



Zemědělská  
fakulta  
Faculty  
of Agriculture

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

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

**DIZERTAČNÍ PRÁCE**

Vývoj duální technologie pro ošetření osiva řepky ozimé  
a ječmene jarního

Mgr. Pavel Olšan

České Budějovice  
2019

**Školitel:** doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zemědělská fakulta  
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

**Školitel specialista:** RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta  
Katedra aplikované fyziky a techniky

**Školitel specialista:** Ing. Andrea Bohatá, Ph.D.  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zemědělská fakulta  
Katedra genetiky a speciální produkce rostlinné

**Práce vznikla za podpory projektů:**  
TAČR TA04021252,  
TAČR TE02000177,  
OP PIK CZ.01.1.02/0.0/0.0/17\_102/0011495,  
GAJU 102/2013/S.

Na tomto místě chci poděkovat mému školiteli,  
**doc. RNDr. Petru Bartošovi, Ph.D.,**  
za trpělivost, vstřícnost, přátelský přístup a velký počet rad, postřehů a myšlenek, díky  
kterým tato práce mohla vzniknout.

Dále bych rád poděkoval školitelům specialistům, panu *RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D.*  
a paní *Ing. Andree Bohaté, Ph.D.*, kteří pomohli svými cennými radami ke vzniku této  
práce. Moje poděkování také patří firmě SurfaceTreat, a.s., která poskytla prostory  
a vybavení při experimentech.

Můj velký dík patří celé mé rodině, za podporu a vstřícnost, kterou mi věnovali po celou  
dobu studia.

## **Prohlášení**

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

.....

Mgr. Pavel Olšan

# Abstrakt

*Název práce:*

## **Vývoj duální technologie pro ošetření osiva řepky ozimé a ječmene jarního**

*Abstrakt:* Dizertační práce se zabývá problematikou využití nízkoteplotního plazmatu a biologického ošetření osiva řepky ozimé a ječmene jarního jako alternativního postupu k chemickému moření, a to v návaznosti na vyhlášku o integrované ochraně rostlin 205/2012 Sb.

Technologie ošetření osiva je koncipována jako dvoufázová, kdy v prvním kroku je využito nízkoteplotního plazmového výboje typu Gliding Arc zapáleného ve vzduchu za atmosférického tlaku, v druhém kroku je následně na ošetřené osivo nanesen biologický preparát obsahující spory hub *Trichoderma virens*. Ošetření plazmovým výbojem umožňuje zvýšit smáčivost povrchu semene, což zlepšuje přilnavost biologického preparátu v druhém kroku ošetření. Plazma zároveň umožňuje aktivovat vybrané procesy probíhající v semenech, které podporují jejich klíčivost a následný růst.

Obsah dizertační práce je členěn do čtyřech dílčích celků, které na sebe vzájemně navazují:

1. stanovení parametrů plazmového výboje pro následné aplikace v navrhované technologii,
2. realizace laboratorních experimentů s cílem posoudit vliv plazmatu na osivo,
3. realizace polních experimentů s cílem porovnat výnosy z porostů založených pro různé varianty ošetření osiva,
4. návrh nařízení pro ošetření semen v kontinuálním režimu plazmovým výbojem s následným nanesením preparátu a výroba funkčního vzorku.

Práce je svým zaměřením výrazně mezioborová a zasahuje do oblasti fyziky plazmatu, chemie, rostlinné produkce a konstrukce technických zařízení.

Z dosažených výsledků je možno uvést krátký souhrn:

1. Ošetření osiva řepky ozimé a ječmene jarního plazmovým výbojem vede ke zvýšení smáčivosti povrchu semen.
2. Během experimentů nebyl pozorován rozdíl v nasákavosti plazmatem ošetřených a neošetřených semen.
3. Vyvinutá duální technologie ošetření semen má potenciál zvýšit výnos.

Dizertační práce byla realizována v rámci projektu TA04021252 – „Vývoj zařízení pro fyzikálního ošetření semen a sladu pomocí nízkoteplotního plazmatu.“

*Klíčová slova:* plazma; biologická ochrana; klíčivost; smáčivost; výnos; řepka; ječmen

# Abstract

*Title:*

## **Development of dual technology for the treatment of winter rape and spring barley seeds**

*Abstract:* The dissertation thesis deals with the use of low-temperature plasma and biological treatment of winter rape seed and spring barley as an alternative to chemical dressing in relation to the Decree on Integrated Pest Management 205/2012 Coll.

The seed treatment technology is conceived as a two-phase process, where a low-temperature plasma discharge of the Gliding Arc type ignited in the air at atmospheric pressure is used in the first step and a biological preparation containing spores of *Trichoderma virens* is applied to the treated seed as the second step.

The plasma discharge treatment allows to increase the wettability of the seed surface, which improves the adhesion of the biological preparation in the second treatment step. Plasma also enables to activate selected processes taking place in seeds, which support their germination and subsequent growth.

The content of the dissertation is divided into four sub-units which are mutually related:

1. determination of plasma discharge parameters for subsequent applications in the proposed technology,
2. carrying out laboratory experiments to assess the effect of plasma on seed,
3. carrying out field experiments to compare crop yields for different seed treatment options,
4. proposal for a regulation for seed treatment in a continuous mode by plasma discharge followed by application of the preparation and production of a functional sample.

The work is markedly interdisciplinary and intervenes in the field of plasma physics, chemistry, plant production and construction of technical equipment. From the results achieved we can give a short summary:

1. Plasma discharge treatment of winter rape and barley seeds results in increased surface wettability.
2. No difference in the absorption of plasma treated and untreated seeds was observed during the experiments.
3. Developed dual seed treatment technology has the potential to increase yield.

The dissertation thesis was realized within the project TA04021252 – "Development of equipment for physical treatment of seeds and malt using low-temperature plasma."

*Keywords:* plasma; biological protection; germination; wettability; yield; rape; barley

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>1 Rešerše literatury</b>	<b>11</b>
1.1 Nízkoteplotní plazma . . . . .	11
1.1.1 Vznik plazmatu a interakce s povrchem těles . . . . .	12
1.1.2 Dělení plazmových výbojů . . . . .	16
1.1.3 Atmosférický výboj typu Gliding Arc . . . . .	17
1.1.4 Mikrovlnný výboj za sníženého tlaku . . . . .	19
1.2 Vliv plazmového výboje na dekontaminaci semen . . . . .	21
1.3 Vliv plazmového výboje na klíčivost semen . . . . .	22
1.4 Vliv plazmového výboje na smáčivost a nasákavost semen . . . . .	24
1.5 Ochrana semen biologickými preparáty . . . . .	25
1.5.1 Bio-ochrana ve formě hub . . . . .	26
1.5.2 Mykoparazitické houby . . . . .	26
1.5.3 Entomopatogenní houby . . . . .	27
<b>2 Cíle a metodika práce</b>	<b>29</b>
<b>3 Materiál a metodika měření</b>	<b>31</b>
3.1 Plazmové aparatury . . . . .	31
3.1.1 Nízkotlaká mikrovlnná aparatura . . . . .	31
3.1.2 Aparatura pro generování výboje typu Gliding Arc . . . . .	35
3.2 Příprava vzorků . . . . .	40
3.2.1 Semena použitá pro experimenty . . . . .	41
3.2.2 Metodika pro ošetření vzorků pomocí plazmového výboje . . . . .	41
3.2.3 Metodika pro ošetření semen pomocí biologického preparátu . . . . .	43
3.3 Metodiky měření a experimentů realizovaných v laboratorních podmínkách	45
3.3.1 Distribuce teplotního pole v okolí plazmového výboje typu Gliding Arc . . . . .	46
3.3.2 Metodika měření teploty mikrovlnného výboje . . . . .	47
3.3.3 Měření optických spekter . . . . .	47
3.3.4 Měření příkonu a výkonu plazmového výboje typu Gliding Arc . . . . .	48
3.3.5 Měření příkonu a výkonu mikrovlnného výboje . . . . .	49
3.3.6 Stanovení klíčivosti semen . . . . .	49
3.3.7 Stanovení smáčivosti povrchu semen . . . . .	50
3.3.8 Stanovení nasákavosti semen . . . . .	51
3.4 Metodika polních experimentů . . . . .	52

3.4.1	Polní experimenty – řepka ozimá . . . . .	54
3.4.2	Polní experimenty – ječmen jarní . . . . .	56
<b>4</b>	<b>Výsledky a diskuse</b>	<b>58</b>
4.1	Charakterizace výboje . . . . .	58
4.1.1	Teplota pracovního plynu ve výbojovém kanále Gliding Arc . . . . .	58
4.1.2	Teplota mikrovlnného výboje . . . . .	60
4.1.3	Stanovení optických spekter plazmového výboje . . . . .	61
4.1.4	Příkon a výkon plazmového výboje typu Gliding Arc . . . . .	62
4.1.5	Příkon a výkon mikrovlnného výboje . . . . .	64
4.2	Výsledky laboratorních experimentů a měření . . . . .	65
4.2.1	Vliv plazmatu na klíčivost semen řepky a ječmene . . . . .	65
4.2.2	Vliv plazmového výboje na smáčivost povrchu semen . . . . .	67
4.2.3	Vliv plazmatu na nasákavost semen . . . . .	69
4.3	Polní experimenty . . . . .	71
4.3.1	Polní experimenty se semeny řepky ozimé . . . . .	71
4.3.2	Polní experimenty se semeny ječmene jarního . . . . .	74
<b>5</b>	<b>Zařízení pro poloautomatické ošetření semen</b>	<b>76</b>
5.1	Systém pro fyzikální ošetření semen . . . . .	77
5.1.1	Šnekový dopravník . . . . .	77
5.1.2	Pásový dopravník . . . . .	79
5.2	Zařízení pro ošetření semen v biopreparátu . . . . .	82
5.2.1	Šroubový dopravník . . . . .	82
5.2.2	Motor s převodovkou . . . . .	85
5.2.3	Přechodový díl . . . . .	86
5.3	Procesní parametry . . . . .	88
	<b>Závěr</b>	<b>90</b>
	<b>Seznam použitých zdrojů</b>	<b>92</b>
	<b>Seznam zkratk</b>	<b>104</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>105</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>106</b>
	<b>Seznam vlastních publikovaných prací</b>	<b>108</b>



---

# Úvod

Kvalitní osivo představuje důležitý prvek při zakládání porostů hospodářských plodin a významně ovlivňuje výnos a potažmo tak určuje tržní hodnotu osiva. Osivo musí být před vysetím chráněno vhodným způsobem proti patogenním organismům, které mohou snížit klíčivost semen a ohrozit zdravotní stav rostlin. Proto je nutné v rámci pěstitelské technologie aplikovat adekvátně vhodnou ochranu (Callan et al., 1990). Současný trend v ochraně zemědělských komodit využívá převážně chemických přípravků – pesticidů, fungicidů a herbicidů. Pesticidy byly po mnoho desetiletí využívány farmáři k potlačení hospodářsky významných škůdců a rostlinných patogenů, ale jejich negativní účinky na necílové organismy a jejich obecně negativní dopad na životní prostředí donutily vědce zaměřit se na vývoj alternativních metod k regulaci chorob a škůdců (Rebek et al., 2012).

V současnosti se uplatňuje směrnice Integrované ochrany rostlin, která cílí na poskytnutí účinné ochrany v podobě alternativního ošetření semen proti škodlivým mikroorganismům (Vyhláška č. 205/2012 Sb., 2012). Tato směrnice preferuje biologické, fyzikální a jiné nechemické metody ošetření před chemickými metodami ošetření semen.

Aktuální studie v oblasti ochrany rostlin stále častěji uvádějí aplikaci plazmového výboje jako ekologicky příznivější fyzikální alternativu k chemickému ošetření. V počátku vzniku této práce bylo v odborné literatuře publikováno pouze několik prací zaměřujících se na problematiku ošetření zemědělských plodin, resp. semen, pomocí nízkoteplotního plazmatu. V některých z nich bylo prokázáno, že vysoce reaktivní částice generované výbojem eliminují bakterie a nežádoucí houby přítomné na povrchu semen (Selcuk et al., 2008; Vleugels et al., 2005). Zároveň byly publikovány výsledky, které poukazyvaly na pozitivní vliv plazmatu na biologickou aktivitu ošetřených semen (Basaran et al., 2008; Carvalho et al., 2005).

Plazma modifikuje také povrchové vlastnosti semene (Bormashenko et al., 2012), což může vést k lepší adhezi biologické ochrany na povrchu semene nebo ke zlepšení příjmu vody semenem (Zahoranová et al., 2016). Souhrnný přehled účinků plazmatu na semena podává ve svém článku Randeniya a De Groot (2015). S ohledem na některé odborné studie je možné očekávat, že při vhodné volbě procesních parametrů bude mít ošetření plazmatem i přidanou hodnotu, která se projeví například vyšším výnosem (Zhou et al., 2011).

Biologické moření osiva využívající entomopatogenních a mykoparazitických hub může nejen ochránit semena proti půdním škůdcům a patogenům a zejména mykoparazitické houby rodu *Trichoderma* mají i pozitivní vliv na vývoj rostlin (Junges et al., 2016; Tančić et al., 2013).

Cílem této dizertační práce je posoudit možnost propojení těchto dvou přístupů do jednoho technologického postupu, který by mohl být ekologickou alternativou k chemickému moření osiv. Ošetření povrchu semen pomocí plazmového výboje totiž může změnit jeho

povrchové vlastnosti tak, že zvýší přilnavost biologické suspenze na povrchu semen. Aktivace semen pomocí plazmového výboje zároveň může vést k zvýšení jeho biologické hodnoty, což se může v konečném důsledku ekonomicky projevit zvýšením výnosu.

Práce navazuje na prvotní výzkum realizovaný na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích, ve kterém byl studován vliv plazmového ošetření merlíku (*Chenopodium album* L.) na klíčivost a životaschopnost jeho semen (Šerá et al., 2009; Šerá et al., 2008).

