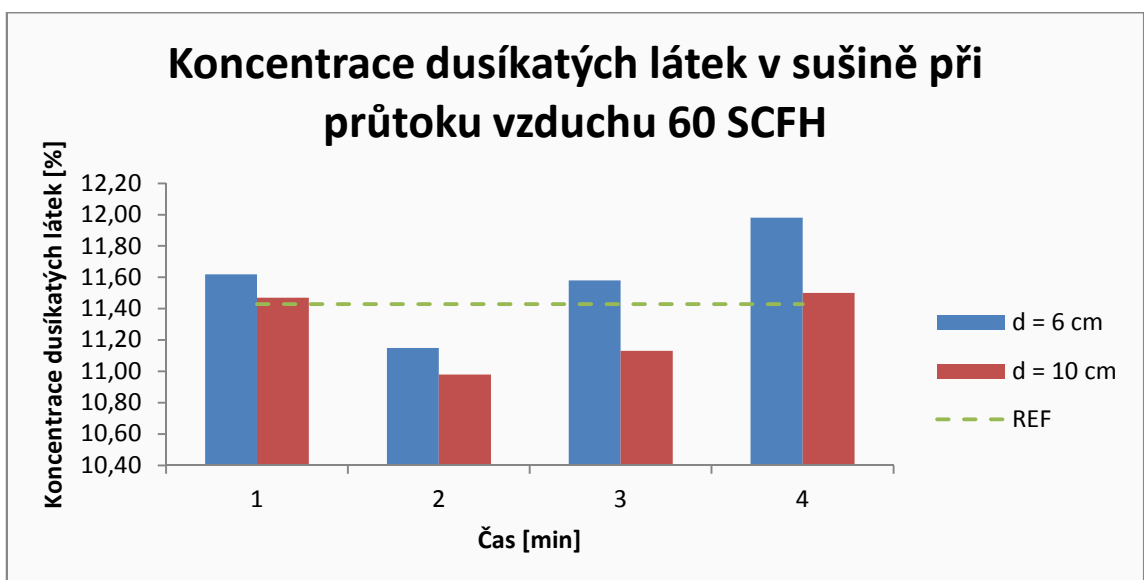
Graf 37: Koncentrace dusíkatých látek ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 30$ SCFH



Graf 38: Koncentrace dusíkatých látek ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 40$ SCFH

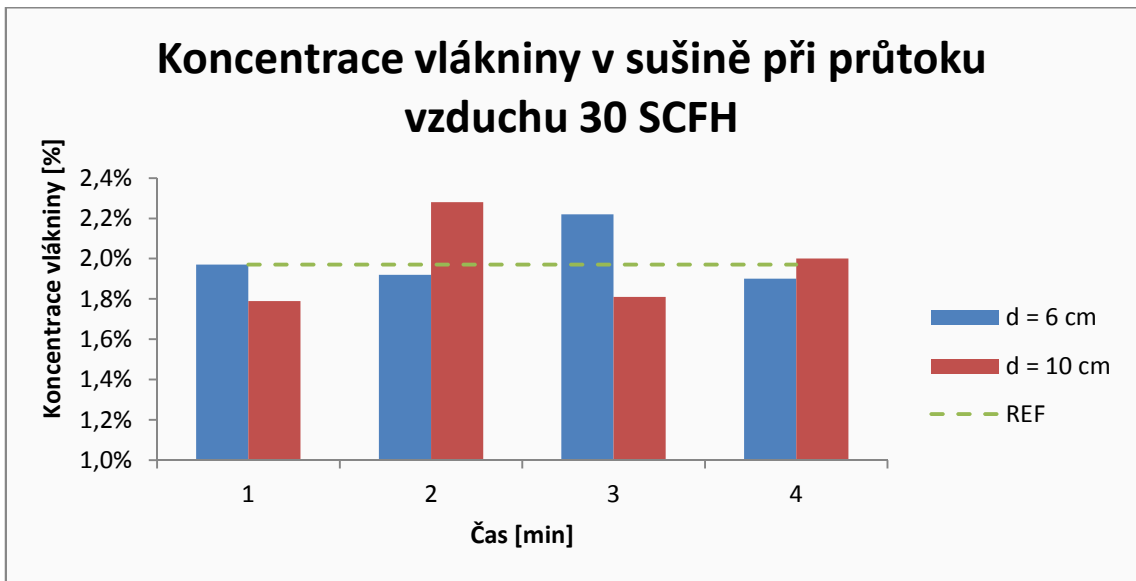


Graf 39: Koncentrace dusíkatých látek ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 50$ SCFH

