

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 – Zemědělství  
Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby  
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky  
Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
Stanovení optimálních parametrů pro ošetření  
kmínu plazmovým výbojem

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Havelka Zbyněk  
Autor bakalářské práce: Rouha Pavel

České Budějovice, 2018

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel ROUHA**  
Osobní číslo: **Z15113**  
Studijní program: **B4131 Zemědělství**  
Studijní obor: **Zemědělská technika: obchod, servis a služby**  
Název tématu: **Stanovení optimálních parametrů pro ošetření kmínu plazmovým výbojem**  
Zadávající katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

*Cíl práce:*

Bakalářská práce se bude zabývat využitím plazmových výbojů při ošetřování zemědělských komodit. Student v bakalářské práci zhodnotí vliv vybraných technologických parametrů při ošetření kmínu plazmovým výbojem. Svá tvrzení student podloží realizací laboratorního měření.

Struktura hlavní části práce může být následující:

1. Stručný úvod do problematiky
2. Využití plazmových výbojů
3. Popis použité plazmové aparatury
4. Metodika pro realizaci měření
5. Výsledky měření
6. Diskuse
7. Závěr

Součástí práce může být soubor fotografií či videodokumentace, který bude přiložen na datovém nosiči.

Bude-li to možné, pokusí se student výsledky experimentů opublikovat.

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1. Vaculík, A., Kocourková, B., Šmírouš, P., Odstrčilová, L., Růžičková, G., a Seidenglanz, M. (2008) "Metodika pěstování kmínu kořenného." Výsledek projektu NAZV QF 4056. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita; Agritec. Dostupný online: <http://www.agritec.cz/sites/default/files/978-80-7375-290-3.pdf>
2. Písařík, J. a Hyžík, J. (1953) "Pěstování kmínu a jiných siličnatých rostlin." Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
3. Schmiedt, L. (2006) "Úvod do fyziky plazmatu." Fyzika plazmatu [online]. Dostupné z: <http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/marble/d/?p=0>
4. Matějčíček, J. (2016) "Plazmová modifikace materiálů pro medicínské účely." České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Marta Horáková, Ph.D.
5. další zdroje s využitím Web of Science
6. interní zdroje
7. internet

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Zbyněk Havelka  
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání bakalářské práce: 5. ledna 2017  
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2018

  
prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Blatovská 103b, 370 05 České Budějovice

  
doc. RNDr. Petr Bartoň, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 16. března 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské 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.

.....

Datum

.....

Podpis

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na využití plazmových výbojů v zemědělství, konkrétně ošetření semen kmínu kořenného za použití nízkotlaké plazmové aparatury Plasonic AR-550-M.

Teoretická sekce je tvořena ze dvou částí. První z nich je literární rešerše o kmínu kořenném, jeho historii a současnosti, historii pěstování v České republice a botanické a biologické charakteristice této plodiny. Druhá část je věnována plazmatu, jeho principech, typech výbojů a jeho využití.

Praktická sekce obsahuje popis plazmové aparatury Plasonic AR-550-M a stručný návod k obsluze. Dále se v praktické části nachází metodika realizace měření a jeho výsledky, které objasňují vliv působení plazmového výboje na semena kmínu.

**Klíčová slova:** kmín, plazma, plazmový výboj, klíčivost, nízkotlaká plazmová aparatura

## **Abstract**

The focus of this bachelor thesis is on the use of plasma discharges in agriculture, more specifically in the treating of seeds of caraway using low-pressure plasma equipment Plasonic AR-550-M.

The theoretical section is made up of two parts. The first one is a literary research on the caraway, its history and present, the history of its growing in the Czech Republic and the botanical and biological characteristics of this plant. The second part is devoted to plasma, its principles, types of plasma discharges and its use.

The practical section contains a description of plasma equipment Plasonic AR-550-M and a brief instruction manual. Furthermore, there is a methodology of realization of measurements and its results that explain the effect of the plasma discharge on caraway seeds.

**Keywords:** caraway, plasma, plasma discharge, germination capacity, low-pressure plasma equipment

## **Poděkování**

Touto cestou bych chtěl poděkovat v první řadě vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Zbyňku Havelkovi za veškeré úsilí, trpělivost a čas, který mi věnoval při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Pavlu Olšanovi za odbornou pomoc při práci s aparaturou a umožnění jejího použití. Nakonec bych chtěl poděkovat Františku Rouhovi za poskytnutí vzorků pro ošetření, své rodině, přítelkyni a všem, kteří mne ve studiu podporovali.

## Obsah

1	Úvod.....	8
2	Rešerše literatury.....	9
2.1	Kmín.....	9
2.1.1	Historie a současnost kmínu kořenného.....	9
2.1.2	Historie pěstování kmínu kořenného v ČR.....	10
2.1.3	Botanická a biologická charakteristika kmínu kořenného.....	11
2.2	Plazma.....	13
2.2.1	Princip plazmatu.....	14
2.2.2	Typy výbojů.....	16
2.2.3	Využití plazmatu v technice.....	20
2.2.4	Využití plazmatu v potravinářství a zemědělství.....	23
3	Metodika a cíle práce.....	25
4	Praktická část.....	26
4.1	Nízkotlaká plazmová aparatura.....	26
4.1.1	Vakuový recipient.....	27
4.1.2	Ovládací rack aparatury.....	27
4.1.3	Postup ovládnání a nastavení aparatury.....	30
4.2	Metodika realizace měření.....	31
4.3	Výsledky měření.....	32
5	Diskuse.....	35
6	Závěr.....	37

# 1 Úvod

Plazma a využití plazmového výboje v technických a zemědělských aplikacích se stále více dostává do hledáčku výzkumných týmů po celém světě. V současné době se plazma využívá nejen v osvětlovací technice, ale také ke sterilizaci a modifikaci povrchů různých materiálů.

Na první pohled by se mohlo zdát, že zemědělství a plazma spolu nemají nic společného. Opak je pravdou. Plazma obsahuje široké spektrum elektricky nabitých částic a chemicky reaktivních částic. Všechny tyto částice interagují s ošetřovaným povrchem a ovlivňují jeho vlastnosti. Ošetření povrchu semen některých zemědělských plodin pomocí plazmového výboje může mít za následek například zlepšení smáčivosti a tím lépe klíčící semena.

Tématem této práce tedy je stanovení optimálních parametrů pro ošetření plazmovým výbojem. V rámci této bakalářské práce je pozorován vliv na kmín kořenný (*Carum carvi*) a pro ošetření semen je využita nízkotlaká aparatura Plasonic AR-550-M. V praktické části se dále nachází popis použité aparatury a krátký návod k její obsluze.



## 2 Rešerše literatury

Rešerše literatury je rozdělena na dva hlavní tematické celky. Konkrétně se jedná o celek zabývající se použitou modelovou plodinou kmínem kořeným, odrůda Prochan. V tomto celku bude popsána jeho historie, charakteristika aj.

Druhý celek je věnován problematice plazmatu a jeho využití v různých odvětvích průmyslu, lékařství a hlavně zemědělství.

### 2.1 Kmín

#### 2.1.1 Historie a současnost kmínu kořeného

Historie pěstování kmínu kořeného sahá až do 3. tisíciletí př. n. l. První nalezený záznam o kmínu pochází ze Sumerské říše (3 000 př. n. l.). Jím jsou jílovité destičky s poznatky o využití bylin a koření.

Prvotně bylo koření využíváno díky svým účinkům pro léčebné účely. Využití koření jakožto ochucovadla přišlo až následně. Nebylo to však jediné využití. Například v Egyptě se hojně využívalo do mastí, parfémů, kosmetiky, léčiv a v neposlední řadě pro balzamování zesnulých. Lékařské předpisy s příměsemi kmínu uchované na svitku pergamenu jsou první zmínkou o koření v Egyptě. Tyto recepty jsou datovány roku 1500 př. n. l. (Růžičková a Kocourková, [b.r.]). Využití kmínu pro léčebné účinky potvrzuje také Mattioliho herbář, který byl u nás vydán před cca 400 lety.

Získávání semen kmínu bylo založeno na sběru z rostlin volně rostoucích v přírodě. Díky svým vlastnostem, kterými jsou například příjemná vůně, výrazná chuť a příznivé dietetické účinky, je kmín používán k přípravě a úpravě širokého spektra pokrmů v současné gastronomii. Používá se nejčastěji k přípravě masa a brambor. Je však nutnou surovinou při výrobě pečiva. Široké využití kmínu se prolíná konzervářským, masným a sýrařským odvětvím výroby. Je také základní surovinou pro výrobu likéru. Stejně jako v dávné historii, tak i dnes se využívá při výrobě čajů, mýdel, parfémů a kosmetiky. Pro vlastnosti, kterými jsou podpora vykašlávání, podpora žláz s vnitřní sekrecí a účinky zklidňující nežádoucí projevy trávicího traktu a zmírňování pachů a chutí léků je využíván ve farmacii. Zbytky z průmyslového zpracování kmínu jsou součástí krmných směsí pro zvířata. (Pavlousek, 1974)

### 2.1.2 Historie pěstování kmínu kořenného v ČR

Pěstování kmínu na území České republiky bylo započato v druhé polovině 19. století. Tehdy byl také prvně pojmenován jakožto odrůda. Svůj název získaly odrůdy podle předních pěstitelů tehdejší doby, pánech Havelkovi a Hokešovi. Později byly povoleny pouze dvě z těchto prvotních odrůd. Byly jimi odrůda Moravský, ta byla povolena roku 1941, a odrůda Český, ta byla povolena v roce 1952. (Český kmín, ©2018)

Šlechtění kmínu byla věnována velká pozornost, a díky tomu byla roku 1964 povolena další odrůda – Ekonom. Podařilo se vyšlechtit odrůdu s většími nažkami, zachoval se však stejný nedostatek jako u předešlých - opadavost nažek. To se změnilo až povolením nové odrůdy Rekord v roce 1978, která byla později doplněna dalšími dvěma odrůdami. Byly jimi Prochan (registrován roku 1990) a Kepron (registrován roku 1994). Tato trojice odrůd má velmi uspokojivé vlastnosti z hlediska výnosu, kvality a odolnosti vůči opadu nažek. Velikou předností je také vysoký obsah silic s vysokým podílem obsahu karvonu. Jejich šlechtitelem byl pan František Procházka ze Šlechtitelské stanice Česká Bělá spadající pod Šlechtitelskou stanici Keřkov v okrese Havlíčkův Brod. (Český kmín, ©2018)

Poslední významný pokrok v oblasti šlechtění kmínu z hlediska odrůd přinesl rok 2014, kdy byl v České republice registrován jednoletý ozimý kmín Aprim. Tato odrůda přinesla řadu výhod pro pěstitel kmínu. Jsou jimi především stabilní výnosy, které jsou srovnatelné s dvouletými odrůdami kmínu kořenného a kratší vegetační doba umožňující setí kmínu až po sklizni předplodiny. Z toho vyplývá snazší zařazení této plodiny do osevních postupů. Další výhodou v návaznosti na termín setí je také eliminace škod některými škůdci, především vlnovníkem kmínovým. Nevzniká zde tolik prostoru pro rozvoj plevelů v porostech kmínu, taktéž i v plodinách následujících. (Český kmín, ©2018)

Kmín kořenný je velmi hojně využívanou surovinou v gastronomii. Jeho spotřeba však není v takové míře jako například u obilovin nebo zeleniny, jelikož se používá jako koření. Z toho plyne také osévaná plocha touto plodinou v České republice. Tato plocha se v závislosti na výkupních cenách mění, jen zřídkakdy však přesáhne 4 000 ha v rámci celé České republiky.