Realizace těchto výzkumných aktivit byla umožněna mimo jiné díky podpoře Grantové agentury Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, projekt 094/2016/Z – „Optimalizace produkčních funkcí a environmentálních dopadů zemědělství.“

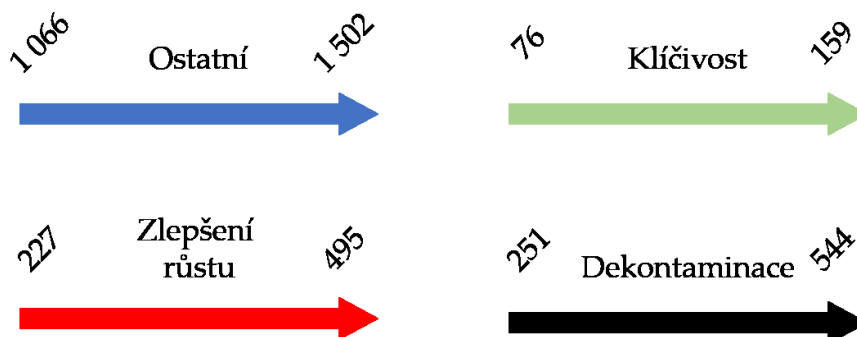
Většina výsledků pak byla dosažena v rámci projektu TAČR TA04021252 – „Vývoj zařízení pro fyzikálního ošetření semen a sladu pomocí nízkoteplotního plazmatu,“ který byl financován Technologickou agenturou České republiky a který byl řešen na Zemědělské fakultě Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích v letech 2014 až 2017. Řešitelský tým v jeho rámci vyvinul technologii pro duální fyzikálně-biologické ošetření osiv vybraných hospodářských plodin, která byla následně uplatněna v praxi.

---

# Kapitola 1

## Rešerše literatury

Realizovaný výzkum lze charakterizovat jako výrazně mezioborový s přesahem do oblasti fyziky plazmatu, fyziologie rostlin, mikrobiologie a návrhu a konstrukce technických zařízení. Rešerše literatury je rozdělena do pěti separátních oblastí pokrývajících předmětnou problematiku tak, aby se v ní čtenář snáze orientoval. Vzhledem k dnes již značnému počtu publikací v uvedených oborech jsou v rešerši zmíněny jen ty nejvýznamnější práce úzce související s tématem dizertace. Rostoucí počet publikací vztažených k problematice využití plazmatu v zemědělství v letech 2010–2016 je zřejmý z obrázku 1.1. V uvedeném období se počet publikací téměř zdvojnásobil.

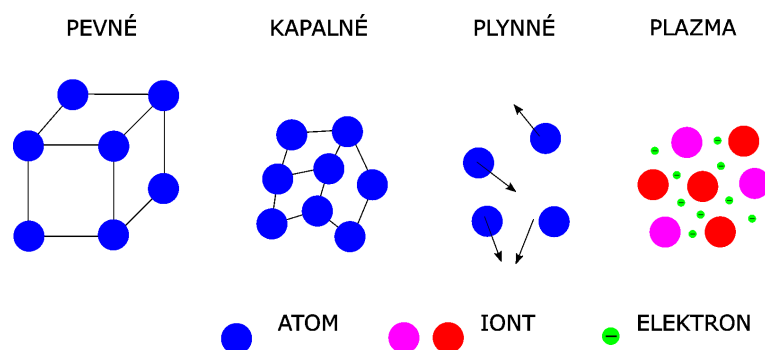


Obrázek 1.1: Vývoj počtu publikací v letech 2010–2016

### 1.1 Nízkoteplotní plazma

Hmota se na Zemi vyskytuje ve čtyřech základních skupenstvích a to ve skupenství pevném, kapalném, plynném a ve formě plazmatu (obrázek 1.2). Plazma je zpravidla označováno jako čtvrté skupenství hmoty, se kterým je možné se potkat v podobě plamene, obloukového výboje, blesku nebo např. v zářivkách či televizorech. Ačkoliv se s plazmatem v pozemských podmínkách setkáváme spíše výjimečně, z pohledu celého vesmíru představuje plazma více než 99 % veškeré hmoty. Plazma tvoří nitra hvězd, jako je naše Slunce nebo sluneční vítr (Schmiedt, 2006).

Plazmatem je označován plyn o různém stupni ionizace tvořený především elektricky nabitými částicemi (elektrony a ionty), neutrálními částicemi, částicemi v excitovaných

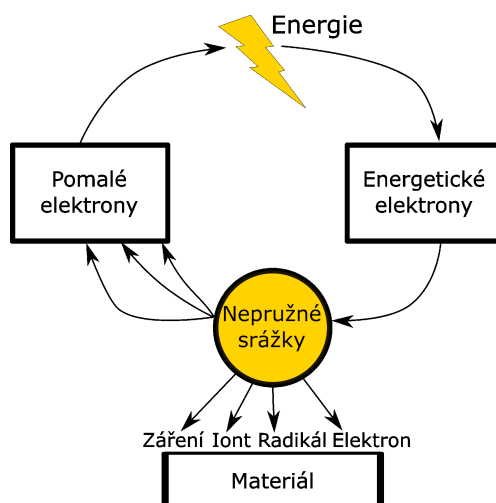


Obrázek 1.2: Různá skupenství hmoty

stavech a volnými radikály. V makroskopickém objemu plazmatu se musí nacházet přibližně stejné množství záporných a kladných nábojů tak, aby jako celek bylo elektricky neutrální, tzv. kvazineutrální (Chen, 1984; Smolka, 2011). Zároveň však plazma musí vykazovat kolektivní chování a mít dostatečný počet volných nosičů elektrického náboje (Kulhánek, 2011). Ne každý ionizovaný plyn je tak možno nazývat plazmatem. Mezi základní veličiny, které používáme k popisu plazmatu, patří stupeň ionizace plazmatu, teplota, koncentrace elektricky nabitých částic, hustota plynu, distribuční funkce energie jednotlivých částic nebo plazmová frekvence (Smolka, 2011).

### 1.1.1 Vznik plazmatu a interakce s povrchem těles

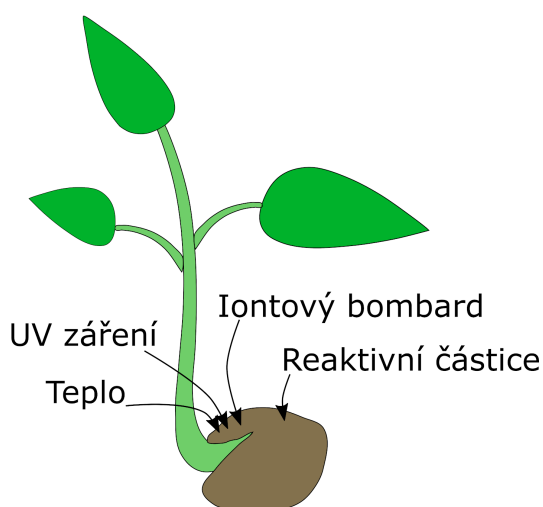
Plazma vzniká při dodání dostatečného množství energie látce, která je zpravidla v plynném skupenství (obrázek 1.3). Ke generování plazmatu se nejčastěji využívá elektromagnetického pole a velice zjednodušeně je ho možno popsat následujícím způsobem. Lehké elektrony jsou urychlovány elektrickým polem a tím dochází ke zvyšování jejich kinetické energie. Urychlené elektrony naráží na ostatní částice v plynu a dochází ke vzniku nových iontů, částic v excitovaném stavu a také nových elektronů. Nové elektrony jsou opět elektrickým polem urychleny a celý proces se takto opakuje. Počet elektricky nabitých částic v plynu postupně roste a dochází ke vzniku plazmatu.



Obrázek 1.3: Princip generování plazmatu

Interakce plazmatu s povrchy pevných těles je založena na čtyřech klíčových mechanis-  
mech (obrázek 1.4):

- a. působení reaktivních částic na povrchu těles,
- b. vliv UV záření,
- c. vliv tepla,
- d. iontový bombard.



Obrázek 1.4: Působení plazmatu na povrch těles

#### a) působení reaktivních částic na povrchu těles

V této dizertační práci byly použity dva typy plazmového výboje, které využívají jako pracovní plyn vzduch. Při srážkách velmi rychlých elektronů s jinými částicemi ve vzduchu mohou vznikat ionty, které mohou následně vstupovat do chemických reakcí s povrchem ošetřovaného materiálu. Tyto ionty, označované jako reaktivní částice, mohou být tvořeny jako – volné radikály, disociované molekuly, reaktivní kyslík, atomární kyslík ( $O$ ), ozón ( $O_3$ ), různé sloučeniny dusíku ( $N$ ,  $N_2$ ,  $NO_2$ ) hydroxylové radikály ( $OH\bullet$ ), ionty kyslíku, dusíku, elektrony a jiné částice (Bušler et al., 2015).

Koncentrace a charakter těchto reaktivních částic je ovlivněna složením pracovního plynu i zařízením, které je ke generování plazmatu použito. Změna složení pracovního plynu umožňuje upravit parametry plazmového výboje, který lze využít v různých technických aplikacích, jako je například modifikace povrchových struktur (Penkov et al., 2015) nebo chemické úpravy práškových materiálů (Špatenka et al., 1999). Dále je možné využít výboj pro syntézu biologicky významných nanomateriálů nebo s použitím nanomateriálů pro různé druhy biomedicínských aplikací pro zlepšení lidského zdraví (Kaushik et al., 2019; Kim et al., 2013).

### **b) vliv UV záření**

Kromě reaktivních částic se pro účely technických a biomedicínských aplikací uplatňuje mechanismus působení UV záření. UV záření je elektromagnetické záření v rozmezí vlnových délek od 10 do 400 nm. Podle vlnové délky lze záření dále dělit na:

- UVA 315–400 nm – obvykle neškodné,
- UVB 280–315 nm – způsobuje akutní a chronické poškození kůže,
- UVC 280–100 nm – je součástí slunečního záření, bývá pohlceno ozónovou vrstvou a na zemský povrch nedopadá.

Plazmový výboj je doprovázen vyzařováním fotonů v UVA a UVB části spektra (Laroussi a Leipold, 2004; Scholtz et al., 2015). Výhodou přítomnosti UV záření jsou jeho sterilizační účinky (Fridman et al., 2008; Moisan et al., 2002; Stapelmann et al., 2008).

### **c, d) teplo a iontový bombard**

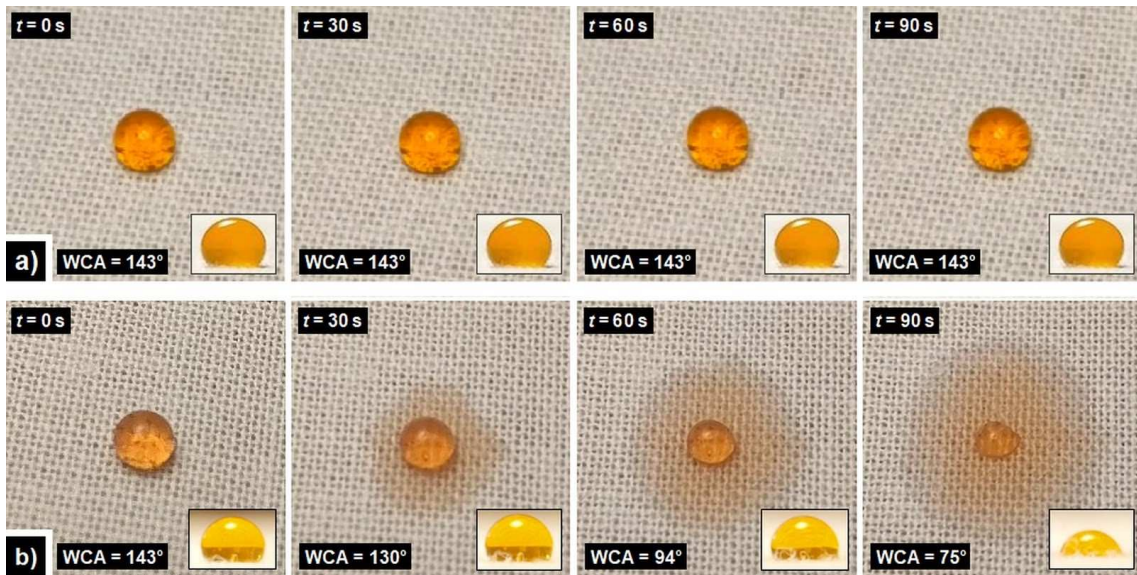
Plazmový výboj je zdrojem tepla a také toku elektricky nabitých částic (Bermudez-Aguirre et al., 2013). Intenzita těchto činitelů je podstatně závislá na řadě proměnných. Důležitou roli hraje zařízení použité ke generování plazmatu, druh generovaného výboje, složení pracovního plynu, pracovní tlak atp. Chemické reakce, které probíhají v nerovnovázném stavu plazmového výboje, mají ve většině případů rozdílný odlišný průběhu oproti reakcím v kapalinách nebo plynech. Synergie iontů a reaktivních částic společně s následnými mechanismy, které doprovázejí plazmový výboj, hraje důležitou roli v efektivitě a účinnosti procesů zaměřených například na dekontaminaci bakterií a chorob (von Keudell a Corbella, 2017).

Parametry plazmatu jsou značně variabilní a je možné je upravit změnou následujících parametrů (Bogaerts et al., 2002):

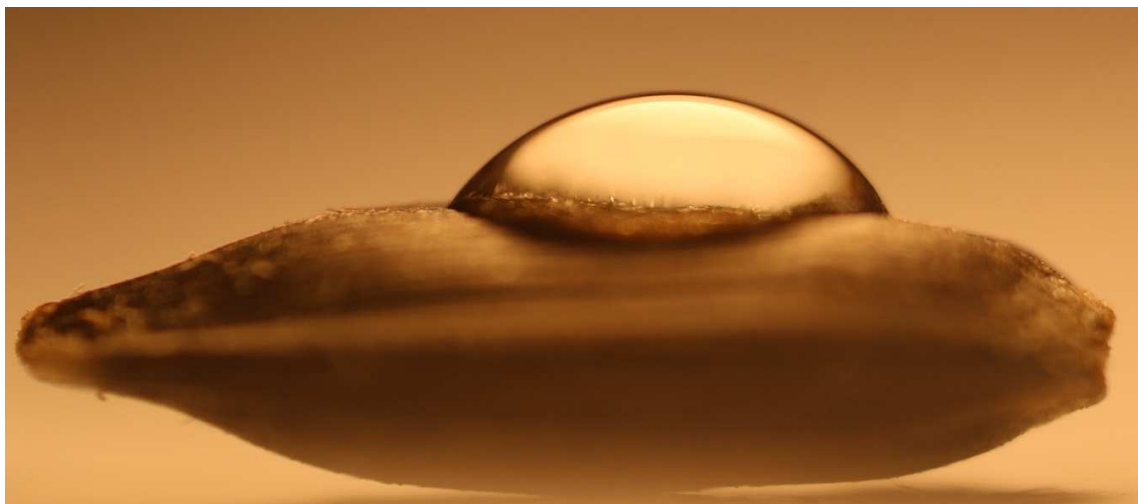
- složení pracovního plynu a jeho příměsi,
- tlak, při kterém je plazma generováno – v rozmezí 0,1 Pa až násobky atmosférického tlaku,
- charakter elektromagnetického pole – možnost urychlení částic vlivem externího elektromagnetického pole,
- parametry systému a výboje – počet, tvar a materiál použitých elektrod, průtok pracovního plynu, výkon a šířka pulsu v případě mikrovlnného výboje.