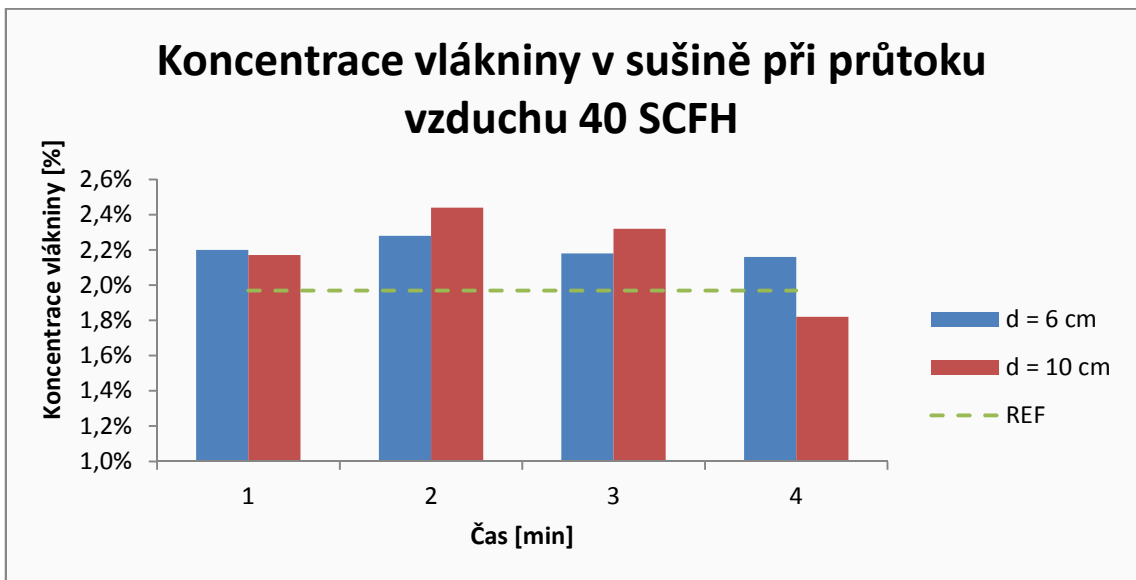


Graf 40: Koncentrace dusíkatých látek ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 60$ SCFH

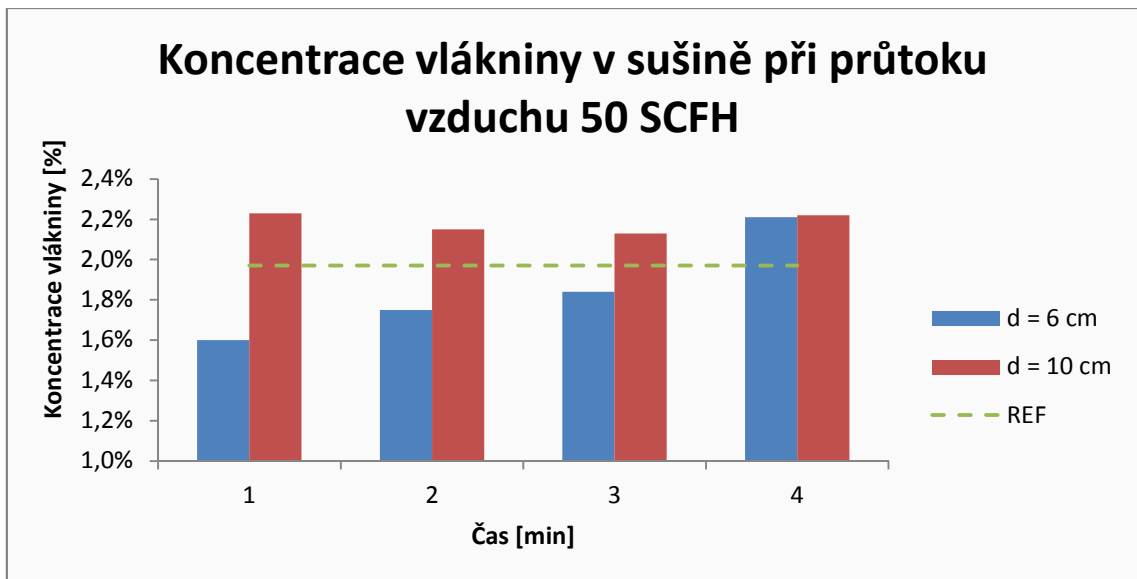
Vláknina:



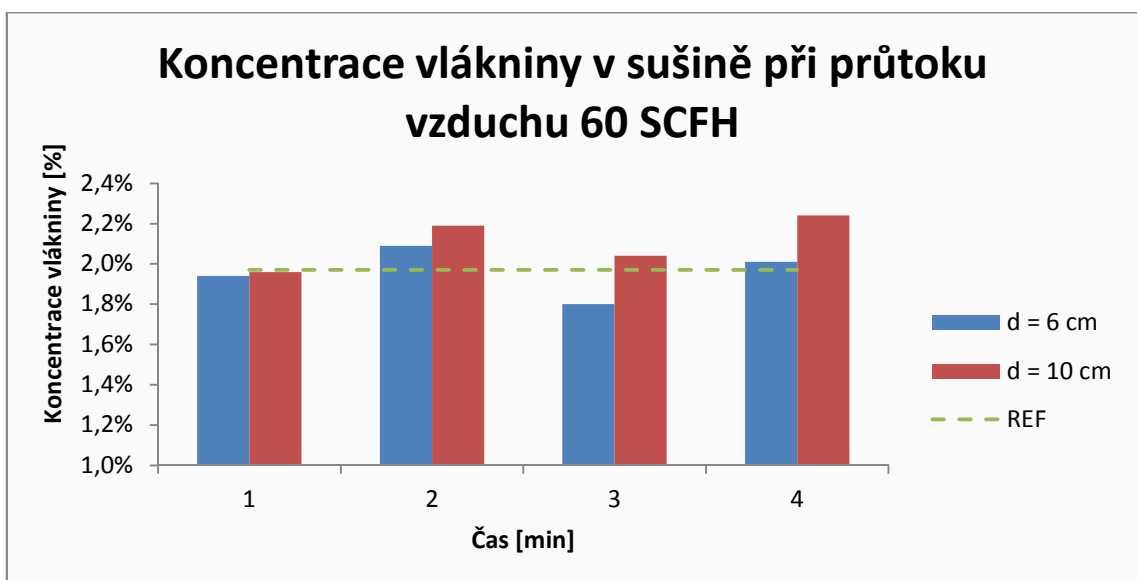
Graf 41: Koncentrace vlákniny ve 100% sušině při průtoku vzduchu Q = 30 SCFH



Graf 42: Koncentrace vlákniny ve 100% sušině při průtoku vzduchu Q = 40 SCFH

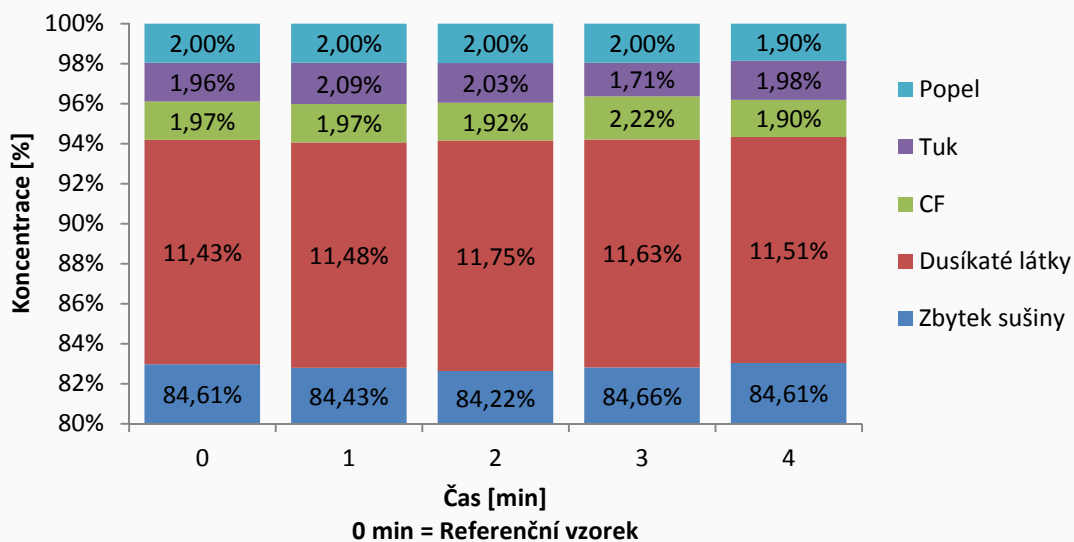


Graf 43: Koncentrace vlákniny ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 50$ SCFH



Graf 44: Koncentrace vlákniny ve 100% sušině při průtoku vzduchu $Q = 60$ SCFH

Koncentrace jednotlivých složek v sušině při průtoku vzduchu 30 SCFH a vzdálenosti 6 cm



Graf 45: Koncentrace jednotlivých složek v sušině při průtoku vzduchu $Q = 30$ SCFH a vzdálenosti $d = 6$ cm