### **2.1.3 Botanická a biologická charakteristika kmínu kořenného**

#### **Vegetativní orgány**

Kmín je dvouletá rostlina a patří do čeledi miříkovitých (*Apiaceae*). V prvním vegetačním období vyrůstá přízemní růžice tvořená řapíkatými, zpeřenými listy, dále pak vrетенovitý kořen. Ve druhém vegetačním období z růžice vyrůstá 30 až 100 cm vysoká, větvená, článkovaná lodyha s přisedlými listy. Počet větví se pohybuje mezi 8 až 16 kusy. (Novák, 1969)

#### **Generativní orgány**

Drobné oboupohlavní a samčí květy jsou tvořeny pěti korunními plátky. Uspořádané jsou do složených okolíků. Složený okolík se skládá z 3 až 10 okolíčků, v každém bývá 14 až 21 květů. V polovině května začíná kvetení a trvá přibližně měsíc. Kvetení i dozrávání postupuje od centrální části k nižším řádům. Plod je vejčítá, zploštělá, zbarvená dvounažka. Na povrchu nažek, které jsou 4 až 7 mm dlouhé, 0,7 až 1,1 mm široké a 1 mm tlusté, se nachází pět na koncích zploštělých žeber. (Novák, 1969)

## Růst a vývoj kmínu

Tabulka 1: Růst a vývoj kmínu

<b>Teplota klíčení</b>	4-6 °C
<b>Optimální teplota klíčení</b>	12-24 °C
<b>Doba klíčení</b>	14-24 dní
<b>Odolnost vůči mrazům</b>	velmi dobrá (dobře vyvinuté rostliny)
<b>Světlo – 1. rok</b>	ovlivňuje tvorbu vegetativních orgánů; vysoká náročnost na světlo
<b>Světlo - 2. rok</b>	ovlivňuje jakost a velikost výnosů; vysoká náročnost na světlo
<b>Juvenilní fáze</b>	vytvoření 13-14 listů na vegetačním vrcholu; hmotnost sušiny kořene – 0,25 g

<b>Jarovizační stádium</b>	<b>Působení teploty</b>	12 °C, délka závisí na stáří odrůdy a ranosti odrůdy
	<b>Hloubka působení teploty</b>	50-100 mm
	<b>Doba průběhu</b>	Krátká, 19-22 dní
	<b>Rozdíl vegetačního vrcholu</b>	7-15 dní, podle ranosti odrůdy
	<b>Období</b>	Podzim ale i jaro

<b>Odkvétání, nasazování, dozrávání plodů</b>	Denní teplota 18 °C
<b>Odkvétání, nasazování, dozrávání plodů</b>	Délka slunečního svitu – více než 130 h Vodní srážky – méně než 40 mm
<b>Voda</b>	<b>Nedostatek</b> – zpožďuje vzcházení, vývoj listové růžice, neukončení juvenilní fáze <b>Nadbytek</b> – snižuje nasazování plodů, zvyšuje výskyt patogenů

(Procházka, 1980)

## 2.2 Plazma

Plazma bývá často označováno jako čtvrté skupenství hmoty. Jde o ionizovaný plyn, který se skládá především z elektricky nabitých částic (elektronů a iontů), popřípadě neutrálních částic, částic v excitovaných stavech a volných radikálů). Tohoto skupenství je možno dosáhnout dodáním energie (přidáním tepla, zvýšením tlaku nebo přidáním elektrického pole). Pokud je dodáno dostatečně velké množství energie dochází k ionizaci. Elektrony v atomech plynu pak mají dostatečně velkou energii na to, aby dokázaly opustit elektronový obal. Vzniká kladně nabitý iont a elektron, který má jako samostatná částice náboj záporný. (Kulhánek, 2011)

Ionizovaný plyn poprvé nazval plazmou Irwing Langmuir roku 1928, protože chování látky v tomto stavu mu připomínalo právě krevní plazmu. Podle Langmuira je plazma definováno pomocí souboru tří vlastností (viz níže) a proto nelze nazývat každý ionizovaný plyn plazmatem.

Plazma:

1. obsahuje volné nosiče elektrického náboje,
2. vykazuje kolektivní chování (reaguje na elektrická a magnetická pole jako celek),
3. kvazineutralita (v makroskopickém objemu obsahuje stejný počet kladných a záporných částic).

V prostředí plazmatu nemůže ani docházet k nahromadění náboje v určitém místě kvůli tomu, že potenciál, který by toto nahromadění mohl způsobit, je odstíněn. Neznamena to ale, že by v plazmatu nezůstaly žádné elektromagnetické síly. Ve skutečnosti bylo plazma objeveno dříve, a to v roce 1879 Williamem Crookesem. V současné době je plazma využíváno v mnoha technických oborech a aplikacích. (Kulhánek, 2011)

Povědomí společnosti o pojmu plazma je většinou spojováno s oborem medicíny, konkrétně krví. Hlavním důvodem této skutečnosti je pravděpodobně zkušenost lidí s darováním krevní plazmy. Mnohem užší spektrum lidí si plazmu spojuje s oborem fyziky. Přesto však se s plazmatem setkáváme v běžném prostředí kolem nás. Rozdíl v chápání pojmu plazma není pouze v oborech, ve kterých je řešen, ale i z hlediska pravidel českého jazyka. Zatímco krevní plazma je rodu ženského, plazma v oboru fyziky je skloňována podle rodu středního. Nejvíce forem plazmatu nalezneme ve vesmíru (sluneční vítr, obálky a nitra hvězd, mlhoviny).

Lepším příkladem pro člověka může být vodivý kanál blesku nebo polární záře, která vzniká jako vedlejší efekt interakce nabitých částic od slunce se zemskou magnetosférou. (Kulhánek, 2011)

Obecně je plazma rozdělováno na nízkoteplotní a vysokoteplotní podle teplot jednotlivých druhů částic. Pro vysokoteplotní plazma platí, že všechny druhy částic mají stejnou teplotu. Nízkoteplotní plazma se vyznačuje vyšší teplotou elektronů nežli teplotou ostatních částic. (Šebek, 2008)

Nízkoteplotní plazma se dále dělí na termální a netermální plazma, a to podle hodnot teploty, kdy  $T_e$  značí teplotu elektronů a  $T_i$  označuje teplotu iontů. Hodnoty jsou zřejmé z tabulky 2. (Hipper et al., 2001)

Tabulka 2: Rozdělení plazmatu podle teploty částic

Nízkoteplotní plazma		Vysokoteplotní plazma
<b>Termální</b>	<b>Netermální</b>	$T_i = T_e \geq 10^7 \text{ K}$
$T_e = T_i = T \leq 2 \cdot 10^4 \text{ K}$	$T_i = T = 300 \text{ K}$ $T_i < T_e \leq 10^5 \text{ K}$	

### 2.2.1 Princip plazmatu

Na počátku procesu tvorby plazmatu se volný elektron může vytvořit např. působením UV záření od Slunce, či vytržením elektronu přidaným elektrickým polem z povrchu elektrody.

Podle teploty částic uvnitř plazmatu jej lze rozdělit do dvou skupin: vysokoteplotní (termální) plazma anebo nízkoteplotní plazma. V případě vysokoteplotního plazmatu se teplota elektronů rovná teplotě atomů a molekul plynu. Takovéto plazma se nachází v nitrech a obálkách hvězd, případně v experimentech s termonukleární fúzí. V případě, že vysokou teplotu mají pouze elektrony (atomy a molekuly mají řádově nižší teploty) jedná se o plazma nízkoteplotní. Nízkoteplotní plazma typicky vzniká, pokud je elektron urychlen elektrickým polem. Elektron teplotu plazmatu nezvyšuje, protože má nízkou hmotnost a tepelnou kapacitu, tudíž je teplota plazmatu dána teplotou atomů a molekul (plazma je studené). (Scholz, 2007)

Přidáváním energie dochází k urychlování elektronu a následně dochází ke kolizím s neutrálními částicemi plynu. Pokud má elektron dostatečnou kinetickou energii, odštěpí z neutrální částice další elektron a tím dochází k ionizaci.

Původní elektron část své energie nepružnou srážkou ztrácí (část energie je předána neutrální částici), ale následně je znovu urychlován a proces se opakuje. Tímto vzniká takzvaná elektronová lavina a následně dochází ke vzniku výboje. (Kracík, 1964)

Náraz urychleného elektronu do neutrální částice nemusí vždy způsobit ionizaci. Může docházet také k excitaci, záchytu elektronu nebo k disociaci molekuly. (Khun a Scholtz, 2012b) Dále vznikají částice reaktivního kyslíku, atomárního kyslíku (O), ozónu (O<sub>3</sub>), hydroxylových radikálů (OH •), různé sloučeniny dusíku (N<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>) a jiné. Koncentrace těchto částic výrazně závisí na složení plynu.