Plazmové výboje jsou v dnešní době široce využívány v mnoha odvětvích průmyslu v procesech, jako je např. sterilizace povrchů (Leipold et al., 2010; Scholtz et al., 2015), biomedicínské aplikace (Yang et al., 2011), dekontaminace předmětů v uzavřených kontejnerech (Leipold et al., 2011), deaktivace bakterií (Yun et al., 2010) a odstraňování kontaminantů z vody (Kříž et al., 2014; Laroussi et al., 2002). Plazmatu je možné využít ke zvyšování nebo snižování povrchové energie. Tato schopnost plazmového výboje byla studována v pracích např. Ochi et al. (2016), Barni et al. (2005) nebo Janča et al. (2001). Ochi využil plazmatu ke změně hodnot povrchové energie polyethylenu a polypropylenu. Barni změnil

smáčivost povrchu polyethyltereftalátu. Janča aktivoval povrch polyesteru při výrobě pneumatik. Černý et al. (2019) využil výboje typu Gliding Arc ke zvýšení hydrofobity celulóзовého materiálu (viz obrázek 1.5). Kromě polymerních materiálů je možné změnit povrchové vlastnosti a smáčivost i u materiálů biologických, a to například semena hospodářských plodin (obrázek 1.6). Plazmatu je také využíváno při depozici tenkých vrstev (PVD) (Bartoš et al., 2009; Yoshida et al., 2013).



Obrázek 1.5: Zvýšení hydrofobity celulózy (Černý et al., 2019)



Obrázek 1.6: Změna povrchového napětí u semen slunečnice

### 1.1.2 Dělení plazmových výbojů

Plazmové výboje lze dělit podle různých hledisek. Nejjednodušší dělení je podle pracovního plynu, ve kterém je plazmový výboj generovaný (obrázek 1.7). Podle tohoto hlediska lze výboje rozdělit na výboje za zvýšeného až atmosférického tlaku a za sníženého tlaku (Roth, 1995). Mezi typické výboje za sníženého tlaku patří stejnosměrný doutnavý výboj (Bishop, 2011), radiofrekvenční výboj (Boeuf, 1987), mikrovlnný výboj (Jin et al., 1991) nebo nízkotlaký obloukový výboj. Typickými příklady atmosférických plazmových výbojů jsou koronový (Pochner et al., 1995), dielektrický bariérový (Eliasson et al., 1994; Kogelschatz, 2003; Wagner et al., 2003), pochodňový, jiskrový, difúzní koplanární bariérový výboj nebo klouzavý oblouk, tzv. Gliding Arc.

Výboje za sníženého tlaku (nižšího, než je atmosférický tlak) jsou vytvářeny zařízeními, které jsou konstrukčně i operativně vysoce sofistikované. Při jejich provozu je potřeba zohlednit mnoho procesních parametrů a nastavení. Navíc vyžadují použití vakuového zařízení, což navyšuje jejich cenu a operativní komplikovanost.

Atmosférické výboje jsou oproti nízkotlakým generovány za atmosférického tlaku. Zařízení využívající tento typ výboje jsou konstrukčně jednodušší a odpadá nutnost vytváření vakua.



Obrázek 1.7: Dělení plazmových výbojů dle tlaku

Pro technologické účely rozlišujeme plazma také dle termodynamické teploty na nízkoteplotní a vysokoteplotní, viz tabulka 1.1 (Kulhánek, 2011).



**Tabulka 1.1:** Rozdělení plazmatu podle termodynamické teploty.  $T_i$ ,  $T_e$  značí teplotu iontů a elektronů

Typ plazmatu	Teplota
Nízkoteplotní plazma	$T_i < 10^5 \text{ K}$ , $T_i \ll T_e$
Vysokoteplotní plazma	$T_i > 10^6 \text{ K}$ , $T_i \approx T_e$

Kromě výše zmíněných dělení lze podle práce Kulhánek (2011) dělit plazma také na:

- bezesrážkové  $\times$  srážkové,
- bez tvorby elektron pozitronových párů  $\times$  s tvorbou párů,
- částečně ionizované  $\times$  úplně ionizované,
- klasické  $\times$  kvantové,
- nerelativistické  $\times$  relativistické,
- rovnovážné  $\times$  nerovnovážné,
- se zamrzlým magnetickým polem  $\times$  s difundujícím polem.

Z hlediska dělení plazmových výbojů je popis jednotlivých typů velice složitý a časově náročný. Složitost dělení a popisu výbojů se dále prohlubuje s vývojem různých systémů, které jsou pro generování plazmatu využívány. Právě značná různorodost systémů využívaných ke generování plazmatu prakticky znemožňuje jejich vzájemné porovnání. V následující části jsou podrobněji popsány dva typy plazmových systémů, které byly využity v dizertační práci.

### 1.1.3 Atmosférický výboj typu Gliding Arc

V rámci experimentů této dizertační práce byl jako jeden ze dvou typů plazmových výbojů použit výboj typu Gliding Arc. Tento typ výboje je generovaný za atmosférického tlaku a vzniká mezi dvěma nebo více elektrodami. Elektrody mají ve většině případů rozbíhající (divergentní) se tvar. Mezi elektrody je přiveden stlačený plyn, který způsobuje „vyfukování“ výboje od místa vzniku mezi elektrodami. Oproti mikrovlnným výbojům se výboj typu Gliding Arc vyznačuje levnějším provozem a jednodušší konstrukcí zařízení. Zároveň se vyznačuje vysokou energetickou účinností (Grossmanová, 2008).

Počátek výboje začíná v nejužším místě mezi elektrodami, které jsou vzdálené (1–2 mm) (obrázek 1.8), kde dochází k zapálení výboje. Vysokonapětový zdroj generuje na elektrodách elektrické napětí, které umožňuje elektrický průraz vzduchu mezi elektrodami. Pro vzduch o atmosférickém tlaku je hodnota průrazného napětí přibližně 3 kV na 1 mm vzduchu (Raizer, 1991). Hodnota potřebného napětí k průrazu vzduchu závisí na mnoha fyzikálních parametrech a je možné ji vypočítat dle vzorce 1.1.

$$V_b = \frac{B(a \cdot b)}{\ln[A(p \cdot d)] - \ln[\ln(1 + 1/\gamma_{se})]}, \quad (1.1)$$

kde

$A, B$  – experimentálně zjištěné konstanty,

$p$  – tlak plynu,

$d$  – vzdálenost mezi elektrodami,

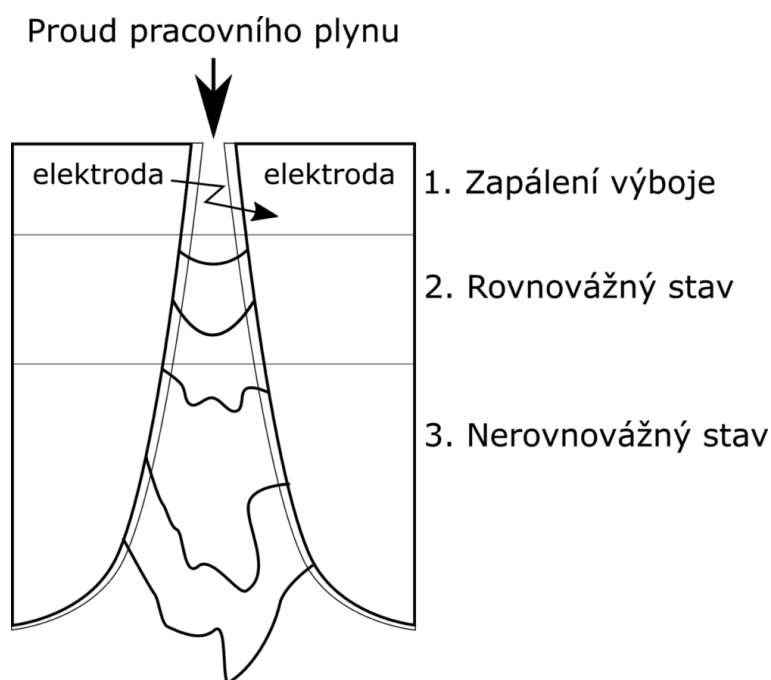
$\gamma_{se}$  – sekundární emise elektronů.

Po průrazu vzduchu se vytvoří stabilní plazmový kanál a výboj přechází do rovnovážného stavu. Proudící plyn posouvá výboj směrem ke konci elektrod rychlostí přibližně  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . V tomto stavu zároveň délka plazmového kanálu roste s elektrickým napětím.

V momentě, kdy délka plazmového kanálu překročí kritickou hodnotu  $l_{crit}$ , tepelné ztráty výboje začnou převyšovat energii dodávanou z vysokonapětového zdroje. Následně dochází k porušení termodynamické rovnováhy a výboj přechází do nerovnovážného stavu. Během tohoto stavu se výboj značně ochlazuje a jeho elektrická vodivost je udržována vysokou teplotou elektronů.

Po nerovnovážném stavu výboj zanikne a následně se znovu celý cyklus opakuje (Brisset et al., 2016; Fridman et al., 1999).

Krishna et al. (2016) uvedl, že tento typ výboje lze využít k odstraňování farmaceutických látek obsažených ve vodě. Černý et al. (2019) pomocí GA výboje zvýšil hydrofobní vlastnosti textilních vláken.



**Obrázek 1.8:** Schématické znázornění jednotlivých fází výboje typu *Gliding Arc*

### 1.1.4 Mikrovlnný výboj za sníženého tlaku

Druhý typ výboje použitý v experimentech této práce byl mikrovlnný výboj generovaný za nízkého tlaku. Výboje tohoto typu jsou spolu s RF označovány jako vysokofrekvenční výboje a jsou snadno použitelné, efektivní a spolehlivé v rámci technických aplikací a vědecko-výzkumných prací. Mikrovlnné výboje jsou elektrické výboje, které jsou generovány působením elektromagnetického pole, které má vyšší frekvenci, než je plazmová frekvence iontů a elektronů. Plazmovou frekvenci lze vypočítat podle vzorce 1.2 (Biederman a Osada, 1992):

$$\omega_{p,e}^2 = \frac{n \cdot q_e^2}{\varepsilon_0 \cdot m_e}, \quad (1.2)$$

kde

$\omega_{p,e}$  – plazmová frekvence,

$n$  – koncentrace daného typu částic,

$q_e$  – náboj elektronu,

$\varepsilon_0$  – permitivita vakua,

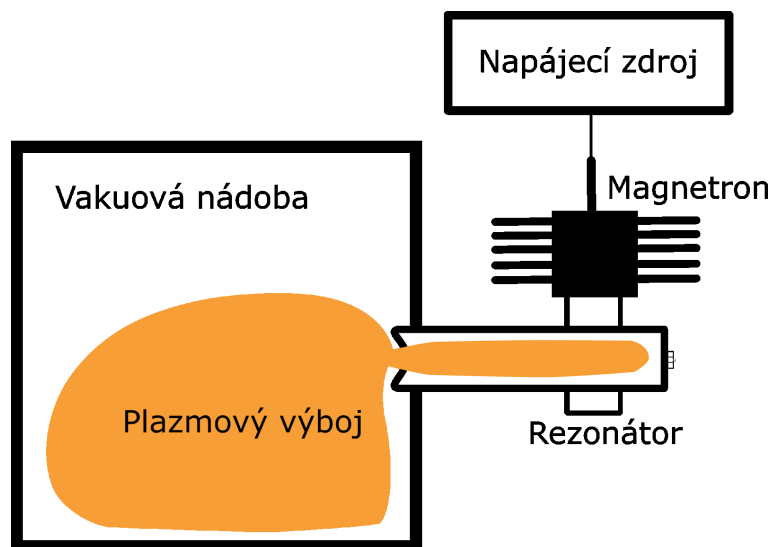
$m_e$  – hmotnost elektronu.

Frekvence využívaná pro generování mikrovlnného výboje zpravidla bývá v rozsahu od 300 MHz do 10 GHz. Naprostá většina mikrovlnných zdrojů pracuje s frekvencí 2,45 GHz, která je vyhrazená pro různé technické aplikace. Vlnová délka mikrovln nabývá hodnot od několika milimetrů až po desítky centimetrů. Vlnová délka musí odpovídat povoleným mikrovlnným frekvencím pro průmyslové, lékařské a vědecké aplikace (Lebedev, 2010).