### **Částice v plazmatu**

Vlivem pružných a nepružných srážek v plazmatu obsahuje plazma různorodou směs nabitých částic. Součástí plazmatu jsou kladné a záporné ionty, neutrální částice, radikály, fotony a elektrony. (Moisan et al., 2001)

#### *Elektrony*

Elektrony jsou částice nesoucí záporný náboj. Volné elektrony, které opustí elektronový obal, nemají vnitřní strukturu a mají neuspořádaný termický pohyb. Na translační rychlosti tohoto pohybu závisí jejich energie. (Vlček, 2004)

Elektronům je dodávána energie elektrickým polem. Tuto energii elektrony mohou dále předat plazmatu tím, že dojde k nepružné srážce elektronu s částicemi pracovního plynu. Elektrony jsou tedy v plazmatu startovacími částicemi pro další plazmochemické procesy. (Vlček, 2004)

Primární elektrony vznikají při ionizačních procesech, typicky nárazem urychleného elektronu s dostatečnou energií a neutrální částicí plynu. Sekundární elektrony mohou vznikat např. fotoionizací částic plynu či fotoemisí z povrchu elektrody. (Vlček, 2004)

#### *Ionty*

V plazmatu najdeme jak kladné (kationty) tak záporné (anionty) ionty. Pokud dojde ke srážce elektronegativní částice s elektronem, elektron se na této částici zachytí a vznikne záporně nabitá částice – záporný iont. Zachycením záporného elektronu na neutrální částici se uvolní energie. (Khun a Scholtz, 2012b) V druhém případě se elektron z neutrální částice odpojuje vlivem vysoké energie elektronu a dochází k opětovné ionizaci. (Khun a Scholtz, 2012b)

### *Volné radikály*

Vznik radikálů způsobuje nepružná srážka neutrální částice s fotonem, který má dostatečnou energii. Radikály spolu mohou krátce po svém vzniku reagovat a vytvářet stabilní částice. (Khun a Scholtz, 2012b)

### *Záření*

Po nárazu fotonu či elektronu do neutrální částice může také dojít ke zvýšení energie vázaného elektronu v neutrální částici. Díky tomu se elektron přesune na vyšší energetickou hladinu. Dochází k excitaci. Protože excitovaný stav není stabilní, elektron se po krátké době přesune zpět do nižší energetické hladiny. Tím dochází k vyzáření energie (rozdíl energie na vyšší energetické hladině a na nižší energetické hladině). (Khun a Scholtz, 2012b)

Podle toho, jak je tento energetický rozdíl veliký, dochází buď k vyzáření UV záření, nebo tepelného záření (Infračervené).

## **2.2.2 Typy výbojů**

Typy výbojů obecně je možné dělit z různých hledisek. Je možné posuzovat, zda jsou samostatné či nesamostatné, napájeny stejnosměrným nebo střídavým napětím a podobně. Pro dělení plazmových výbojů je charakteristické rozdělení na atmosférické a nízkotlaké. Podle těchto vlastností je koncipováno jejich využití. Parametry těchto vlastností jsou důležité jak pro využití v praxi, tak i v laboratořích. Níže jsou uvedeny některé významné druhy výbojů využívané v praxi.

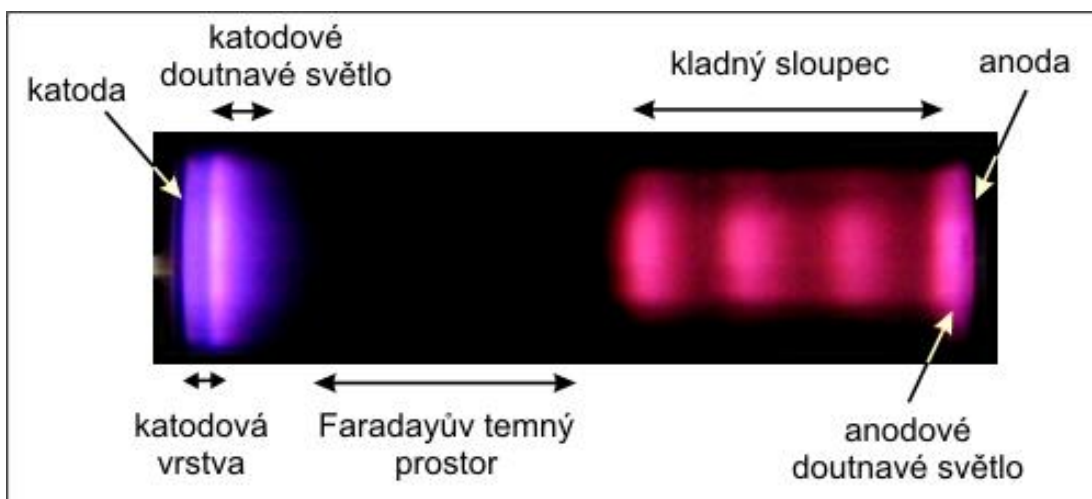
### **Doutnavý výboj**

Doutnavý výboj produkuje nerovnovážné a nízkoteplotní plazma. Při atmosférickém tlaku je velmi složité udržet výboj zapálený, a tak je pro tento výboj výhodnější prostředí se sníženým tlakem. Proto své využití nachází například v povrchové úpravě a analýze materiálů nebo v osvětlovací technice. Využívá se také k depozici tenkých vrstev (Khun a Scholz, 2012a).

Doutnavý výboj je zobrazován pomocí výbojové trubice, která může být naplněna různými typy plynů. Je zde využíván malý proud a nižší teplota. Ve výbojové trubici v okolí katody se objevuje modré zbarvení, zatímco v okolí anody můžeme pozorovat růžovou barvu, viz obrázek z práce Khuna a Scholze (2012a).



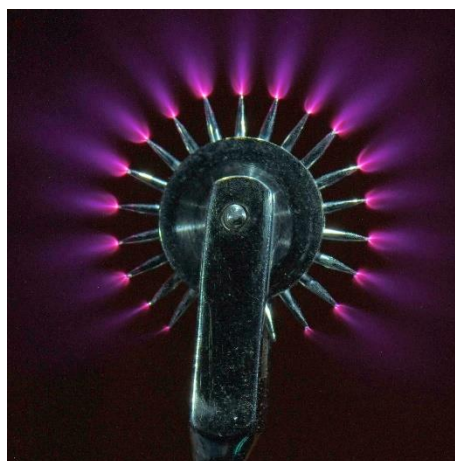
Mezi anodou a katodou je rozloženo napětí nerovnoměrně. V anodovém sloupci má elektrické pole menší intenzitu, protože mezi anodou a anodovým doutnavým světlem je menší potenciálový spád. V okolí katodového doutnavého světla vznikají urychlené kationty, které narážejí do katody, a tím dochází k sekundární tvorbě elektronů. Tyto elektrony se následně dostávají do blízkosti anody, kde zapříčiňují řetězovou ionizaci plynu (Reichl a Všetická, 2017).



Obrázek 1: Zobrazení doutnavého výboje ve výbojové trubici

### Korónový výboj

Korónový výboj spadá do kategorie nízkoenergetických výbojů. Největší množství energie se uvolňuje v malém objemu, a to v blízkosti špičky nebo hrany. Koróna je definována z fyzikálního hlediska jako samostatný doutnavý výboj. Vzniká při překročení prvotního napětí a vlivem ionizace dochází ke vzniku nabitých částic. Hodnota napětí, které umožňuje vznik tohoto výboje, se pohybuje v řádech kilovoltů. Při překročení napětí se tento výboj změní v obloukový. (Navrátil, 2011)



Obrázek 2: Korónový výboj  
(wikipedia.com)

Výboj je modrofialové barvy a je doprovázen slyšitelným prskáním. Průmyslové využití korónový výboj nachází při výrobě ozónu. Ten se při výboji přirozeně tvoří a ve spojení se vzduchem bývá agresivní. (Olšan, 2013)

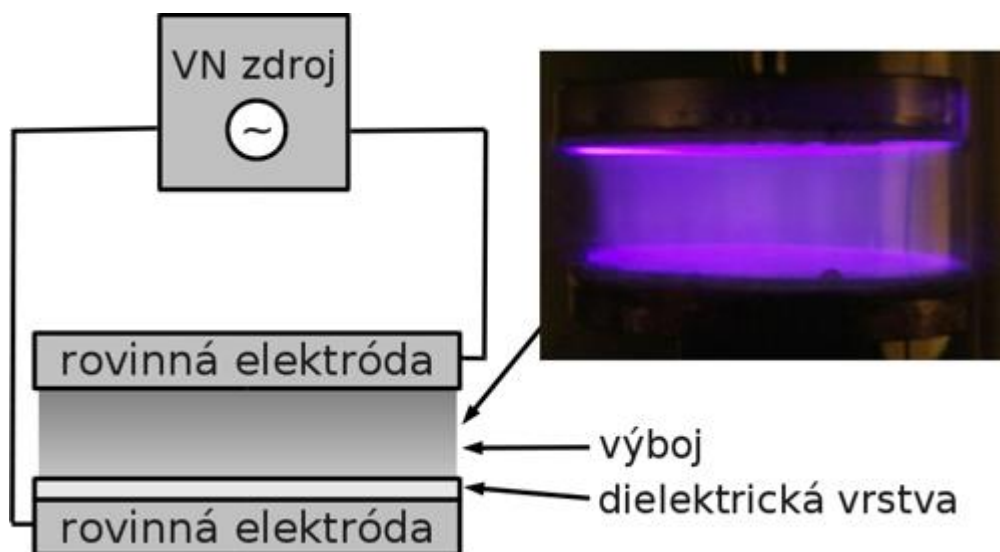
## Dielektrický výboj (DBD)

Zkratka DBD pochází z anglického Dielectric barrier discharge. V překladu znamená dielektrický bariérový výboj.