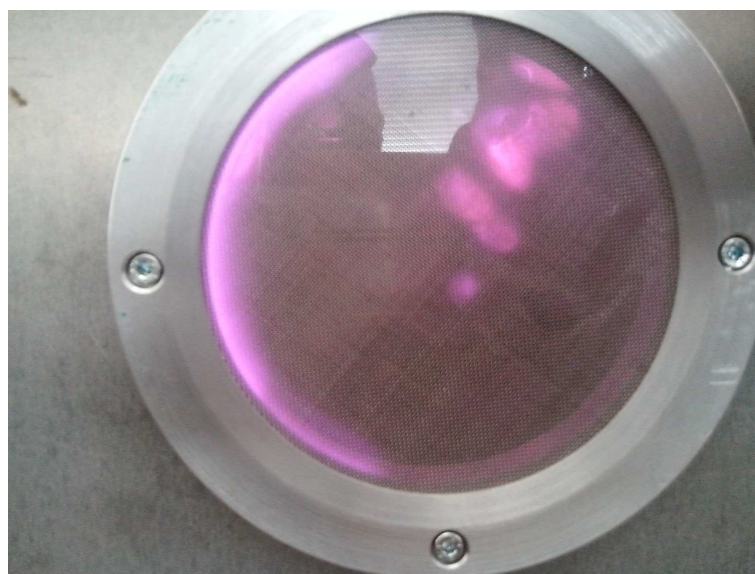
Mikrovlnný výboj může vznikat za široké škály tlaků – od 0,1 Pa až do několika atmosfér. Mikrovlnné zdroje či generátory pracují s výkonem od jednotek W do stovek kW. Mikrovlnný výboj má velice dobrou účinnost přeměny elektrické energie na mikrovlnnou energii, při frekvenci 915 MHz je účinnost přeměny téměř 85 % (Roth, 1995). Mikrovlnné plazma má vysokou koncentraci elektronů s vysokou energií v porovnání s jinými typy nízkotlakých výbojů (Iza et al., 2007; Kwon et al., 2012). Energie elektronů je v rozsahu 5 až 15 eV. Oproti ostatním typům výbojů se mikrovlnný výboj vyznačuje větším objemem a uniformitou plazmatu.

Principiálně jsou tyto systémy řešeny v „downstream“ uspořádání. To znamená, že pohyb aktivních částic je zajištěn prostřednictvím proudícího plynu skrz generovaný výboj. Napájecí zdroj vytváří potřebný proud, který je přiveden na magnetron. Zde dochází k tvorbě elektromagnetického vlnění v oblasti mikrovln. Magnetron je umístěn v rezonátoru, kde vlivem generovaných vln vzniká stojaté vlnění. Vlivem působení mikrovln na částice plynu vzniká plazma. Proudem pracovního plynu je pak přiváděno do vakuového prostoru (obrázek 1.9 a 1.10).

Mikrovlnný výboj může být využit při plazmově chemické depozici tenkých vrstev (Kytzia et al., 2005; Yamada et al., 2007). Výhoda využití MW plazmatu při chemické depozici vrstev spočívá v nízké teplotě při procesu naprašování (Choy, 2003). Dále může být využito plazmatu před vlastní depozicí vrstev za účelem odprašení a čištění ošetřovaného povrchu (Goossens et al., 2001). Využití tohoto typu výboje je možné uplatnit při zplyňování biomasy a následném procesu rozkladu dehtu (Zhou et al., 2017).



Obrázek 1.9: Vznik mikrovlnného plazmatu



Obrázek 1.10: Mikrovlnný výboj

## 1.2 Vliv plazmového výboje na dekontaminaci semen

V poslední době se vede intenzivní aplikovaný výzkum, jehož cílem je využití plazmatu v oblasti biologie rostlin a zemědělství.

Basaran et al. (2008) použil výboj za sníženého tlaku o frekvenci 1 kHz k inhibici houby *Aspergillus parasiticus* na povrchu různých druhů ořechů (lískový ořech, arašíd a pistácie). Po 5 minutách ošetření povrchu ořechů pozoroval 150 000× menší počet přežívajících spor. Obdobně Selcuk et al. (2008) prokázal účinky stejného zařízení k degradaci patogenních hub *Aspergillus* spp. a *Penicillium* spp. na povrchu semen rajského jablka, pšenice, fazole, hrachu, sóji, ječmene, ovsa, žita, čočky a kukuřice. Plazmové ošetření snížilo počet spor těchto hub pod úroveň 1 % původního počtu.

Jiang et al. (2014b) prokázal zvýšení odolnosti rajčete po ošetření semen radiofrekvenčním výbojem (13,56 MHz) vůči vadnutí způsobenému bakterií *Ralstonia solanacearum*. Odolnost rajčete vůči vadnutí byla zvýšena o 25 %. Stejný výboj využil i Zhang et al. (2013), který zjistil, že plazma disponuje baktericidními účinky proti *Salmonella typhimurium* při dezinfekci povrchu čerstvých produktů, např. špenátu, hlávkového salátu, rajčete a brambor.

Lee et al. (2015) ve své práci zjistil, že pomocí nízkotlakého výboje indukovaného mikrovlnami (2,45 GHz) lze zlepšit mikrobiologickou ochranu čerstvé zeleniny a suchého ovoce. Výboj degradoval buňky *Salmonella typhimurium* na zelí a hlávkovém salátu, těch bylo po ošetření cca 32× méně než v kontrolním vzorku. Vyšší výkon u stejného plazmového výboje měl větší efektivitu na dekompozici spor *Bacillus cereus*, *Aspergillus brasiliensis* a *Escherichia coli* kultivovaných na cibulovém prášku: 126×, 40× a 79× menší počet spor po ošetření (Kim et al., 2017). Bakterie *Pseudomonas marginalis*, *Pectobacterium carotovorum* a *Listeria innocua*, které se nacházely na povrchu modelových jablek a polníčku, byly vystaveny účinkům plazmatem exponovaného vzduchu. Jako plazmový výboj byl použit mikrovlnný typ výboje s budící frekvencí 2,45 GHz. Počty živých spor těchto bakterií klesaly v násobcích 100× až 106× (Ehlbeck et al., 2015). Mechanismus použití vzduchu exponovaného mikrovlnným plazmatem k eliminaci bakterie *Bacillus atrophaeus* byl použit v práci (Schnabel et al., 2014). Po 30 minutách dekontaminace byl počet živých spor 106× menší. U řepky, která byla infikována bakterií *Bacillus atrophaeus* a poté vystavena účinku mikrovlnného plazmatu po dobu 15 minut, klesl počet přežívajících spor více než 150 tisíc krát. Mírně vyššího účinku bylo dosaženo při použití atmosférického dielektrického bariérového výboje – DBD (Schnabel et al., 2012).

V publikaci Gaunt et al. (2006) je uveden přehled užití různých druhů atmosférických výbojů k likvidaci gram-negativních bakterií. Důležitou roli reaktivních částic, tepla a UV záření DBD výboje při deaktivaci bakteriálních buněk rodu *Bacillus* popisují např. Laroussi a Leipold (2004). Vzájemnou synergii reaktivních částic a UV záření, které vytváří výboj DBD ve smyslu inaktivace spor hub, uvádí ve svých výsledcích Hayashi et al. (2014). Pozoroval zničení spor hub *Aspergillus oryzae* a *Penicillium digitatum* na semenech rýže a citronu, a to po 20 minutách působení plazmatu. Houba *Penicillium digitatum* způsobuje zelenou plíseň především na citrusech. DBD plazma dokáže také inhibovat růst hub druhů *Ascochyta pinodella* a *Fusarium culmorum* (Avramidis et al., 2010). Po 6 minutách od začátku působení plazmatu byl zjištěn nulový výskyt těchto hub na ošetřovaném povrchu.

Iseki et al. (2010) vyvinul bezpečnou metodu inaktivace spor houby *Penicillium digitatum* využitím plazmového výboje typu plasma jet. Po 7 minutách klesl počet živých

spor přibližně  $10\,000\times$ . Výboje stejného typu použil ve svém výzkumu Kim et al. (2011). Zaměřil se na dekontaminaci plátek slaniny od hub rodu *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* a *Salmonella typhimurium*. Již po 90 s klesl počet spor těchto hub téměř  $1\,000\times$ . V práci Ochi et al. (2016) byl zkoumán vliv výboje typu plasma jet na inaktivaci houby *Fusarium fujikuroi* a sněti *Burkholderia plantarii*, které byly přítomny na zrnech rýže. Infikovaná zrna byla vystavena účinkům plazmatu po dobu 5 minut a po expozici byla provedena analýza počtu živých spor těchto nákaz. Počet živých spor byl  $10\times$  menší v případě neošetřené rýže.

Atmosférický výboj typu Gliding Arc využili ke své práci například Moreau et al. (2005) nebo Kamgang-Youbi et al. (2007). Moreau ukázal, že plazmový výboj typu Gliding Arc rychle a zcela ničí bakterie rodu *Erwinia* spp. bez tvorby nových odolnějších forem. Veškerá živá kultura této houby byla zničena po 10 minutách ošetření výbojem. Kamgang-Youbi demonstroval účinnost tohoto typu výboje na dekontaminaci bakterie *Hafnia alvei*. Po vystavení účinku plazmatu byl počet živých spor  $106\times$  menší oproti původnímu stavu. Ve výzkumu, který provedl Phan et al. (2019), byl použit výboj typu Gliding Arc pro dekontaminaci povrchu manga od houbového onemocnění *Colletotrichum gloeosporioides*.

Puligundla et al. (2017) prokázal pozitivní účinek dekontaminace semen řepky při ošetření koronovým plazmovým výbojem. Na semenech řepky byly zjištěny bakterie *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. a plazmatem byl snížen počet spor těchto bakterií během 3 minut ošetření  $16\text{--}158\times$ . Mitra et al. (2014) využila povrchový mikrovýboj k redukci původních kmenů hub na semeni cizrný beraní. Po 5 minutách ošetření plazmovým výbojem pozorovala přibližně  $100\times$  menší počet přežívajících spor.

Dalším přínosem využití plazmatu v zemědělství a ochraně rostlin je hubení hmyzu a škůdců. El-Aziz et al. (2014) ve svém výzkumu pozorovala účinek plazmatu pulsního jiskrového výboje na likvidaci zavíječe paprikového. Reaktivní kyslíkové radikály, které vznikají při generování výboje, byly schopny zneškodnit mšice parazitující na listech rajčete jedlého. Podobného výsledku dosáhl Ebihara et al. (2013), který ve svém experimentu prokázal proniknutí reaktivních částic skrze dýchací soustavu do organismu hmyzu. Reaktivní částice následně způsobily denaturaci bílkovin a zničení organel v buňkách.

### 1.3 Vliv plazmového výboje na klíčivost semen

První důležité studie, které uvádějí, že ošetření plazmatem způsobilo přerušení dormance u semen divokého merlíku, publikovala Šerá et al. (2009); Šerá et al. (2008). Šerá et al. (2010) uvádí, že vystavení semen účinku mikrovlnného plazmatu vedlo ke změnám metabolických procesů u ovsu a pšenice. Ošetřené a neošetřené semeno se lišilo v rozdílném obsahu fenolových sloučenin, které patří do skupiny inhibitorů klíčení. Tento poznatek indikuje průnik reaktivních částic z plazmatu skrz pórovitý povrch semen a interakci s buňčnými organismy. Sudhakar et al. (2011) pozoroval vliv ozonu, který byl generován atmosférickým koronovým výbojem, na pokles obsahu fytohormonu kyseliny abscisové, která způsobuje útlum klíčení.

Ošetření osiv různými typy plazmového výboje pozitivně ovlivňuje klíčení semen u mnoha druhů zemědělských plodin. Autoři obecně popisovali pozitivní vliv ošetření plazmatem při klíčení semen. Délka působení je jedním z nejdůležitějších dosud známých parametrů ošetření plazmatu a v závislosti na návrhu systému a napětových úrovních pou-

žitých pro generování plazmatu se může široce měnit (5 s až 30 min). Ve většině případů může kratší doba ošetření významně zlepšit parametry růstu semen, zatímco prodloužená expozice může mít inhibiční účinky na semena (Filatova et al., 2013; Henselová et al., 2012; Šerá et al., 2017). U klíčivosti semen byla ovlivněna jak doba, tak i ráznost a biochemická aktivita.

Filatova et al. (2013), Bormashenko et al. (2012) a Jiang et al. (2014a) využili radiofrekvenční výboj ke zlepšení klíčivosti pšenice. Filatova zjistila, že plazmově ošetřená semena měla o 2,1 cm delší sazenice, než v případě neošetřených semen. Bormashenko pozoroval o 22 % větší klíčivost u plazmově ošetřených semen. Jiang pomocí plazmatu zvýšil klíčivost semen o 6,7 %. Stejný typ výboje použili Filatova et al. (2011) a Carvalho et al. (2005) pro stanovení vlivu plazmatu na klíčivost různých druhů luštěnin v laboratorních, ale i polních podmínkách. Pozorované nárůsty klíčivosti byly 20 % u Filátové, respektive 30 % ve výzkumu Carvalha. Rychlejší růst sazenic a větší klíčivost byla pozorována u semen sóji vlivem radiofrekvenčního výboje (Ling et al., 2014). Klíčivost byla zvýšena o 14,66 % a růst sazenic o 63,33 %. U světlice barvířské byla urychlena klíčivost o jeden den v případě ošetření radiofrekvenčním plazmatem po dobu 130 minut (Dhayal et al., 2006). Semena bazalky pravé, která byla ošetřena také RF výbojem (Singh et al., 2019), vykazovala vyšší klíčivost a životaschopnost. V případě výkonu plazmového výboje 90 W byl nárůst klíčivosti 16,3 %, po zvýšení výkonu na 150 W vzrostla klíčivost až na hodnotu 20,5 % ve prospěch ošetřených semen. Autoři toto zlepšení přisuzují nárůstu absorpce vody. Ling et al. (2015) a Olšan et al. (2015) prokázali, že nízkotlaké plazmové výboje (radiofrekvenční a mikrovlnný) pozitivně ovlivňují klíčivost a počáteční růst řepky. Semena řepky ošetřená RF výbojem klíčila o 6 % lépe, zatímco MW výboj způsobil nárůst klíčivosti o 3 %.

Dubinov et al. (2000) zlepšil klíčivost a délku klíčku ovsu a ječmene pomocí doutnavého výboje. Klíčivost byla navýšena cca o 27 % u ošetřených semen. Shao et al. (2013) využil obloukový nízkotlaký výboj k ošetření semen špenátu setého. Pomocí výboje zlepšil klíčivost o 37 % v porovnání s neošetřenými semeny. Stejný výboj použil ve své práci Yin et al. (2006), který pozoroval urychlení klíčivosti o 24 hodin a zároveň o 28 % rychlejší vývoj klíčku u ošetřených semen rajského jablka oproti kontrolní variantě.

Schnabel et al. (2012) ukázal, že klíčivost ošetřených semen řepky byla v řádech procent vyšší oproti neošetřené variantě v případě použití jak nízkotlakého mikrovlnného výboje, tak i atmosférického DBD výboje. Tong et al. (2014) poukázal na urychlení klíčivosti u sazenic právenky latnaté při ošetření atmosférickým DBD výbojem po dobu 10 s. Stejného výboje využil Koga et al. (2015) k ošetření semen huseníčku rolního a pozoroval u něj urychlení klíčivosti a růstu. Třímínutové vystavení účinku plazmatu vedlo ke zrychlení růstu ve všech vývojových stádiích.

Kitazaki et al. (2014) zkoumal dlouhodobé účinky výboje typu DBD na semena ředkve seté a jejich následný růst klíčků pomocí kombinační analýzy. Výsledky ukázaly 250% nárůst délky klíčku ošetřených semen oproti kontrolním vzorkům po 3 minutovém ošetření plazmatem. Obdobně Sarinont et al. (2016) využil stejného výboje a doby ošetření ke zlepšení růstu ředkve. Nárůst délky kořínku byl neuvěřitelných 230 % délky neošetřeného semene. Park et al. (2016) ošetřil semena ječmene (*Hordeum vulgare*) povrchovým DBD výbojem za účelem zjištění vlivu biologických účinků na klíčivost osiva. Semena ječmene byla ošetřena v různých časech (0 až 80 s). Růst těchto ošetřených semen byl urychlen o 15 % až 110 %. Puligundla et al. (2017) pozoroval zvýšení klíčivosti řepky cca o 7,7 % po druhém dni po ošetření koronovým výbojem. Výboj typu plasma torch

významně ovlivnil klíčivost i počáteční růst ředkve seté (Hayashi et al., 2015). Tato pracovní skupina pozorovala  $1,6\times$  delší stonek a kořenový systém v případě semen ošetřených plazmatem. Zároveň došlo ke zvýšení klíčivosti z 60 % na 91 %. Větší růst připisovali vlivu kyslíkových radikálů generovaných ve výboji. Dobrin et al. (2015) prokázala, že atmosférický povrchový výboj má mírný vliv na vyšší klíčivost, ale značný vliv na růstové faktory. Plazmově ošetřená semena měla delší a těžší kořínky v porovnání s neošetřenými. Ji et al. (2016) pozoroval 15% nárůst klíčivosti semen špenátu po ošetření vysokonapětovým pulzním výbojem. V práci autora Yamashita et al. (2016) byl použit výboj typu plasma jet k ošetření výhonků ředkve. Nejlepšího výsledku bylo dosaženo při aplikaci plazmového výboje po dobu 5 minut. U takto ošetřených výhonků bylo pozorováno zlepšení růstu o 40 %.

V některých případech byly pozorovány také pozitivní účinky na růst rostlin v polních podmínkách, a to na rychlost růstu, výšku rostliny, délku kořene, hmotnost nebo výnos Jiang et al. (2014b); Ono a Hayashi (2015); Yin et al. (2006); Zhou et al. (2011). Ošetření plazmovým výbojem ovlivnilo také odolnost sazenic a rostlin v období sucha (Ling et al., 2015).

## **1.4 Vliv plazmového výboje na smáčivost a nasákavost semen**

Plazma může měnit povrchové vlastnosti semene ve smyslu změny povrchového napětí a propustnosti živin a vody skrz jeho vrstvy do vnitřku semene. Nasákavost semen je klíčová pro iniciaci bobtnání a klíčení. Zároveň příjem vody hraje důležitou roli při vzházení osiva (Houba a Hosnedl, 2002). Větší příjem vody je klíčový ve stresových podmínkách, jako je sucho nebo vysoká teplota (Bormashenko et al., 2012).

Chen et al. (2012) využil nízkotlakého doutnavého výboje k ošetření zrn hnědé rýže a pozoroval nárůst příjmu vody o 5 % ve prospěch ošetřených semen. Hosseini et al. (2018) využil radiofrekvenční plazmový výboj pro ošetření artyčoku zeleninového. Expozice plazmatem zapříčinila nárůst příjmu vody o 36,9 %. Stejného výboje využila Shapira et al. (2017), která uvádí, že ošetřená semena pepře rychleji nasákávají vodu a dochází k jejich rychlejšímu ponořování ve vodě. Zároveň bylo prokázáno, že tento efekt je v čase trvalý a neměnný. Polovina plazmově ošetřených semen byla již po dvou hodinách nasákávání zcela ponořena.

Z atmosférických plazmových výbojů byl ke změnám nasákavosti a příjmu vody použit jen difúzní koplánární bariérový výboj. Stolárik et al. (2015) prokázal vyšší příjem vody u semene hrachu setého. Během prvních dvou hodin nasákávání měla plazmově ošetřená semena o 23,3 % vyšší přírůstek vody v porovnání s neošetřenými semeny. Obdobně byla prokázána vyšší nasákavost u semen pšenice ošetřených tímto typem výboje (Zahoranová et al., 2016). Po dvou hodinách nasákávání bylo zjištěno, že plazmově ošetřená semena přijímají vodu o 22 % rychleji než v případě neošetřených semen.

Nasákavost vody souvisí se změnami povrchu semene a jeho struktury. Tyto změny lze také indikovat určením smáčivosti povrchu prostřednictvím měření kontaktního úhlu (Yuan a Lee, 2013). Smáčivější povrch ve smyslu zmenšení kontaktního úhlu a vyššího povrchového napětí působí příznivě nejen pro příjem vody, ale i pro účinnější ulpění biologického preparátu. Sadhu et al. (2017) ošetřil RF plazmatem semena mungo fazolí a pozoroval o 57 % nižší kontaktní úhel mezi kapkou vody a povrchem semene vystaveného



účinkům plazmatu. Stejného výboje využila ve svém výzkumu Velichko et al. (2019) a u pšenice pozorovala snížení kontaktního úhlu z hodnoty 113° na 74°. Tento jev byl výsledkem vystavení semen účinkům plazmového výboje po dobu 300 s.

Atmosférický plazmový výboj typu DBD ke změně smáčivosti využili ve svých pracích Guimarães et al. (2015), Junior et al. (2016) nebo da Silva et al. (2017). Výboje se lišily pouze v budicí frekvenci. Guimarães dokázal tímto typem výboje zlepšit smáčivost semen divoké mimózy. Junior ošetřil semena *Erythrina velutina* a pozoroval nárůst absorpce vody a zároveň nižší kontaktní úhel o 48 % při aplikaci kapky destilované vody na povrch semene. Silva také pozoroval pozitivní účinky plazmatu na smáčivost při ošetření semen *Mimosa Caesalpiniaefolia*. Ošetřená semena vykazovala o 43 % menší kontaktní úhel v porovnání s neošetřenými. Medvecká et al. (2019) pomocí difúzního koplánárního výboje změnila smáčivost povrchu kukuřice, ječmene a pšenice. Kontaktní úhly mezi aplikovanou kapkou vody a povrchem semen byly zmenšeny ze 100° na 20°. Podle autorů jsou změny kontaktních úhlů způsobeny zřejmě oxidací povrchu semen reaktivními částicemi z plazmatu.

## 1.5 Ochrana semen biologickými preparáty

Hledání alternativ k chemickým pesticidům a rostoucí zájem o „ekologické“ metody produkce podnítily zvýšený vědecký vývoj biologické ochrany v průběhu posledních 30 let. V tomto období bylo dosaženo pokroku zejména díky hlubšímu pochopení mechanismů těchto činidel. Biologická ochrana je považována jako ekologická, hygienická a ekonomická forma ochrany rostlin a organismů (Hluchý a Zacharda, 1994; Tichá, 2001). Biologické ošetření je chápáno jako metoda, která navozuje cílenou ochranu rostlin a semen a spočívá v použití mikroorganismů nebo parazitoidů k potlačení škodlivých organismů, plevelů a různých chorob (Dirlbecková, 1991; Van Driesche, 1996). Ochrana využívá přirozených vztahů, které spojují organismy a jejich prostředí. Jedním ze smyslů použití je v zamezení rozsáhlého šíření škodlivých organismů a vzniku ekonomických ztrát (Prokinová, 1996).

Oproti chemické metodě ošetření rostlin nepředstavuje biologická ochrana zátěž pro životní prostředí, člověka a zvířata. Mechanismus ochrany spočívá v aplikaci dravého hmyzu k potlačení populace hmyzích škůdců. Mikrobiální patogeny slouží k redukcí onemocnění u rostlin. Mezi možné metody aplikace těchto organismů patří: introdukce dravého hmyzu do prostředí, inokulace patogenů do půdy při seti nebo oslabení škůdců či patogenů (Věchet, 1991). Tyto mechanismy se provádí rovnoměrnou kolonizací půdy nebo v místě přemnožení škůdce či vyššího výskytu onemocnění.

Dělení organismů využívaných v aplikacích biologické ochrany je uvedeno v tabulce 1.2. Aplikace prostředků musí být včasná z důvodu prvotní útlumové fáze, kdy nejsou aktivně účinné. Po této fázi nastává rozšíření mikroorganismů v místě aplikace a dochází k jejich aktivaci (Hrdý, 1991). Samotnou účinnost přípravků ovlivňují především abiotické faktory (vlhkost a teplota prostředí).

Z biologických činidel patentovaných počátkem roku 1999 byly z 84 % bakterie a 16 % houby. Bakterie zahrnují druhy *Streptomyces*, *Pseudomonas*, *Bacillus* a *Enterobacter*. Druhy *Pseudomonas* a *Bacillus* tvoří drtivou většinu těchto ochranných prostředků. Směsi organismů s různými účinky nebo kombinace chemických látek a biologických prvků můžou zlepšit spektrum účinnosti (Seed Treatment and Environment Committee of the International Seed Trade Federation, 2000).

Tabulka 1.2: Organismy na ochranu rostlin

Mikroorganismy			
Bakterie	Houby	Viry	Kvasinky

Makroorganismy			
Parazité	Predátoři	Hlístice	Obratlovci

### 1.5.1 Bio-ochrana ve formě hub

Ošetření osiva pomocí užitečných druhů hub spadá do biologické ochrany rostlin, kterou lze definovat jako „záměrné využívání přirozených nepřátel s cílem regulovat populace škůdců, patogenů a plevelných rostlin“ (Landa, 2002). Houby představují fylogeneticky diverzní skupinu mikroorganismu. Jedná se o heterotrofní eukaryota, která jsou buď jednobuněčné (kvasinky) nebo hyfální (vláknité houby). Houbové organismy se rozmnožují pohlavně (telemorfa) nebo nepohlavně (anamorfa). U takových organismů došlo během evolučního procesu k vytvoření velké škály adaptačních mechanismů, které umožňují přizpůsobení velmi diverznímu prostředí. Z evolučního hlediska představují polyfyletickou skupinu organismů, jejíž členové ale plní podobné role v ekosystému, vytvářejí důležité symbiotické vztahy s živočichy a s cévnatými rostlinami a představují převážnou většinu patogenů hospodářsky využívaných rostlin. Mimo fyziologickou a biochemickou přizpůsobivost disponují schopností syntetizovat řadu primárních a sekundárních metabolitů (Bruns et al., 1991). Houby lze primárně rozdělit na mykoparazitické a entomopatogenní.

### 1.5.2 Mykoparazitické houby

Mykoparazitické houby jsou určeny jako ochrana před fytopatogenními houbami, které jsou původci onemocnění rostlin. Termín mykoparazitismus nebo hyperparazitismus se používá k označení vzájemných vztahů houbového parazita a hostitele houby. Pojem mykoparazit označuje houby, které mají schopnost parazitovat na jiných houbách (Barnett, 1963; Hirst, 1997). Houby mají daleko větší schopnost šíření a růstu v půdě oproti bakteriím. Jejich předností je šíření v rhizosféře pomocí aktivity hyf (Prokinová, 1996). Rozsah působení je pouze v těsné blízkosti hostitele a mykoparazita, nikoliv na větší vzdálenost (Okrouhlá, 1993).

Mykoparazitické houby parazitují na zástupcích fytopatogenních hub vyskytujících se v půdním prostředí, mezi takové patří houby rodu *Fusarium*, *Rhizoctonia* nebo *Sclerotinia*. Zároveň parazitují na patogenech, které vyvolávají onemocnění v nadzemních částech rostlin, např. na zástupcích padlí a na rzích. Např. Sejketov (1982) prokázal, že na původcích onemocnění padlí dobře parazituje houba druhu *Ampelomyces quisqualis*.

V současné době je popsáno kolem 2 000 druhů mykoparazitických hub, které napadají přibližně 2 500 druhů jiných hub (Prokinová, 1996). Mezi nejvýznamnější půdní mykoparazity patří druhy *Clonostachys rosea* f. *catenulata*, *Pythium oligandrum*, *Clonostachys rosea* f. *rosea*, *Coniothyrium minitans* a houby rodu *Trichoderma* – především *Trichoderma virens* a *Trichoderma harzianum*.

*Trichoderma virens* je polyfágní druh houby, který disponuje mykoparazitickými vlastnostmi. Vyskytuje se nejčastěji v lesních půdách a v půdách s dostatečným humusem. Prostředí, ve kterém se vyskytuje, dobře osídluje a zlepšuje supresivní vlastnosti půdy. Významnou vlastností je schopnost kolonizovat kořeny rostlin a utvářet s nimi symbiotický vztah (Howell et al., 1993). Tento druh houby je schopen aktivně potlačovat původce významných houbových onemocnění, včetně fytopatogenních druhů z rodů *Alternaria*, *Fusarium*, *Pythium*, *Sclerotinia* a *Rhizoctonia* (Okrouhlá, 1993). Zároveň přítomnost *Trichodermy virens* pozitivně ovlivňuje i zakořeňování a vývoj rostlin, ty poté reagují na přítomnost této houby i navozením stavu tzv. indukované resistance, což je stav zvýšené odolnosti proti širšímu spektru škodlivých organismů (Howell, 2006). Výskyt houby v půdě je formou spor nebo ve formě mycelia. Rozmnožování je prováděno nepohlavně pomocí konidií. Vyznačuje se snadným pěstováním v umělé kultuře. Optimální podmínky pro růst houby jsou teplota půdy 24–30 °C, organické látky s pH 4–5 a vlhkost substrátu 70–100 % (Harman et al., 1991).

Houba působí na organismy několika způsoby:

1. vytváří nehostinné prostředí pro ostatní organismy tím, že vylučuje nespecifické látky,
2. pomocí specifických látek narušuje růst a vývoj mikroorganismů,
3. mechanismem přímého parazitismu.