Tento výboj vzniká, pokud mezi dvěma rovinnými elektrodami, které jsou napájeny ze střídavého napětí, je nejen plyn, ale také dielektrická vrstva. V praxi je tato podmínka řešena vrstvou dielektrika přímo na elektrodě. Energie výboje je závislá na vlastnostech dielektrika. (Salage, 1996)

Dielektrikum je látka, která za běžných podmínek nevede elektrický proud, ale má schopnost polarizovat se v elektrickém poli. V podstatě je to vrstva zabráňující průchodu nabitých částic. Dielektrika je možné rozdělit na pevná, kapalná a plynná, například plasty, keramiku, minerální oleje či vzduch. (Drápala a Kurša, 2012)

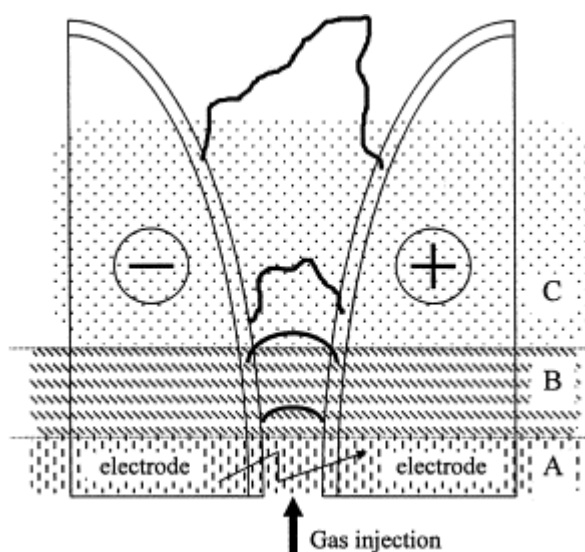
Výboj v plynu je udržován pouze indukčně. Plazma - chemickými reakcemi a hustotou nabitých částic se podobá korónovému výboji. Na rozdíl od něho však může díky velikosti elektrod působit na mnohem větší plochy. Právě díky tomuto aspektu je DBD výboj využíván častěji než korónový a můžeme ho vidět na obrázku z práce Scholtze, (2012)



Obrázek 3: Dielektrický bariérový výboj

## Gliding Arc

V překladu je Gliding Arc nazývaný klouzavý výboj. Patří do kategorie netermálního plazmatu. Výboj vzniká za atmosférického tlaku v prostoru mezi dvěma divergentními elektrodami v nejužším místě. Po těchto elektrodách je posléze výboj za pomoci pracovního plynu unášen až do bodu nestability (dodávané napětí nestačí k udržení výboje), kde dochází k postupnému zániku výboje (viz obrázek [https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0360128598000215-gr2.gif]). Proces se následně opakuje. (Havelka, 2013)



Obrázek 4: Schéma vývoje GA výboje

## Mikrovlnný výboj

U mikrovlnného výboje je důležitý rozsah frekvencí. Budící frekvence u tohoto výboje mají hodnotu vyšší než 100 MHz. Abychom plazma mohli označit jako indukované mikrovlnami, musí být frekvence mikrovln, kterými bylo vytvořeno v rozmezí od 300 MHz do 10 GHz. Vznik plazmatu je založen na různých podmínkách, jako jsou například hodnoty tlaků v rozmezí od 0,1 Pa do 1 MPa nebo výkon v řádech jednotek až stovek wattů. (Olšan, 2013, Matějček, 2016)



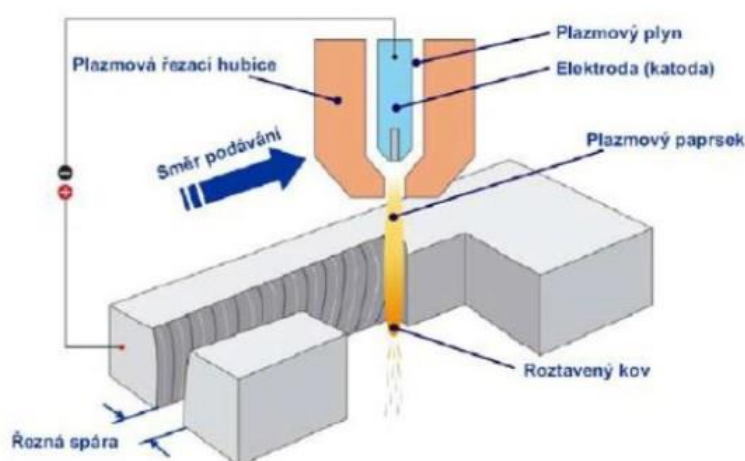
Obrázek 5: Mikrovlnný výboj

### 2.2.3 Využití plazmatu v technice

Jak je patrné z podkapitoly „typy výboje“, využití plazmových výbojů je mnohostranné, a to v několika oblastech. V podstatě většina světla kolem nás je spojena s plazmatem. Pokud si představíme Slunce ve dne nebo hvězdy v noci, oba tyto představitele jsou tvořeni plazmatem. Pokud se zaměříme na umělé zdroje světla, můžeme jmenovat klasické zářivky, obloukové lampy, ale i obyčejný plamen svíčky. Stoprocentní výjimkou jsou obyčejné žárovky. (Aubrecht, 2003)

Umělé zdroje světla můžeme rozdělit právě na dvě skupiny. Jsou jimi vysokotlaké obloukové lampy a fluorescenční výbojky, můžeme říci zářivky. Výhodou obou těchto skupin je vyšší účinnost oproti klasickým žárovkám. Udává se až sedmkrát vyšší světelná účinnost nežli u žárovek. Naopak nežádoucí je častý obsah rtuti v těchto zdrojích světla, to především z hlediska ekologického. (Aubrecht, 2003)

Díky vysokým teplotám, které jsou při vzniku plazmových výbojů dosahovány, nachází své využití plazma i v oblasti obrábění a dělení materiálu. Historie tohoto využití sahá do 60. let 20. století a její vývoj trvá dodnes. Hlavním směrem vývoje metody je snížení nároku na energii a zlepšení technologických parametrů. Technologie obrábění plazmovým paprskem spadá mezi svazkové obrábění. Princip úběru materiálu je založen na usměrněném a fokusovaném proudu ionizovaného plynu, tedy plazmatu (viz. obrázek 6). (Využití plazma v technologii – 1. Díl, 2013)



Obrázek 6: Řezání materiálu za pomoci plazmového svazku

Hlavními přednostmi, které jsou využívány u řezání plazmatem, jsou vysoká teplota a dynamika plazmového svazku. Katodu představuje v tomto případě wolframová elektroda, která se neodtavuje. Představitelem anody může být jak hlavice řezací hlavy, tak i základní materiál. Výboj vzniká právě mezi anodou a katodou

v proudu plazmového plynu. Paprsek materiál nataví a dynamika plazmového svazku vyfoukne taveninu skrz řeznou spáru. Z důvodu nestability plazmatu je zapotřebí celý plazmový svazek izolovat od působení vzdušné atmosféry. (Využití plazma v technologii – 1. Díl, 2013)

Plazmovou technologii je možné využít v mnoha směrech, a to i v úpravě povrchu materiálu. Řeč je o vlastnostech chemických, které je možné touto metodou ovlivnit v souladu s kvalitou, ekonomikou i ekologií. Kromě těchto výhod je zde celá řada dalších benefitů, například úprava povrchu bez mechanického působení, minimální tepelný vliv na povrch, homogenita úpravy po celém povrchu, či vysoká stabilita modifikace nebo zachování objemu a vnitřní struktury. (Surfacetreat, 2017)



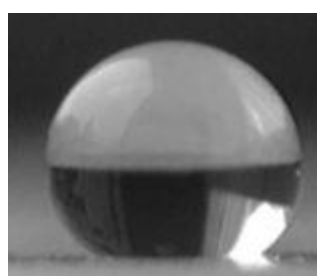
Obrázek 7: Depozice tenkých vrstev za pomoci plazmatu

V současnosti je modifikace práškových materiálů založena na aktivaci povrchu za pomoci teploty. K aktivaci povrchu tak dochází buď v pecích anebo za pomoci přímého kontaktu s plamenem. U ošetřovaných polymerů tak dochází k tepelné degradaci materiálu a tím jsou omezené možnosti aplikace. Řešením tohoto problému může být právě využití nízkoteplotních plazmatických výbojů, které jen minimálně tepelně ovlivňují povrch, navíc jsou vysoce efektivní a modifikace je velice stabilní. Ukázka ošetření viz. obrázek 7. (Surfacetreat, 2017)

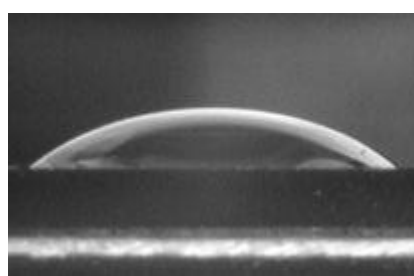
Plazmové výboje lze dále využívat při přípravě povrchu před lepením, lakováním či před potiskem materiálu. Využitím bombardu povrchu materiálu proudem aktivních iontů (těžké částice) dochází k uvolňování nečistot z povrchu. Těmito nečistotami mohou být mastné kyseliny, tuky nebo i bakterie. (Surfacetreat, 2017)

Využitím plazmového výboje lze taktéž ovlivnit povrchové napětí ošetřeného materiálu. Při aplikaci plazmového výboje dochází k interakci s povrchem, kde se navazují nové funkční skupiny na OH skupiny materiálu. Důsledkem je změna chemické struktury povrchu z nepolární na polární a s tím spojený přechod materiálu z hydrofobní formy na formu hydrofilní. Dochází tak k zvýšení adhezních vlastností polymerů nebo smáčivosti. (Surfacetreat, 2017)

Co si vlastně pod pojmem smáčivost představit? Jednoduše řečeno jde o schopnost kapaliny přilnout k povrchu pevných látek. Příklady rozdílných smáčivostí lze sledovat na obrázcích 8 a 9. (Surfacetreat, 2017)



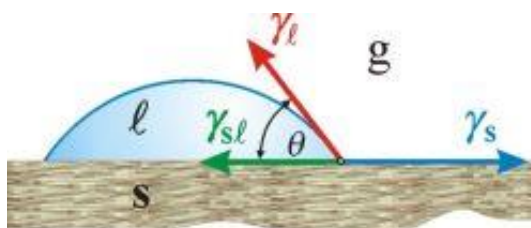
Obrázek 8: Povrch neupraveného materiálu



Obrázek 9: Povrch plazmaticky ošetřeného materiálu

Smáčivost je definována velikostí kontaktního úhlu (viz obrázek X). (Bartovská a Šišková, 2005) Tato vlastnost je důležitá pro mnoho odvětví. V oboru medicíny je tento pojem důležitý například pro správný skluz oční čočky po slzném filmu. (Smáčivost materiálu, © 2008)

Velmi hojně je s touto vlastností pracováno také při výrobě různých plastových



Obrázek 10: Kontaktní úhel kapky

dílů v automobilovém, strojírenském či elektrotechnickém průmyslu. Hlavní výhodou tohoto způsobu úpravy povrchových vlastností je efektivita a zachování objemu a vnitřní struktury materiálu. Cílem ošetřování dílů je změna povrchové energie ošetřovaného materiálu. (Technický týdeník, 2014)

#### 2.2.4 Využití plazmatu v potravinářství a zemědělství

Z předešlé kapitoly je zřetelné možné uplatnění plazmatického ošetření v zdravotnictví. (Yang et al., 2011). Plazmatické ošetření není vhodné jen v souvislosti s kontaktními čočkami, ale hlavně ve značné míře v problematice sterilizace lékařských nástrojů. (Helhel et al., 2005) Jedná se o nejspolehlivější metodu sterilizace. Chemickými procesy, teplotou a iontovým bombardem povrchu je zničena většina mikroorganismů a patogenů.