### 1.5.3 Entomopatogenní houby

Entomopatogenní houby jsou nejdéle známé a nejčastěji determinované mikroorganismy, které lze asociovat s hmyzem. Běžně se vyskytují v přírodě. Jsou původcem epizootie v populacích hmyzu a patří mezi významné mikroorganismy, které regulují hmyzí populaci. Mezi entomopatogenními houbami můžeme nalézt vysoce specifické druhy, které se vyskytují pouze na jednom hostiteli nebo jen v určitém stádiu u jednoho hostitele, a zároveň druhy, které napadají celou řadu druhů, rodů, čeledí nebo i vyšších systematických skupin. Mezi nejběžnější druhy hub patří rod *Aschersonia*, *Beauveria*, *Hirsutella*, *Isaria*, *Lecanicillium*, *Metarhizium*, *Nomurea*, *Paecilomyces* a další (Inglis et al., 2001). S širokou polyfagií je často spojena tvorba druhově identických, nicméně značně různorodých kmenů (izolátů), které mohou vykazovat i úzkou specializaci (Goettel et al., 2010; Inglis et al., 2001). Typickým příkladem je tvorba velmi specifických patotypů u polyfágních hub *B. bassiana*, *I. fumosorosea* a *M. anisopliae*, u kterých je hostitelské spektrum kmene výrazně predeterminováno druhem hostitele, z kterého byl konkrétní patotyp izolován.

Entomopatogenní houby parazitují na zástupcích všech řádů hmyzu. Nejčastěji jsou parazitické mykózy zjišťovány na družících patřících do řádu *Coleoptera*, *Diptera*, *Hemiptera*, *Homoptera*, *Hymenoptera*, *Lepidoptera*, *Orthoptera* a *Thysanoptera* (Butt et al., 2001; Goettel et al., 2000; Lacey et al., 2001). Významná vlastnost těchto druhů hub je jejich schopnost provést celkový vývojový cyklus na vnímavém hostiteli nebo na odumírající a degradující organické hmotě. Šíření infekčních propagulí hub je nejčastěji ovlivněno abiotickými faktory – voda, vzduch, vítr, déšť, pohyb vody v půdě. Vznik houbových epizootií v populacích hmyzu je iniciován kontaktem zdravých jedinců s infikovanými, kontaminací při kopulaci nebo kontaminací při kladení vajíček.

*Metarhizium anisopliae* je široce polyfágní houba a je možné ji nalézt v půdách po celém světě. Druh *Metarhizium anisopliae* představuje účinnou prevenci před poškozením klíčících a vzcházejících rostlin hmyzími škůdci. Tato houba představuje ochranu sazenic různorodých druhů zelenin a rostlin před škůdci, kteří jsou schopni napadat kořenový systém rostlin. Mezi tyto škůdce patří např. larvy kovaříků (tzv. drátovců), lalokonosců, chroustů a chroustků, krtonožek, osenic a řada dalších (Zimmermann, 2007). Houba má široký okruh hostitelů, proti kterým je účinná – rovnokřídlí, brouci, dvoukřídlí (Bridge et al., 1993; Dromph a Vestergaard, 2002). *M. anisopliae* je hojně rozšířená v zemědělských i nezemědělských půdách a optimální teplota, ve které přežívá, leží v intervalu 25–32 °C (Ouedraogo et al., 1997).

---

## Kapitola 2

### Cíle a metodika práce

Hlavním cílem dizertační práce bylo komplexní posouzení možnosti využití nízkoteplotního plazmatu a biologického ošetření osiva řepky ozimé a ječmene jarního jako alternativního postupu k chemickému moření, a to v návaznosti na vyhlášku o integrované ochraně rostlin 205/2012 Sb.

Za účelem dosažení tohoto cíle byly pracovní aktivity rozděleny do čtyř dílčích tematických celků, které na sebe vzájemně navazovaly:

1. Stanovení fyzikálních parametrů plazmového výboje.
2. Využití výboje ke zvýšení hydrofility povrchu semene.
3. Vliv ošetření za pomoci plazmového výboje na klíčivost semen a růst rostliny.
4. Vývoj funkčního vzorku zařízení pro ošetření semen s následnou možností nanesení biologického preparátu.

Každá z výše uvedených oblastí umožnila nalézt odpověď na otázky, které jsou klíčové pro úspěšné dosažení cíle dizertační práce.

Dílčím cílem prvního tematického celku bylo podrobně charakterizovat stávající plazmové zařízení a stanovit rozsah použitelných fyzikálních nastavení procesu plazmování semen plodin jakožto teplotně citlivých substrátů. Jednalo se tedy především o proměření rozložení teplotního pole v plazmovém kanále v závislosti na dalších parametrech procesu.

Ve druhé části byly provedeny testy ošetření semen s ohledem na změny jejich povrchu a struktury. Byl studován především vliv na smáčivost semen a příjem vody. Zároveň byl zkoumán vliv na mikroorganismy přítomné na povrchu a sledován zdravotní stav ošetřených semen.

Ve třetí etapě byly optimalizovány podmínky ošetření semen s ohledem na jejich klíčivost. Pro experimenty bylo vybráno několik druhů semen kulturních plodin (zástupci obilovin a olejnin) a následně sledován vliv plazmového ošetření na jejich klíčivost v laboratorních podmínkách. U vybraných plodin byl poté proveden i maloparcelkový pokus (ječmen jarní) a poloprovozní polní experiment (řepka ozimá). V těchto experimentech byl sledován nejen vliv plazmového ošetření osiva, ale už i kombinace plazmového ošetření s následným nanesením biologického preparátu na výsledný výnos.

Závěrečný tematický celek byl věnován návrhu, vývoji a konstrukci funkčního vzorku poloautomatického zařízení pro ošetření semen s následnou možností nanesení biologického preparátu.

### **Výzkumné hypotézy**

Na základě cílů a metodiky práce byly stanoveny následující výzkumné hypotézy:

**Hypotéza H1:** Ošetření semen plazmovým výbojem zvyšuje smáčivost jeho povrchu.

**Hypotéza H2:** Ošetření plazmovým výbojem nesnižuje klíčivost semen.

**Hypotéza H3:** Ošetření plazmovým výbojem zvyšuje nasákávnost semen.

**Hypotéza H4:** Duální technologie ošetření semen vede ke zvýšení výnosu.

---

## Kapitola 3

# Materiál a metodika měření

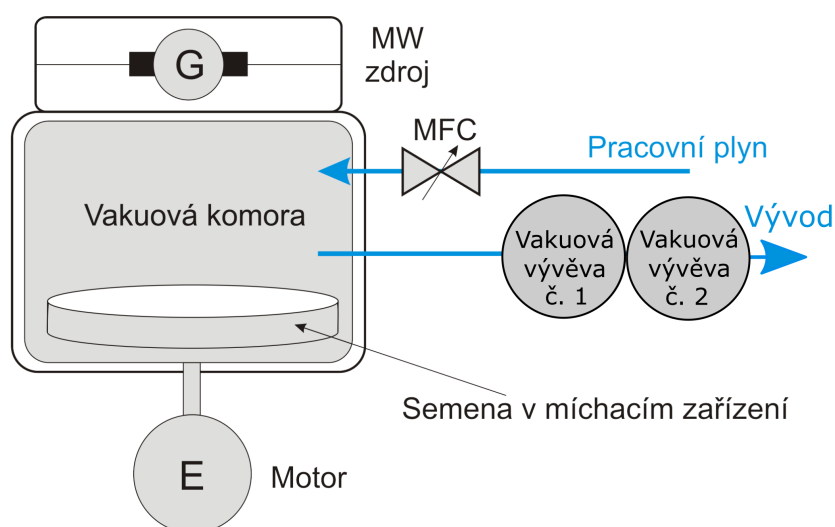
### 3.1 Plazmové aparatury

Pro ošetření semen byly využity dva druhy plazmových aparatur. Prvním typem byl systém pro generování mikrovlnného plazmatu, který vzniká při nízkém tlaku. Tento typ plazmového výboje je svou nízkou teplotou šetrný k ošetření olejnatých semen.

Druhým typem plazmového výboje byl klouzavý výboj (Gliding Arc) vznikající při atmosférickém tlaku. Samotný výboj se vyznačuje vysokou teplotou a byl použit pro ošetření obilovin. Aparatury se liší charakterem plazmového výboje i podmínkami, při kterém jsou výboje generovány.

#### 3.1.1 Nízkotlaká mikrovlnná aparatura

Nízkotlaká aparatura je tvořena zejména vakuovou komorou, mikrovlnným zdrojem, systémem vzduchového hospodářství, míchacím zařízením a dalšími pomocnými systémy. Schéma aparatury je znázorněno na obrázku 3.1, celkový pohled na systém je zachycen na obrázku 3.2.



Obrázek 3.1: Schéma aparatury pro generování plazmatu za sníženého tlaku



Obrázek 3.2: Pohled na aparaturu pro generování plazmatu za sníženého tlaku

### Vakuová komora

Vakuová komora je prostor, ve kterém je mezi elektrodami generováno plazma. V tomto prostoru jsou tedy přítomny reaktivní částice, které reagují s ošetřovaným materiálem. Komora má tvar kvádrů o objemu  $56,5 \text{ dm}^3$  a je vyrobena z nerezové oceli. Na přední stěně jsou dvířka s těsněním a průhledovým oknem. Komora disponuje několika vakuovými přírubami a průchodkami, které umožňují připojení přídatných zařízení. Zároveň obsahuje čidlo pro měření vnitřního tlaku.

Do vakuové komory se vkládá nádoba s ošetřovanými vzorky (obrázek 3.3). Tato nádoba je vybavena hřídelí s lopatkami, které umožňují míchání ošetřovaného materiálu. Polohu lopatek vůči dnu nádoby je možno měnit tak, aby docházelo k efektivnímu míchání materiálu. Náš systém umožňuje změnu této polohy pomocí 4 stavitelných šroubů. Hřídel s lopatkami je spojena přes vakuovou průchodku s motorkem Meanwell RS-100-24 (MEAN WELL ENTERPRISES CO., LTD., Taiwan) pod komorou. Rychlost otáčení lopatek je regulována pomocí řídicí jednotky, která využívá pulzně šířkové modulace změnou napětí v rozsahu 5 až 24 V. Parametry vakuové komory jsou uvedeny v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Parametry vakuové komory

Parametr	Hodnota
Materiál	nerezová ocel
Pracovní objem komory	$56,5 \text{ dm}^3$
Tloušťka stěn	15 mm
Pracovní tlak	100 Pa





Obrázek 3.3: Míchací nádoba

### Mikrovlnný zdroj

Druhou klíčovou komponentou plazmové aparatury je mikrovlnný zdroj, který umožňuje generovat elektrické napětí o frekvenci 2,45 GHz. Napětí je následně přiváděno na elektrody umístěné v pracovní komoře, kde dochází ke generování plazmatu. Mikrovlnný zdroj MNG 1K-08 byl dodán firmou Radan, s.r.o. Zdroj umožňuje regulaci výstupního výkonu od 100 do 850 W, přičemž tato regulace se provádí změnou šířky pulzu od 10 do 100  $\mu\text{s}$ . Parametry mikrovlnného zdroje jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2: Parametry mikrovlnného zdroje

Parametr	Hodnota
Typové označení	MNG 1K-08
Výkon zdroje	100–850 W
Frekvence výboje	2,45 GHz
Šířka pulzu	10–100 $\mu\text{s}$

### Systém vzduchového hospodářství

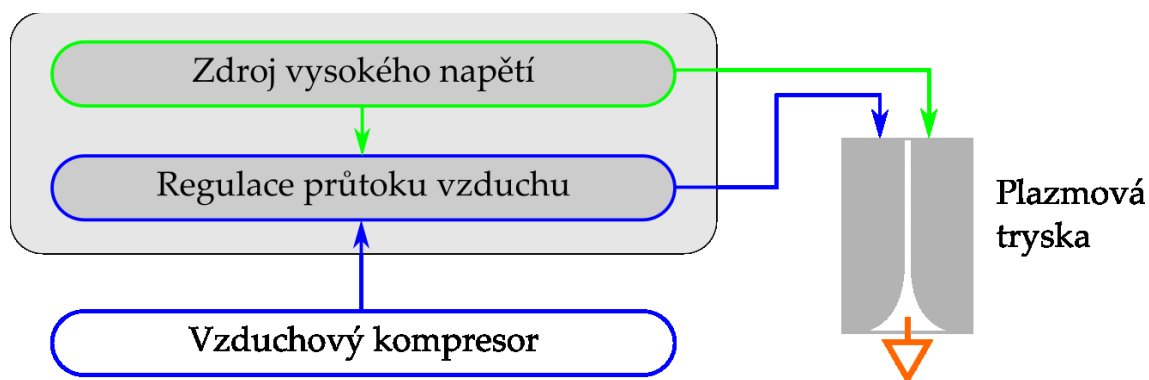
Mikrovlnný výboj vzniká za nízkého tlaku (jednotky Pascalů) a proto je nutné odčerpávat plyn z prostoru vakuové komory. Vyčerpání plynu z komory se provádí pomocí dvou do série zapojených rotačních olejových vývěv, Lavat RV100/1 (Lavat a.s., Česká Republika) a Adixen (Pfeiffer Vacuum Inc, USA). Systém zapojení vývěv do série umožňuje zvýšení čerpacího výkonu na požadovanou hodnotu tlaku a navíc přináší dostatečné rezervy výkonu při náročnějších procesech. Vývěvy jsou připojeny k recipientu přes deskový ventil VAT, který umožňuje měnit čerpací výkon vývěv. Řízení čerpacího výkonu je realizováno s využitím digitálního řídicího systému, který umožňuje měnit polohu ventilu v rozmezí 0 až 1 000 kroků. Maximální čerpací výkon je  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Tento čerpací výkon je dostatečný pro většinu aplikací ošetřování materiálů.

Regulace vnitřního prostředí v prostoru vakuové komory je realizována s využitím systému ventilů a hmotnostních průtokoměrů Bronkhorst FV 201-CV (Bronkhorst High-Tech B. V, Nizozemsko). Do vakuové komory je možné připouštět různé pracovní plyny, jako je dusík, kyslík, argon nebo vzduch.