Je zřejmé, že díky plazmatu je možné hubit mikroorganismy (Cui et al, 2016; Ragni et al., 2010), což ale není výhradně záležitostí zdravotnických zařízení. Princip ošetření spočívá ve vytvoření volných chemických radikálů z peroxidu vodíku ( $H_2O_2$ ) působením elektricky nabitých a urychlených částic nízkoteplotního plazmatu. Tento „oblak“ vytvořených radikálů reaguje s částicemi živé hmoty na ošetřovaných předmětech a tím je ničí. Jelikož se pracuje s nízkoteplotním plazmatem, je tato metoda velice šetrná k ošetřovanému materiálu. Stejně tak ošetření probíhá jen ve velmi tenké vrstvě materiálu, nedochází tedy ke změně jeho vlastností. Avšak touto metodou není možné sterilizovat látky na bázi celulózy, dále tekutiny, silně absorbující materiály a také materiály, které silně narušují oxidační činidla. (Steripak s.r.o., ©2018)

Schopnost plazmatu zabíjet bakterie může nalézt uplatnění v balicím průmyslu. Technologie může být využita jak ke sterilizaci baleného materiálu, tak i samotných balicích materiálů. (Pankaj et al., 2014; Lee et al., 2016; Wang et al., 2016)

Řada výzkumů se také snaží optimalizovat parametry plazmatu při konzervaci potravin. Je využíváno konzervace studeným plazmatem typu Gliding Arc. Přestože je tato metoda poměrně moderní, počátky jejího zkoumání sahají do roku 1968, kdy tato metoda byla patentována. (Hrabaňová, 2016)

Z předešlých odstavců je patrné, že plazma může být účinně využito při sterilizaci povrchů s bakteriemi. V současnosti se výzkum zabývá možnostmi využití plazmatu při ničení plísní. Plísně ve většině případů produkují nebezpečné sekundární metabolity zvané mykotoxiny. Mykotoxiny představují vysoké riziko pro živé organismy (Malíř et al., 2013). V současnosti je popsáno více než tři sta mykotoxinů. Podrobný seznam mykotoxinů napadajících potraviny a krmiva lze nalézt v práci Bhata et al. (2010) nebo Kostelanské et al. (2009). Jako příklady můžeme uvést tyto skupiny: aflatoxiny (extrémně toxické), ochratoxiny, patulin nebo námelové alkaloidy. Výskyt mykotoxinů, ať už se jedná o krmiva nebo potraviny je způsoben podmínkami

při sklizni (teplota, vlhkost), skladování, přepravě i dalším zpracování. Mykotoxiny mají negativní účinek na játra a ledviny a imunitní systém. Důsledkem působení některých mykotoxinů může být poškození trávicího traktu, rakovina a dokonce i smrt. (Bezpečnost potravin, [b.r.]

Plísňe, se kterými se můžeme setkat v potravinářství, potažmo zemědělství, jsou například plísňe rodu *Aspergillus* vyskytující se v arašídech nebo kukuřici, *Penicillium*, které najdeme v obilovinách nebo plísňe rodu *Fusarium* postihující především kukuřici a tím hospodářská zvířata. (Bezpečnost potravin, [b.r.]

V praxi se dnes problematika výskytu nežádoucích plísní a mykotoxinů řeší různými metodami. Nejpoužívanější metodou je moření semen pesticidy za účelem vyšší odolnosti osiva. Negativní dopad na ekologii má znečištěná voda, která ošetřováním vzniká. Výhodou metod založených na principu plazmatu je právě netoxičita oproti běžně používaným komerčním metodám. (Havelka, 2013)

Další výhodou plazmového ošetření je téměř nulový vliv na nutriční hodnoty, kdy například ošetření s využitím plazmového zdroje Gliding Arc nemění obsah výživových hodnot v ošetřovaných obilovinách (Havelka, 2013). Významným způsobem je tedy takto možno přispět v řešení problematiky zasažení nejčastějšími druhy plísní při skladování obilovin.

Právě díky šetrnosti a zároveň účinnosti aplikace plazmových výbojů se tyto technologie uplatňují i v zemědělství. Kromě plísní, které jsou tímto způsobem likvidovány, se během jednoho ošetření může také zlepšit schopnost osiva klíčit a tím „předběhnout“ konkurenční rostliny. Jak bylo vysvětleno výše, ošetření má vliv na povrchové napětí, a to nejen u plastů. Aplikací plazmového výboje se významným způsobem sníží kontaktní úhel a tím zvýší smáčivost. Ošetřené osivo tedy intenzivněji přijímá vodu a v ní obsažené živiny. (Bormashenko et al., 2012)



### 3 Metodika a cíle práce

Cílem bakalářské práce je rozpracovat problematiku využití plazmatu v technice a zemědělství, konkrétně vliv plazmatického ošetření na klíčivost modelové plodiny kmínu kořenného, odrůda Prochan. Podle zjištěných výsledků bude možná optimalizace procesu ošetření takovým způsobem, aby nedocházelo k snížení kvality osiva. K dosažení tohoto cíle byla práce rozdělena do čtyř dílčích, na sebe navazujících celků:

1. Seznámení s modelovou plodinou,
2. seznámení s plazmatem a jeho využitím,
3. popis použité nízkotlaké plazmové aparatury,
4. zjištění vlivu parametrů plazmatu na klíčivost modelové plodiny.

První dva celky umožňují seznámení se s danou problematikou více do hloubky, jelikož historie pěstování kmínu kořenného v Čechách sahá hluboko do dob minulých, a i problematika plazmatu je velice široká.

Následující dva celky spadají do praktické části této práce. Třetí tematický celek je věnován použité aparatuře, jejímu popisu a možnostem v oblasti parametrizace ošetření.

V posledním celku práce bude aparatura využita k získání základních výsledků vlivu plazmatického ošetření na klíčivost kmínu kořenného a stanovení optimálních parametrů pro toto ošetření.

## 4 Praktická část

### 4.1 Nízkotlaká plazmová aparatura

K ošetření vzorků modelové plodiny byla využita dostupná nízkotlaká plazmová aparatura Plasonic AR-550-M, ve vlastnictví Katedry zemědělské, dopravní a manipulační techniky na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity. V následujících řádcích bude uveden základní popis aparatury, princip ovládání, nastavení a průběh procesu ošetřování vzorků.

Originální aparatura od výrobce byla pro své využití upravena, a proto její přesný popis v žádné literatuře nelze dohledat. U aparatury bylo upraveno hlavně příslušenství, které bylo doplněno o přesnější měřicí přístroje, či nahrazení vakuového recipientu za jiný. Základní ovládací modul aparatury zůstává totožný. Všechny tyto úpravy byly provedeny v rámci zefektivnění a rozšíření možností využití.

Na obrázku 11 je zachycen pohled na všechny části plazmové aparatury:



- (1) Rotační vývěva,
- (2) vakuový recipient,
- (3) magnetron,
- (4) zdroj napájení  
míchacího zařízení,
- (5) měřič tlaku,
- (6) modul s řídicím  
počítačem,
- (7) modul pro kontrolu  
procesu ošetření,
- (8) plazmový zdroj,
- (9) snímač měření tlaku  
uvnitř recipientu,
- (10) pojistka pro spuštění  
procesu.

Obrázek 11: Nízkotlaká plazmová aparatura Plasonic AR-550-M

#### 4.1.1 Vakuový recipient

Jednou z nejdůležitějších částí aparatury je vakuový recipient (viz obrázek 12). Tímto pojmem se rozumí prostor, ve kterém dochází za sníženého tlaku k ošetření vzorků pomocí plazmatu. Jedná se o komoru, v tomto případě válcového tvaru, ze které je za pomoci olejové vývěvy Leybold D16A Trivac (čerpací rychlost vývěvy je  $399,3 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ) odsáván vzduch a tím tvořen nižší tlak (vakuum) než v okolní atmosféře. Přímo do recipientu vstupuje magnetron, jehož úkolem je tvorba mikrovln. Magnetron můžeme nalézt také v mikrovlnných troubách. Stejně tak je zde vstup pro snímač tlaku, který je následně zobrazován na digitálním zařízení pro jeho měření.



- (1) Míchací zařízení,
- (2) snímač pro měření tlaku,
- (3) vstup magnetronu,
- (4) magnetron,
- (5) těleso komory.

Obrázek 12: Vakuový recipient aparatury s míchacím zařízením

V případě použité aparatury je uvnitř recipientu také umístěno míchací zařízení zajišťující homogenitu ošetření vzorků. Míchací lopatka je poháněna elektromotorem napájeným z vnějšku recipientu laboratorním zdrojem Tipa PS3003, kterým lze nastavit vstupní elektrické napětí v rozsahu 0-30 V a vstupní elektrický proud v rozsahu 0-3 A.

#### 4.1.2 Ovládací rack aparatury

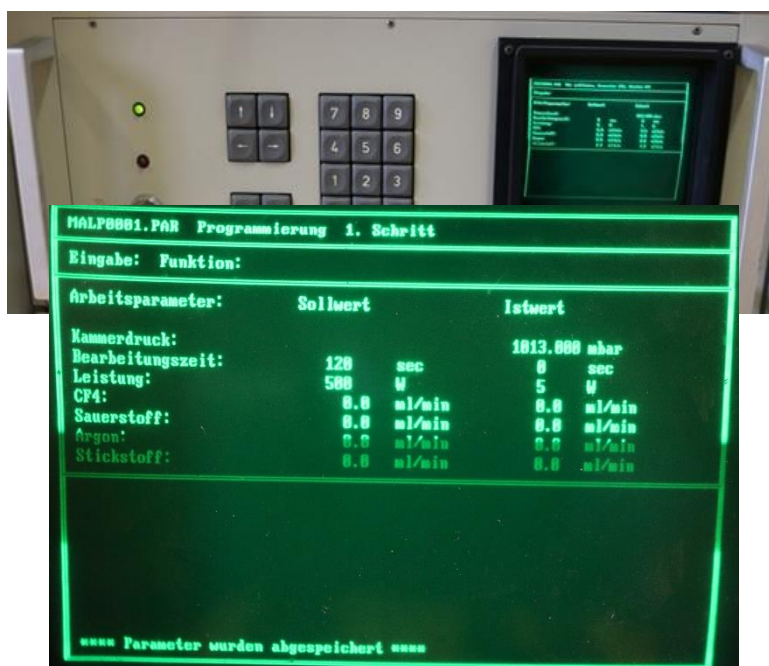
Ovládací rack aparatury je tvořen třemi hlavní částmi:

- a) modul s řídicím počítačem s programem pro řízení procesu;
- b) modul pro kontrolu procesu ošetření;
- c) plazmový zdroj.