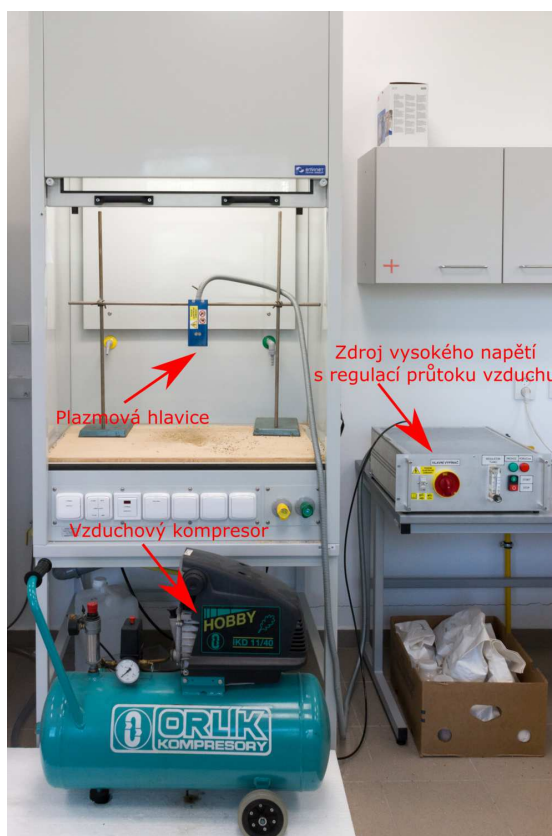
Zavzdušnění prostoru vakuové komory po skončení procesu ošetření se provádí pomocí zavzdušňovacího ventilu. Tento proces trvá přibližně půl minuty.

### 3.1.2 Aparatura pro generování výboje typu Gliding Arc

System pro generování výboje typu Gliding Arc je tvořen zdrojem vysokého elektrického napětí s regulací průtoku vzduchu, vzduchovým kompresorem a plazmovou hlavicí. Blokové schéma systému je znázorněno na obrázku 3.4, pohled na celý systém je zobrazen na obrázku 3.5.



Obrázek 3.4: Blokové schéma systému pro generování výboje typu Gliding Arc



Obrázek 3.5: Pohled na systém pro generování výboje typu Gliding Arc

### Zdroj vysokého napětí

Zdrojem vysokého napětí pro generování výboje je zařízení GVN1k-2011 od firmy Radan, s.r.o. Hlavní součástí zdroje je vysokonapěťový transformátor Resinblock 2000, který generuje elektrické napětí, které je následně přiváděno na elektrody v plazmové hlavici. Do zdroje je zároveň integrován rotametr FL-2008 firmy Omega, který umožňuje nastavit průtok pracovního plynu v rozmezí 0–100 SCFH<sup>1</sup>. Součástí zdroje je řídicí jednotka, která zodpovídá za stabilitu výboje. Součástí zdroje jsou také ochranné obvody, které zabraňují zapálení výboje bez dostatečného tlaku pracovního plynu s následným poškozením zařízení. Pro naše experimenty jsme využili jako pracovní plyn stlačený vzduch. Vybrané parametry plazmového zdroje jsou uvedeny v tabulce 3.3.

**Tabulka 3.3:** Parametry zdroje plazmatu typu *Gliding Arc*

Parametr	Hodnota	
Vstupní napětí/proud	230 V	4,8 A
Výstupní napětí/proud	10 kV	100 mA
Frekvence	50 Hz	
Maximální příkon	1,3 kW	
Bezpečnostní krytí	IP20	

### Plazmová hlavice

Druhou významnou komponentou celého systému je plazmová hlavice. V plazmové hlavici je generován klouzavý plazmový výboj. Hlavice má tvar kvádrů a je vyrobena z nerezové oceli. Vnitřní prostor je vybaven izolační vrstvou z polytetrafluorethylenu (PTFE), aby byl dostatečně elektricky izolován od okolního prostředí.

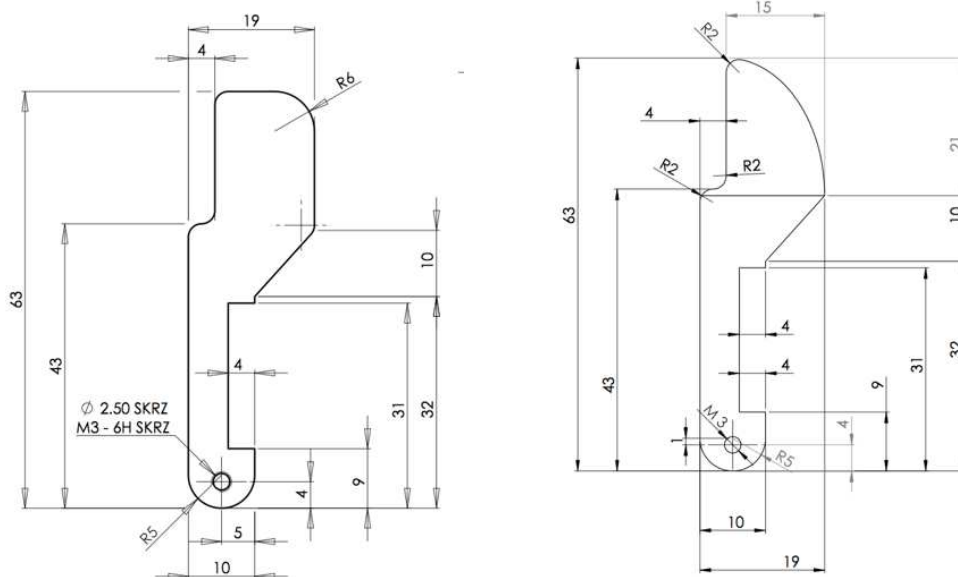
Elektrický výboj vzniká mezi dvojicí divergentních elektrod, přičemž výboj je iniciován v místě s minimální vzdáleností 2 mm mezi elektrodami. Následně je výbojový kanál unášen proudícím vzduchem v prostoru mezi elektrodami, čímž dojde k jeho vyfouknutí z prostoru plazmové trysky.

Elektrody v plazmové hlavici je možno snadno vyměnit a pro konkrétní aplikaci je možno využít elektrody různých tvarů i materiálu. V realizovaných experimentech jsme využili elektrody vyrobené z nerezové oceli ve tvaru obdélníku s jedním zakulaceným rohem o poloměru 6 mm (viz obrázek 3.6). Experimentálně jsme prokázali, že tvar elektrod značně ovlivňuje elektrické pole v oblasti výboje (Bartoš et al., 2016). Vybrané parametry plazmové hlavice jsou uvedeny v tabulce 3.4.

<sup>1</sup> 1 SCFH (standardní kubická stopa za hodinu) odpovídá v jednotkách SI 0,02 m<sup>3</sup> · h<sup>-1</sup> nebo 0,46 dm<sup>3</sup> · min<sup>-1</sup>

Tabulka 3.4: Vybrané parametry plazmové hlavice

Parametr	Hodnota
Šířka	63 mm
Výška	150 mm
Hloubka	30 mm
Izolační materiál	PTFE
Šířka vzduchové mezery	2 mm
Materiál elektrod	nerezová ocel
Průtok pracovního plynu	10–100 $\mu\text{s}$

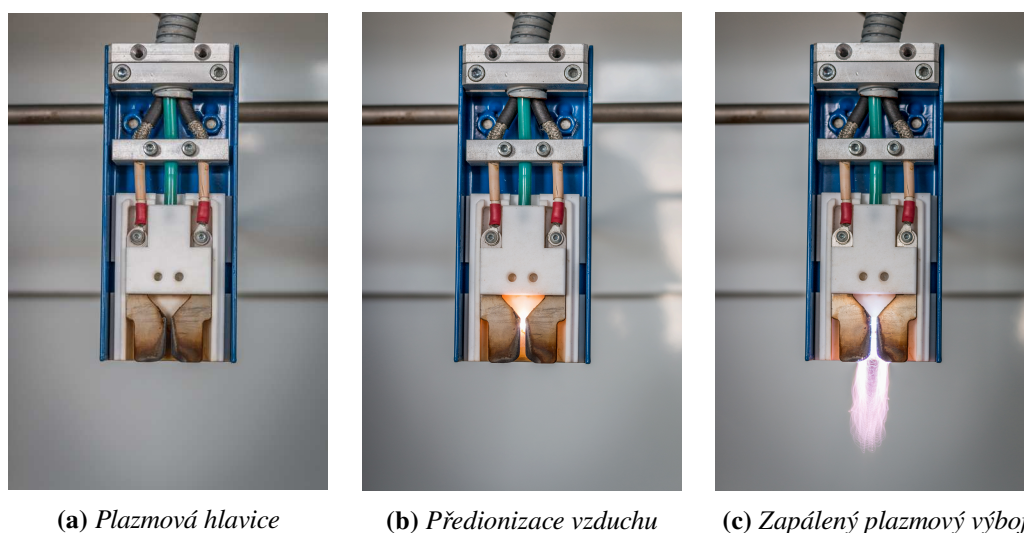


(a) Obdélníkový tvar s jedním zahnutým rohem

(b) Čtvrtelipsový tvar

Obrázek 3.6: Příklady tvarů divergentních elektrod

Generování výboje v plazmové hlavici probíhá v několika fázích (obrázek 3.7). Po zapnutí zdroje dochází nejprve k ionizaci vzduchu slabým napětím pro usnadnění zapálení výboje. Následná fáze představuje zapálený výboj, který je proudem vzduchu unášen mezi elektrodami až do zániku vodivého kanálu. Tento cyklus zapálení a zhasnutí výboje se velice rychle opakuje.



**Obrázek 3.7:** Fotografie plazmové hlavice v různých fázích generování výboje

### Vzduchový kompresor

Třetí komponentou systému je vzduchový kompresor Orlik, který je zdrojem stlačeného vzduchu. Minimální pracovní přetlak, vyžadovaný systémem, je 600 kPa. Parametry kompresoru jsou uvedeny v tabulce 3.5.

**Tabulka 3.5:** Parametry vzduchového kompresoru

Parametr	Hodnota
Objem tlakové nádoby	45 l
Příkon	1,5 kW
Nominální tlak	600 kPa
Typové označení	IKD 11/40

Každý typ plazmového výboje je specifický svojí charakterizací a vlastnostmi. Jelikož jsou plazmové výboje používány k ošetření semen, u kterých je nutností zachovat biologickou hodnotu, je potřeba plazmový výboj blíže charakterizovat. Základní charakteristikou, důležitou pro zachování biologické hodnoty, je teplota samotného výboje. Dalšími klíčovými charakteristikami výboje jsou optická spektra a jeho výkon, na němž závisí i účinnost zařízení. Z hlediska vlivu na prostředí a lidské zdraví jsou důležité vlastnosti hluk a prašnost, které vznikají při práci se semeny. S ohledem na obtížnost měření charakteristik u nízkotlakého výboje, bylo u tohoto typu provedeno pouze měření teploty pracovního plynu.

### Míchací zařízení

Toto zařízení slouží k promíchávání ošetřovaných semen. Míchací zařízení zajišťuje rovnoměrné ošetření všech semen. Míchací zařízení se skládá z válcové nádoby z PVC materiálu, podstavy a motoru s převodovkou. Nádoba je upevněna k masivní železné podstavě z důvodu větší stability při otáčení motoru. Ve spodní části nádoby je míchací vrtule, která je přes hřídel a převodovku spojena se stejnosměrným motorem o elektrickém napětí 24 V a příkonu 60 W. Otáčky vrtule jsou regulovány napětím ze školního rozvaděče, přičemž nastavená hodnota elektrického napětí 20 V odpovídala frekvenci 50-ti otáček za minutu. Z důvodu lepšího proudění vzduchu skrz vrstvy semen jsou stěny nádoby opatřeny malými otvory. Zároveň dochází k lepšímu ochlazování ošetřovaných semen. Pohled na míchací zařízení je znázorněn na obrázku 3.8. Přehled parametrů míchacího zařízení je uveden v tabulce 3.6.

**Tabulka 3.6:** Parametry míchacího zařízení

Parametr	Hodnota
Průměr	10 cm
Výška	20 cm
Tloušťka stěny	5 mm
Elektrické napětí motoru	24 V
Příkon	60 W



**Obrázek 3.8:** Míchací zařízení

## 3.2 Příprava vzorků

Výsledky této dizertační práce byly získány v rámci řešení projektu TAČR TA04021252 – „Vývoj zařízení pro fyzikální ošetření semen a sladu pomocí nízkoteplotního plazmatu.“ V rámci tohoto projektu byly provedeny experimenty s řadou hospodářských plodin, jako jsou ječmen, řepka, mák a pšenice. V této dizertační práci se omezíme na vybrané výsledky týkající se pokusů s řepkou ozimou a ječmenem jarním.

Velký počet vzorků, který byl v experimentech využit, vyžaduje jednoznačné označení jednotlivých variant. Pro potřeby této dizertační práce bylo využíváno 7 variant vzorků semen, které jsou pro přehlednost uvedeny v tabulce 3.7.

První variantou je osivo, které nebylo ošetřeno žádným ze tří způsobů a které v experimentech posloužilo jako kontrolní varianta. Druhou variantou jsou vzorky ošetřované s využitím průmyslově dodávaných pesticidů. Varianta 3 zahrnuje osivo, které bylo ošetřeno pouze s využitím plazmového výboje. Semena spadající pod varianty 4 a 5 byla ošetřena plazmovým výbojem stejně jako varianta 3, ale navíc byla ošetřena biologickým materiálem. Varianty 6 a 7 nebyly ošetřeny plazmatem, ale byla na ně aplikována biologická ochrana.

V této kapitole jsou nejprve uvedeny základní vlastnosti semen, které jsme použili v laboratorních i polních experimentech. Následně je podrobně popsána metodika přípravy jednotlivých vzorků. Tu je možno principiálně rozdělit do dvou dílčích kroků – fyzikální ošetření semen pomocí plazmatu a ošetření semen s využitím, biologického preparátu.

První metodika popisuje postup ošetření semen s využitím plazmového výboje, přičemž z řady experimentů se ukázalo jako výhodné využít plazmového výboje typu Gliding Arc k ošetření semen ječmene a plazmového výboje za sníženého tlaku k ošetření semen řepky ozimé.