## Modul s řídicím počítačem

Modul s řídicím počítačem umístěný v racku aparatury slouží především k nastavení a kontrole systému a procesu. Součástí tohoto modulu je počítač, v němž je nahrán německý software sloužící k inicializaci celého přístroje a nastavení procesu ošetření.

Na modulu se taktéž nachází klávesnice (2) pro programování a ovládání řídicího softwaru, display pro zobrazení hodnot (3). Součástí modulu je i bezpečnostní klíč (1), sloužící k přepínání režimů počítače (kontrolní režim nebo režim programování procesu).



Obrázek 14: Display řídicího počítače

### Překlad:

<b>Programmierung</b>	Programování	<b>CF4</b>	Tetrafluormethan
<b>Arbeitsparameter</b>	Parametry procesu	<b>Sauerstoff</b>	Kyslík
<b>Sollwert</b>	Žádané (nastavené)	<b>Argon</b>	Argon
<b>Istwert</b>	Skutečná hodnota	<b>Stickstoff</b>	Dusík
<b>Kammerdruck</b>	Tlak v recipientu		
<b>Bearbeitungszeit</b>	Doba činnosti		
<b>Leistung</b>	Výkon		

## Modul pro kontrolu procesu ošetření

Modul určený ke kontrole probíhajícího procesu se skládá z několika součástí. Na modulu se nachází hlavní vypínač aparatury (1) a bezpečnostní spínač (4) pro případ havárie. Ze součástí sloužící ke kontrole procesu je zde indikátor teploty (2) a ukazatel tlaku (3), který slouží také pro nastavení mezních pracovních tlaků. Hodnota označená Lo znamená mezní spouštěcí tlak plazmového výboje, hodnota Hi je horní mezní tlak, sloužící jako bezpečnostní pojistka (po překročení se celý systém vypne). Ukazatel tlaku pracuje s jednotkami mbar ( $10^{-1}$  mbar = 10 Pa). Na tomto modulu je dále umístěn papírový blok určený pro poznámky obsluhujícího personálu (5).



Obrázek 15: Modul pro kontrolu procesu ošetření

## Plazmový zdroj

Součástí ovládacího racku je i modul s elektronikou pro ovládání magnetronu. Ve většině situací je magnetron řízen softwarem v řídicím počítači, ale za pomoci tohoto modulu jej lze ovládat případně i v manuálním režimu. Pro tento případ jsou zde umístěna tlačítka pro přepínání manuálního nebo plně automatizovaného procesu, dále pro nastavení šířky pulzu a příkonu zdroje.



Obrázek 16: Plazmový zdroj

### 4.1.3 Postup ovládání a nastavení aparatury

Aparatura musí být pro svoji činnost zapojena do elektrické sítě o napětí 400 V, za pomoci pětikolíkové vidlice. Následně může být přístroj zapnut hlavním spínačem, který je umístěn na modulu pro kontrolu procesu ošetření. Po zapnutí dojde k automatickému spuštění softwaru, který provede inicializaci všech součástí aparatury.

V dalším kroku obsluha nastaví proces ošetření. Po skončení inicializace součástí systému obsluha přepne bezpečnostní klíč řídicího počítače do polohy pro programování procesu (vodorovná poloha klíče). Za pomoci klávesnice a ovládacích šipek nastaví parametry požadované pro proces. V tomto kroku lze nastavovat dobu, po kterou bude aktivně probíhat proces ošetření, mezní tlaky uvnitř recipientu potřebné pro spuštění plazmového výboje, výkon plazmového zdroje a případné připouštění dalších pracovních plynů do systému. Těmito plyny mohou být čistý kyslík (O<sub>2</sub>), dusík (N), argon (Ar) a jiné. Po nastavení všech požadovaných parametrů se bezpečnostní klíč přepne do polohy svisle – zablokování možnosti omylem přeprogramování. Mimo nastavení řídicího počítače se v případě potřeby míchání vzorku uvnitř recipientu nastaví potřebné otáčky míchacích lopatek za pomoci laboratorního zdroje.

V této fázi je již vše potřebné nastaveno a připraveno ke spuštění procesu ošetření. Před spuštěním procesu za pomoci počítače, je nutno stisknout bezpečnostní pojistku utěsnění recipientu, a následně může být spuštěn proces tlačítkem start (S) umístěným na modulu s řídicím počítačem. Spustí se vývěva, která začne odsávat vzduch z recipientu na nastavenou hodnotu a po dosažení mezní hodnoty tlaku (Lo) vytvořen magnetronem mikrovlnný plazmový výboj. Od této chvíle je vzorek ošetřován dle nastavených časových parametrů.

Po uplynutí nastavené doby ošetření se automaticky spustí čisticí procesy aparatury a je napuštěn plyn zpět do recipientu. Po vyrovnání tlaků je recipient možno otevřít a vyjmout ošetřený vzorek. Tímto je celý proces dokončen a může být následně zopakován, pozměněn, anebo může být práce s aparaturou ukončena.



Obrázek 17: Display řídicího počítače po dokončení ošetření

## 4.2 Metodika realizace měření

Stanovení optimálních parametrů plazmatického ošetření kmínu vychází z naměřených hodnot klíčivosti jednotlivých vzorků. K získání těchto výsledků se dospělo po provedení následujících kroků:

1. Výběr plazmové aparatury,
2. výběr modelové plodiny,
3. ošetření modelové plodiny mikrovlnným plazmatem,
4. stanovení klíčivosti vzorků,
5. vyhodnocení výsledků pokusu.

K ošetření mikrovlnným plazmatem generovaným za sníženého tlaku byla využita aparatura dostupná na Katedře zemědělské, dopravní a manipulační techniky, Zemědělské fakulty, Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Jedná se upravenou aparaturu Plasonic AR-550-M, jejíž součásti jsou popsány výše.

Jako modelová plodina byl využit kmín kořenný, odrůdy Prochan, setý s dvouletou vegetační dobou. Odrůda Prochan byla vybrána z důvodu nejpoužívanější odrůdy v České republice, a její charakteristika je uvedena v rešeršní části této práce. Osivo bylo zapůjčeno z podniku František Rouha – výroba a prodej zemědělských produktů.

Před ošetřením vzorků bylo nutné stanovit si základní parametry ošetření. Parametry, které bylo nutno stanovit, jsou následující: a) pracovní tlak, b) případné připouštění plynu nebo plynů, c) procesní čas, d) rychlost míchací vrtule, e) množství ošetřovaného vzorku osiva.

Pracovní tlak ( $L_0$ ) byl s ohledem na povahu plazmatického výboje a možnosti vakuové vývěvy zvolen 50 Pa, horní mezní tlak byl zvolen 200 Pa. Připouštění plynů v průběhu procesu ošetření v rámci experimentů nebylo uvažováno z finančních důvodů. Řada procesních časů byla zvolena v rozpětí od 1 minuty až do 10 minut následovně:  $t_1 = 1 \text{ min}$ ;  $t_2 = 3 \text{ min}$ ;  $t_3 = 4 \text{ min}$ ;  $t_4 = 5 \text{ min}$ ;  $t_5 = 10 \text{ min}$ . Kategorii byla také kontrola, se kterou se porovnávaly výsledky klíčivosti. Rychlost míchací vrtule byla zvolena z důvodu homogenity ošetření  $n = 1 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$ . Před vložením osiva do míchací nádoby byla nádoba vždy důkladně očištěna a zbavena všech semen z minulého ošetření. V případě potřeby lze demontovat míchací zařízení, vyčistit a opět sestavit dohromady. Pro jednotlivé parametry ošetření bylo navááno vždy

150 g osiva. Každá varianta ošetření byla v aparatuře 3× zopakována. Po ošetření byly vzorky uchovány v označených papírových sáčcích.

Ošetřené osivo později prošlo testem klíčivosti se třemi opakování pro každý vzorek. K těmto testům bylo využito standardní laboratorní klíčidlo. Všechna opakování proběhla za stejných laboratorních podmínek (teplota a vlhkost). Potřebná vlhkost byla zajištěna rozložením semen na savý papír položený na rovné podložce a jeho konce byly umístěné ve vodě, kdy za pomoci vztlínání byla voda distribuována k semenům osiva. Semena určená pro test klíčivosti byla náhodně vybrána ze sáčku v počtu 100 semen a následně vyskládána do plochy čtverce nebo obdélníku o počtu 10×10 semen. Vyskládané osivo bylo zapotřebí vhodně označit, aby nedošlo k záměně vzorků. Tento postup byl aplikován opakovaně na všechny vzorky.

U vyskládaného osiva byl pozorován průběh klíčení a počet klíčivých semen. Informace získané pozorováním byly zaznamenány, aby později bylo možné vyhodnotit a porovnat vývoj klíčivosti jednotlivých vzorků. Pozorování probíhalo po dobu 14 dnů.

Všechny získané informace byly vyhodnoceny a podle nich byly stanoveny optimální parametry ošetření kmínu kořenného mikrovlnným plazmovým výbojem.

### 4.3 Výsledky měření

*Tabulka 3: Klíčivost semen po 5. dni na klíčidlech*

Den	5					
Čas ošetření [min]	CTR	1	3	4	5	10
Klíčivost opak. 1 [%]	9	1	7	6	4	1
Klíčivost opak. 2 [%]	7	0	6	6	3	0
Klíčivost opak. 3 [%]	11	2	8	7	5	1
<b>Průměr [%]</b>	<b>9,00</b>	<b>1,00</b>	<b>7,00</b>	<b>6,33</b>	<b>4,00</b>	<b>0,66</b>

Semena byla vyskládána do klíčidla a byla pozorována. Po pěti dnech se objevila první klíčivá semena (viz tabulka 3). Nejrychleji klíčila semena neošetřená, naopak nejpomaleji klíčila semena ošetřovaná po dobu 10 minut.



Tabulka 4: Klíčivost semen po 6. dni na klíčidlech

Den	6					
Čas ošetření [min]	CTR	1	3	4	5	10
Klíčivost opak. 1 [%]	37	9	39	22	21	18
Klíčivost opak. 2 [%]	34	8	35	20	19	16
Klíčivost opak. 3 [%]	38	10	38	22	22	18
<b>Průměr [%]</b>	<b>36,33</b>	<b>9,00</b>	<b>37,33</b>	<b>21,33</b>	<b>20,67</b>	<b>17,33</b>

Během šestého dne bylo možné pozorovat poměrně velký nárůst počtu klíčivých semen v každém pozorovaném vzorku (viz tabulka 4). Nejvíce klíčivých semen v tento den vykazovala semena ošetřovaná po dobu 3 minut. Nejméně pak semena ošetřovaná 1 minutu.

Tabulka 5: Klíčivost semen po 7. dni na klíčidlech

Den	7					
Čas ošetření [min]	CTR	1	3	4	5	10
Klíčivost opak. 1 [%]	53	21	57	39	45	32
Klíčivost opak. 2 [%]	50	20	54	36	42	30
Klíčivost opak. 3 [%]	55	22	58	40	46	33
<b>Průměr [%]</b>	<b>52,67</b>	<b>21,00</b>	<b>56,33</b>	<b>38,33</b>	<b>44,33</b>	<b>31,67</b>

Sedmý den kromě vyššího počtu klíčivých semen nepřinesl žádné dramatické změny. Dva z pozorovaných vzorků překročily hodnotu 50 %.

Tabulka 6: Klíčivost semen po 8. dnu na klíčidlech

Den	8					
Čas ošetření [min]	CTR	1	3	4	5	10
Klíčivost opak. 1 [%]	65	47	67	55	63	52
Klíčivost opak. 2 [%]	63	45	63	52	59	50
Klíčivost opak. 3 [%]	66	48	67	56	65	53
<b>Průměr [%]</b>	<b>64,67</b>	<b>46,67</b>	<b>65,67</b>	<b>54,33</b>	<b>62,33</b>	<b>51,67</b>

Osmý den přinesl 50 % klíčivost téměř u všech vzorků s výjimkou vzorku, který byl ošetřován pouze 1 minutu. Nejvíce semen, která klíčila, vykazoval vzorek ošetřovaný po dobu 3 minut.

Tabulka 7: Klíčivost semen po 9. dni na klíčidlech

Den	9					
Čas ošetření [min]	CTR	1	3	4	5	10
Klíčivost opak. 1 [%]	67	62	68	61	65	61
Klíčivost opak. 2 [%]	65	60	66	59	64	59
Klíčivost opak. 3 [%]	68	63	68	60	66	62
<b>Průměr [%]</b>	<b>66,67</b>	<b>61,67</b>	<b>67,33</b>	<b>60,00</b>	<b>65,00</b>	<b>60,67</b>

Postupem času se progrese nárůstu počtu klíčivých semen zpomalila, dokazuje to i tabulka z devátého dne. Již všechny vzorky dosáhly hodnoty klíčivosti 60 %. Rozdíl mezi jednotlivými vzorky se zmenšoval.

Tabulka 8: Klíčivost semen po 10. dni na klíčidlech

Den	10					
Čas ošetření [min]	CTR	1	3	4	5	10
Klíčivost opak. 1 [%]	67	66	68	61	69	63
Klíčivost opak. 2 [%]	65	65	66	60	67	61
Klíčivost opak. 3 [%]	68	67	68	61	70	64
<b>Průměr [%]</b>	<b>66,67</b>	<b>66,00</b>	<b>67,33</b>	<b>60,67</b>	<b>68,67</b>	<b>62,67</b>

Desátého dne pozorování byl nárůst klíčivých semen v řádech jednotek. Některé hodnoty se od předchozího dne nijak nezměnily, jak je možné vidět v tabulce.

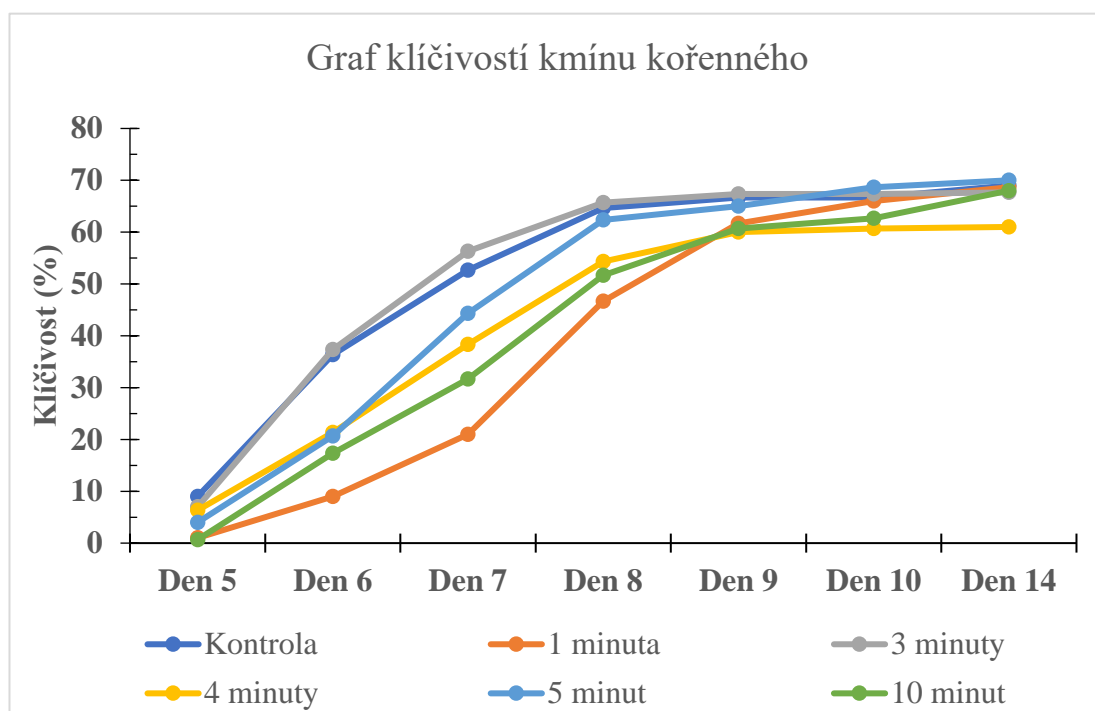
Tabulka 9: Klíčivost semen po 14. dnech na klíčivost

Den	14					
Čas ošetření [min]	CTR	1	3	4	5	10
Klíčivost opak. 1 [%]	69	69	68	61	70	68
Klíčivost opak. 2 [%]	68	68	67	60	69	66
Klíčivost opak. 3 [%]	70	69	68	62	71	70
<b>Průměr [%]</b>	<b>69,00</b>	<b>68,67</b>	<b>67,67</b>	<b>61,00</b>	<b>70,00</b>	<b>68,00</b>

Posledním dnem pozorování byl 14. den. Nejhorších výsledků, tj. 61 %, dosáhl vzorek ošetřovaný po dobu 4 minut, avšak není vyloučeno, že při dalším opakování by vykazoval vyšší hodnoty. Ostatní pozorované vzorky dosáhly hodnot mezi 67 % a 70 % klíčivých semen.

## 5 Diskuse

Cílem této práce bylo zjistit, jakým způsobem reaguje osivo kmínu na ošetření plazmovým výbojem. Ukázalo se, že se klíčivost ani u jednoho z nastavených časů pro ošetření nijak zvlášť neliší od kontrolního vzorku (viz obrázek 18). Tento fakt je pozitivním z hlediska dalšího výzkumu, který by se mohl zabývat například odolností ošetřeného osiva proti plísním, popřípadě by mohl být u semen zkoumán obsah silic. Díky tomuto zjištění je totiž možné pro ošetření využít celou širokou škálu časů nastavitelných pro ošetření. Fakt, že osivo kmínu ošetřované po dobu dvou minut je vůči plísním stejně imunní jako osivo neošetřené, ale po pěti minutách ošetření již budou pozorovány lepší vlastnosti, přičemž klíčivost se nezhorší, je pozitivní.



Obrázek 18: Přehledový graf klíčivosti kmínu kořenného v průběhu experimentu

Je ale také možné, že na prováděný pokus mohlo mít vliv více dalších faktorů. Jedním z nich byl fakt, že se v klícidlech postupem času objevovaly hnědé „mapy“, které mohly mít více původců (viz obrázek). Není jasné, zda byly způsobeny nečistotami na savém papíru nebo plastem, z něhož je klícidlo vyrobeno.



Obrázek 19: Hnědá „mapa“ na savém papíře

Využití plazmových výbojů pro tento úzký sektor v zemědělství dle mého názoru skrývá velký potenciál, jelikož ubývá pesticidů použitelných pro ošetření kmínu na polích. Avšak zjištění pozitivního dopadu na semena kmínu by mohlo snížit potřebu tyto chemické přípravky aplikovat na porost.

## 6 Závěr

Bakalářská práce se zabývala popisem nízkotlaké plazmové aparatury Plasonic AR-550-M a zjištěním vlivu nízkotlakého plazmatického výboje na klíčivost kmínu kořenného v této aparatuře.

V práci se povedlo poměrně přehledně popsat jednotlivé součásti poskytnuté aparatury a vytvořit krátký návod k její obsluze.

Provedenými experimenty bylo zjištěno, že ošetření kmínu plazmovým výbojem nezlepšilo klíčivost semen, avšak ani jí nezhoršilo. Při porovnání jednotlivých vzorků se klíčivostí lišily pouze minimálně a po čtrnácti dnech vykazovaly všechny vzorky klíčivost přibližně 70 %. Pozitivním zjištěním je skutečnost, že ani po desetiminutovém ošetření plazmovým výbojem se počet klíčivých semen nezhoršil.

Toto zjištění je uspokojivé z hlediska možnosti následných experimentů, které by se mohly zaměřit na další vlastnosti kmínu, jako jsou odolnost vůči plísním nebo obsah silic, který je důležitým ukazatelem kvality a velice ovlivňuje výkupní ceny.

## Seznam použité literatury

- Aubrecht, V. (2003). *Technické aplikace plazmatu: Plasma technology : současný stav, trendy vývoje a výuka : teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení v oboru Teoretická elektrotechnika*. Brno: VUTIUM. Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně. ISBN 80-214-2517-2.
- Bartovská, L., Šišková, M., (2005). Úhel smáčení – učební text., [online]., Vydavatelství VŠCHT Praha [cit. 20.4.2018]. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/motor/main.copyright.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/motor/main.copyright.html)
- Bezpečnost potravin A-Z. *Internetový portál bezpečnosti potravin - Informační centrum bezpečnosti potravin* [online]. [cit.12.4.2018] Dostupné z: <http://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/76672.aspx>
- Bhat, R., Rai, R. V., Karim, A. A. (2010) Mykotoxins in Food and Feed: Present status and future concerns. *Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety*, 9: 57-81.
- Bormashenko, E., Grynyov, R., Bormashenko, Y., Drori, E. (2012) Cold radiofrequency plasma treatment modifies wettability and germination speed of plant seeds. *Scientific Report*, 2:741
- Cui, H., Ma, C., Li, C., Lin, L. (2016) Enhancing the antibacterial activity of thyme oil against Salmonella on eggshell by plasma-assisted proces. *Food Control*, 70: 183-190.
- Český kmín - Historie. [online]. Copyright © 2018 ČESKÝ KMÍN. [cit. 11.2.2018]. Dostupné z: <http://www.ceskykmin.cz/cz/historie-p%C4%9Bstov%C3%A1n%C3%AD-kminu>
- Drápala, J., Kurša M. (2012). *Elektrotechnické materiály: [učební text]* [CD-ROM]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2570-0.
- Havelka, Z. *Využití atmosférického plazmového zdroje GA při ošetřování obilovin*. České Budějovice, 2013. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta Pedagogická.
- Helhel, S., Oksuz, L., a Yousefi Rad, A. (2005) Silicone catheter sterilization by microwave plasma; argon and nitrogen discharge. *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 26(11): 1613-1625.

- Hipper, R. et al. (2001) Low temperature plasma physics: fundamental aspects and applications. 1. vydání. Wiley-VCH. ISBN 35-272-8887-2
- Hrabaňová, Š. *Nové trendy v konzervaci potravin*. Lednice, 2016. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Zahradnická fakulta v Lednici.
- Kostelanska, M., Hajslova, J., Zachariasova, M., Malachova, A., Kalachova, K., Poustka, J., Fiala, J., Scott, P. M., Berthiller, F., Krska, R. (2009) Occurrence of deoxynivalenol and its major conjugate, deoxynivalenol-3-glucoside, in beer and some brewing intermediates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 3187-3194.
- Khun, J., Scholtz, V. (2012a) Nízkoteplotní plazma IV – doutnavý výboj. Aldebaran homepage [online]. Copyright © Copyright Aldebaran Group for Astrophysics [cit. 07.05.2018]. ISSN 1214-1674. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012\\_42\\_pla.php](https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_42_pla.php)
- Khun, J., Scholtz, V. (2012b) Nízkoteplotní plazma V – srážky v plazmatu. *Aldebaran homepage* [online]. Copyright © Copyright Aldebaran Group for Astrophysics [cit. 07.04.2018]. ISSN 1214-1674. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012\\_47\\_pla.php](https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_47_pla.php)
- Kracík, J.; et al. (1964) Elektrické výboje, 1. vyd.; SNTL: Praha.
- Kulhánek, P. (2011). *Úvod do teorie plazmatu*. 1. vyd. Praha: AGA. ISBN 978-80-904582-2-2.
- Lee, K. H., kim, H. J., Woo, K. S., Jo, C., Kim, J. K., Kim, S. H., Park, H. Y., Oh, S. K., Kim, W. H. (2016) Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. *LWT – Food Science and Technology*, 73: 442-447.
- Matějček, J. *Plazmová modifikace materiálů pro medicínální účely*. České Budějovice, 2016. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta Pedagogická.
- Moisan, M., Barbeau, J., Moreau, S., Pelletier, J., Tabrizian, M., Yahia, L. (2001) Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiment and an analysis of the inactivation mechanism. *International Journal of Pharmaceutics*. 226: 1-21.
- Navrátil, V. (2011) Doplněk učebnice Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika. In PhDr. Jiřina Novotná, PhD. Moderní trendy ve výuce matematiky a fyziky. 1. vydání Brno: MU Brno, s. 78 - 84, 7 s. ISBN 978-80-210-5652-7

- Novák, V. (1969). Úspěšná produkce kmínu. Praha: Ústav vědeckotechnických informací Československé akademie zemědělské. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do praxe.
- Olšan, P. *Pokročilé oxidační procesy v environmentálních aplikacích*. České Budějovice, 2013. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta Pedagogická.
- Pankaj, S. K., Bueno-Ferrer, C., Misra, N. N., Milosavljević, V., O'Donnell, C. P., Bourke, P., Keener, K. M., Cullen, P. J. (2014) Applications of cold plasma technology in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*, 35: 5-17.
- Pavlousek, J. (1974). Technologie výroby kmínu. Praha: Československá akademie zemědělská.
- Procházka, F. (1980). Agrotechnika kmínu. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do praxe.
- Ragni, L., Berardinelli, A., Vannini, L., Montanari, C., Sirri, F., Guerzoni, M. E., Guarnieri, A. (2010) Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of shell eggs. *Journal of Food engineering*, 100: 125-132.
- Růžičková, G., Kocourková, B. Historie koření – učební texty. [online] [b.r.] [cit. 6.1.2018] Dostupné z: [http://www.pssp.cz/multi\\_dvd/historie-koreni.html](http://www.pssp.cz/multi_dvd/historie-koreni.html).
- Salage, J. (1996) Plasma-Assisted Deposition at Atmospheric Pressure, Surface and Coatings Technology, 80: 1-7
- Scholtz, V. *Optimalizace korónového výboje za atmosférického tlaku pro dekontaminaci povrchů*. Praha, 2007. Disertační práce, České vysoké učení technické v Praze.
- Scholtz, V. (2012) Nízkoteplotná plazma I: Čo je to plazma?. *Aldebaran homepage* [online]. Copyright © Copyright Aldebaran Group for Astrophysics [cit. 12.04.2018]. ISSN 1214-1674. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012\\_22\\_pla.php](https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_22_pla.php)
- Smáčivost materiálu. Slovník pojmů. VašeČočky.cz [online]. Copyright © 2008 [cit. 9.4.2018]. Dostupné z: <https://www.vasecocky.cz/slovník-pojmu/smacivost-materialu.html>
- Steripak s.r.o. Sterilizační obaly. Princip plazmové sterilizace. Steripak s.r.o. Sterilizační obaly [online]. Copyright © 2018 Steripak s.r.o. [cit. 07.04.2018]. Dostupné z: <http://www.steripak.cz/pristroje/princip-plazmove-sterilizace>



- Surfacetreat: Technologie (2017) [online]. Surfacetreat [cit.10.4.2018] Dostupné z: <http://surfacetreat.cz/cs/technologie/>
- Šebek, O. *Využití emisní sondy pro diagnostiku plazmatu*. Praha, 2008. Bakalářská práce, ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Katedra fyziky.
- Technický týdeník, (2014) Plazma – efektivní nástroj pro povrchové úpravy. Technický týdeník [online]. Copyright © Business Media CZ, [cit. 13.04.2018]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/plazma-efektivni-nastroj-pro-povrchove-upravy\\_27718.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/plazma-efektivni-nastroj-pro-povrchove-upravy_27718.html)
- Vlček, J. (2004) Fyzika plazmatu [online]. [cit. 18.3.2018] Dostupné z: [<http://home.zcu.cz/~ptacnik0/res/phd/prednasky.pdf>]
- Využití plazma v technologii, (2013). 1. Díl. 14220.cz. *14220.cz* [online]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/vyuziti-plazma-v-technologie-1-dil>
- Wang, J., Zhuang, H., Hinton, A., Zhang, J. (2016) Influence of in-package cold plasma treatment on microbiological shelf life and appearance of fresh chicken breast fillets. *Food Microbiology*, 60: 142-146.
- Yang, B., Chen, J., Yu, Q., Li, H., Lin, M., Mustapha, A., Hong, L., Wang, Y. (2011) Oral bacterial deactivation using a low temperature atmospheric argon plasma brush. *Journal of Dentistry*, 39: 48-56.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Zobrazení doutnavého výboje ve výbojové trubici .....	17
Obrázek 2: Korónový výboj (wikipedia.com) .....	17
Obrázek 3: Dielektrický bariérový výboj.....	18
Obrázek 4: Schéma vývoje GA výboje.....	19
Obrázek 5: Mikrovlnný výboj .....	19
Obrázek 6: Řezání materiálu za pomoci plazmového svazku.....	20
Obrázek 7: Depozice tenkých vrstev za pomoci plazmatu .....	21
Obrázek 8: Povrch neupraveného materiálu .....	22
Obrázek 9: Povrch plazmaticky ošetřeného materiálu.....	22
Obrázek 10: Kontaktní úhel kapky .....	22
Obrázek 11: Nízkotlaká plazmová aparatura Plasonic AR-550-M.....	26
Obrázek 12: Vakuový recipient aparatury s míchacím zařízením .....	27
Obrázek 13: Modul s řídicím počítačem .....	28
Obrázek 14: Display řídicího počítače .....	28
Obrázek 15: Modul pro kontrolu procesu ošetření .....	29
Obrázek 16: Plazmový zdroj .....	29
Obrázek 17: Display řídicího počítače po dokončení ošetření.....	30
Obrázek 18: Přehledový graf klíčivosti kmínu kořenného v průběhu experimentu ..	35
Obrázek 19: Hnědá „mapa“ na savém papíře .....	36

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Růst a vývoj kmínu .....	12
Tabulka 2: Rozdělení plazmatu podle teploty částic.....	14
Tabulka 3: Klíčivost semen po 5. dni na klíčidlech .....	32
Tabulka 4: Klíčivost semen po 6. dni na klíčidlech .....	33
Tabulka 5: Klíčivost semen po 7. dni na klíčidlech .....	33
Tabulka 6: Klíčivost semen po 8. dnu na klíčidlech .....	33
Tabulka 7: Klíčivost semen po 9. dni na klíčidlech .....	34
Tabulka 8: Klíčivost semen po 10. dni na klíčidlech .....	34
Tabulka 9: Klíčivost semen po 14. dnech na klíčivost.....	34