Druhá metodika popisuje postup moření s využitím biologického preparátu. Jednotlivé vzorky tak, jak jsou uvedeny v tabulce 3.7, jsou pak získány odpovídající kombinací uvedených postupů.

**Tabulka 3.7:** Popis jednotlivých variant u řepky a ječmene

Varianta	Označení	Použité přípravky
1	CTR	Nemořené osivo
2	Pesticid	Fungicidně mořené osivo (ječmen jarní namořen přípravkem Raxil Star a řepka ozimá Vitavax 2000 a Sepiret PF 16 White)
3	Plazma	Osivo vystavené nízkoteplotnímu plazmatu po dobu 4 minut
4	Pl+Tvi	Osivo vystavené nízkoteplotnímu plazmatu (4 min) a biologicky ošetřené houbou <i>Trichoderma virens</i> (Tvi)
5	Pl+Man	Osivo vystavené nízkoteplotnímu plazmatu (4 min) a biologicky ošetřené houbou <i>Metarhizium anisopliae</i> (Man)
6	Tvi	Biologicky ošetřené osivo houbou <i>Trichoderma virens</i>
7	Man	Biologicky ošetřené osivo houbou <i>Metarhizium anisopliae</i>



### 3.2.1 Semena použitá pro experimenty

#### Ječmen jarní

Z dostupných odrůd plodiny ječmene jarního byla vybrána poloraná odrůda Francin, která má velmi dobrou odnožovací schopnost. Tato odrůda vznikla jako kříženec odrůdy Sebastián a ST3578104. Rostliny jsou středně vysokého vzrůstu, tvoří dlouhý klas středně hustý a v plné zralosti háčkující. Vyznačuje se výběrovou sladovnickou kvalitou. Je vhodná zejména k výrobě českého piva. Disponuje vysokou hodnotou HTZ 43–49 g a výnos dosahuje až  $11,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

#### Řepka ozimá

Z řady odrůd řepky ozimé dostupných na našem i zahraničním trhu jsme zvolili odrůdu Cortes, která je řazena mezi nízké dobře větvičí odrůdy s vysokým stupněm odolnosti vůči poléhání. Rostliny jsou nízké až středně vysoké, a vyznačují se vysokým výnosem semen. Cortes je středně raná liniová odrůda, má rychlý podzimní vývoj a výbornou pokryvnost růžice. Příznivá je vyšší hmotnost tisíce semen, která se pohybuje se od 5,8 g do 6,3 g. Obsah glukosinolátů je nízký, semena obsahují pouze stopové množství kyseliny erukové. Vyšší HTS, rychlejší podzimní vývoj a výborná pokryvnost růžice je zárukou dobře zapojeného a dobře připraveného porostu na zimní období.

K experimentům jsme dále použili polopozdní odrůdu Orex, která patří mezi řepky s kratší vegetační dobou. Rostliny dosahují délky 155 cm, jsou dobře odolné proti poléhání, mají výbornou pokryvnost listové růžice a nadprůměrnou zimovzdornost, která se pohybuje kolem 94 %. Vegetační doba rostlin je 203 dní, přičemž doba kvetení je 28 dní. Doporučený výsevek je 350 tisíc klíčivých semen na hektar. Příznivá je středně vysoká hmotnost tisíce semen, která se pohybuje od 5,07 g do 5,33 g. Výnos činí  $5,48 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , obsah oleje v semeni je středně vysoký, a to 47,27 % sušiny, nízký obsah glukosinolátů  $12,03 \mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ . Obsah mastných kyselin v oleji je standardní a obsah N-látek průměrný.

### 3.2.2 Metodika pro ošetření vzorků pomocí plazmového výboje

#### Ošetření řepky ozimé nízkotlakým plazmovým výbojem

Ošetření osiva plazmovým výbojem probíhá v nízkotlaké aparatuře (viz kapitola 3.1.1 Nízkotlaká mikrovlnná aparatura) generující mikrovlnný výboj. Na základě testování různých variant byly vybrány optimální parametry pro ošetření semen řepky. Tyto parametry jsou uvedeny v tabulce 3.8.

Přesně odvážená dávka semen je vložena do míchacího zařízení a stavitelnými šrouby je určena požadovaná výška míchacích lopatek. Následně je aparatura hermeticky uzavřena a vývěvami je odčerpáván plyn z pracovního prostoru, dokud není dosaženo hodnoty pracovního tlaku. Poté je zapnut mikrovlnný zdroj a dojde k zapálení výboje. V průběhu ošetření semen dochází v důsledku chemických reakcí ke změně složení plynu uvnitř aparatury a zároveň i ke změně vnitřního tlaku. Proto odčerpávání plynu z pracovního prostoru pokračuje i v průběhu ošetření a zároveň je přes regulační ventily připouštěn vzduch z prostoru mimo aparaturu. Hodnota tlaku uvnitř pracovní nádoby je udržována na konstantní hodnotě s využitím průtokoměrů. Po ošetření semen je pracovní prostor

Tabulka 3.8: Použité procesní parametry při ošetření semen řepky

Parametr	Hodnota
Pracovní tlak	100 Pa
Mikrovlonný výkon	500 W
Šířka mikrovlonného pulsu	60 s
Pracovní plyn	Vzduch
Čerpací rychlost	$100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ při tlaku $10^5 \text{ Pa}$
Doba čerpání před spuštěním výboje	420 s
Čerpací rychlost	$100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$
Množství ošetřovaných semen	200 g
Rychlost míchání	$1 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$

aparatury zavzdušněn, semena jsou z aparatury vyjmuta a uložena do zásobníku na ošetřené osivo. Délka celého procesu ošetření je cca 7 minut. Doba odsávání vzduchu trvá přibližně 2 minuty a opětovné zavzdušnění komory probíhá po dobu 1 minuty.

### Ošetření ječmene jarního výbojem typu Gliding Arc

Vzorek semen ječmene jarního byl ošetřen v aparatuře generující atmosférický výboj typu Gliding Arc (viz kapitola 3.1.2 Aparatura pro generování výboje typu Gliding Arc). Podobně jako u semen řepky ozimé, laboratorní experimenty prokázaly, že semena velice citlivě reagují na změnu procesních parametrů změnou klíčivosti, vzházivosti či změnou energie růstu. Klíčovými parametry jsou přitom průtok pracovního plynu, doba ošetření, rychlost míchání v nádobě, hmotnost jedné dávky osiva a vzdálenost semen od výboje. Provedením série experimentů v laboratorních podmínkách byly pro zařízení popsané v předchozí kapitole nalezeny optimální parametry. Tyto procesní parametry pak byly používány ve všech variantách ošetření semen ječmene. Procesní parametry jsou uvedeny v tabulce 3.9.

Tabulka 3.9: Použité procesní parametry při ošetření semen ječmene jarního

Parametr	Hodnota
Průtok pracovního plynu	30 SCFH
Vzdálenost výboje a semen	10 cm
Hmotnost ošetřovaných semen	150 g
Doba ošetření	240 s
Rychlost míchání	1 ot · s <sup>-1</sup>

Postup pro ošetření semen ječmene je pak podobný jako v případě řepky. Na laboratorních vahách byla odvážena přesná dávka semen ječmene jarního. Dávka byla vložena do míchacího zařízení, které zajišťuje promíchání a rovnoměrné ošetření semen. Míchací nádoba byla umístěna pod plazmovou trysku v definované vzdálenosti. Po dokončení procesu ošetření plazmovým výbojem jsou semena z míchací nádoby vyjmuta a uložena do zásobníku na ošetřené osivo.

### 3.2.3 Metodika pro ošetření semen pomocí biologického preparátu

Moření osiva pomocí užitečných druhů hub představuje preventivní prvek v ochraně rostlin při potlačení různých rostlinných patogenů a škůdců, kteří mohou napadnout osivo. Užitečné druhy hub zároveň chrání semeno po vysetí do půdy. Vhodnými druhy hub, které lze v rámci biologické ochrany úspěšně využít, je mykoparazitická houba *Trichoderma virens* nebo entomopatogenní houba *Metarhizium anisopliae*. Oba druhy hub jsou řadu let záměrně využívané v biologické ochraně rostlin po celém světě, přičemž zejména mykoparazitická houba *Trichoderma virens* může eliminovat patogeny z povrchu semen, resp. obilek.

Biologické ošetření (moření) semen řepky a ječmene spočívá v nanesení spor entomopatogenní houby *Metarhizium anisopliae*<sup>2</sup> a mykoparazitické houby *Trichoderma virens*<sup>3</sup> na jejich povrch.

Nejprve se připraví 1% vodní roztok tvořený 1% Carboxymethyl celulózu (CMC), která slouží jako adhezivní látka a umožňuje důkladné přichycení konidií hub na povrch semen. Pro získání spor hub se využije biopreparát, který má předem definované množství spor. V 1 g biopreparátu musí být koncentrace spor minimálně  $2 \times 10^9$ . V tomto případě se 1 g preparátu rozpustí v 1 litru roztoku 0,05% Tween 80 a suspenze se důkladně promíchá, aby došlo k důkladnému a rovnoměrnému uvolnění spor do roztoku. Takto připravené suspenze spor hub a smáčedla Tween 80 se následně smíchají v poměru 1:1 s předem připraveným adhezivem CMC. Finálně vznikne 0,5% roztok adheziva s obsahem  $1 \times 10^6$  spor v každém 1 ml.

Před vlastním mořením je osivo vloženo do mořicí nádoby, do které je následně přidáno adekvátní množství adheziva se spory hub. Pro moření osiva řepky bylo použito 100 ml mořidla na 0,5 kg semen. Osivo je potřeba v roztoku dostatečně promíchat, aby došlo k rovnoměrnému obalení každého zrna, respektive semene. Zohlednit je potřeba

<sup>2</sup> v práci byl použit kmen Man 002, ve sbírce je tento kmen označen jako Man 01

<sup>3</sup> v práci byl použit kmen Tvi 001, ve sbírce je tento kmen označen jako CCM 8732

také strukturu povrchu osiva, protože osiva s hrubším povrchem mohou nasáknout více tekutiny než ta, která má povrch hladší a pevnější. V našem případě byla semena ponechána v mořidle po dobu 2 minut.

Po ošetření semen v roztoku jsou semena vyjmuta a musí být rychle osušena, aby nedošlo během skladování k počátečnímu klíčení. Semena se rozmístí na síta v zařízení flow-box, kde dojde k usušení pomocí proudu vzduchu za stálých laboratorních podmínek. Brzké usušení semen je žádoucí i z hlediska zamezení předčasného klíčení spor hub nanesených na semenech. Po usušení se namořená semena umístí do sterilních obalů.

Semena ošetřená biologickým preparátem musí být uchovávána za snížené teploty. V opačném případě by došlo k naklíčení spor či jejich rychlé inaktivaci působením vyšší (pokojové) teploty. S biologicky mořeným osivem musí být nakládáno jinak než s osivem ošetřeným pomocí chemických látek. Z tohoto důvodu je výhodné ošetřovat osivo až těsně před setím a tím zajistit vhodné podmínky prostředí pro vláknité druhy hub.

### **3.3 Metodiky měření a experimentů realizovaných v laboratorních podmínkách**

Vývoj nové technologie pro ošetření semen za pomoci nízkoteplotního plazmatu s následným nanesením biologického preparátu probíhal nejprve v laboratorních podmínkách s cílem nalézt takové procesní parametry, které jsou optimální pro další experimentální vývoj. Výsledky dosažené v této etapě projektu jsou klíčové pro praktické využití navržené technologie v polních podmínkách.

Cílem experimentů realizovaných v laboratorních podmínkách bylo:

- a1)** stanovení teploty pracovního plynu,
- a2)** potvrzení přítomnosti reaktivní částic v plazmovém výboji na základě analýzy optických spekter,
- a3)** stanovení příkonu a výkonu plazmových aparatur.

Dále byl posouzen vliv plazmatu na jednotlivá semena, přičemž sledována byla:

- b1)** klíčivost jednotlivých semen,
- b2)** změny vlhkosti semen v důsledku ošetření plazmatem,
- b3)** změny hydrofility povrchu ošetřených semen, které mohou být způsobeny modifikací povrchových vlastností semene reaktivními částicemi přítomnými v plazmatu,
- b4)** změny ve schopnosti semen nasávat vodu, které jsou způsobeny ošetřením plazmatem.

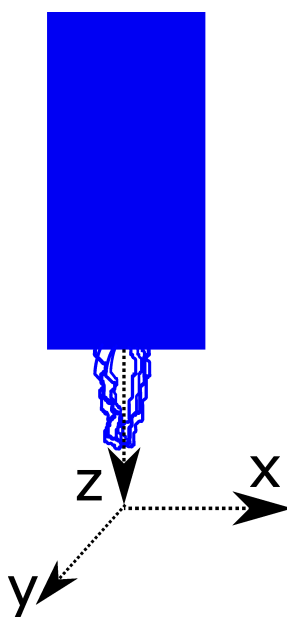
V následující kapitole budou uvedeny metodiky měření výše uvedených veličin. Získané výsledky budou následně prezentovány v kapitole Výsledky a diskuse.

### 3.3.1 Distribuce teplotního pole v okolí plazmového výboje typu Gliding Arc

Semena ze své podstaty představují biologický materiál, který je velice citlivý na vyšší teploty. Překročení mezní teploty může vést k nesprávnému klíčení, vzcháživosti nebo následnému vývoji rostlin. Z tohoto důvodu byla provedena detailní analýza teploty plazmového výboje v závislosti na vzdálenosti vzorku semen od plazmové hlavice a na vybraných procesních parametrech. Teplota generovaného výboje je ovlivněna také tvarem samotných elektrod a materiálem. V našich experimentech jsme použili elektrody různých tvarů a materiálu:

- nerezová elektroda obdélníkového tvaru s jedním zaobleným rohem o poloměru 3 mm a tloušťce 3 mm,
- měděná elektroda obdélníkového tvaru s jedním zaobleným rohem o poloměru 3 mm a tloušťce 3 mm,
- nerezová elektroda ve tvaru čtvrtelipsy o tloušťce 3 mm,
- nerezová elektroda ve tvaru čtvrtelipsy o tloušťce 1,5 mm.

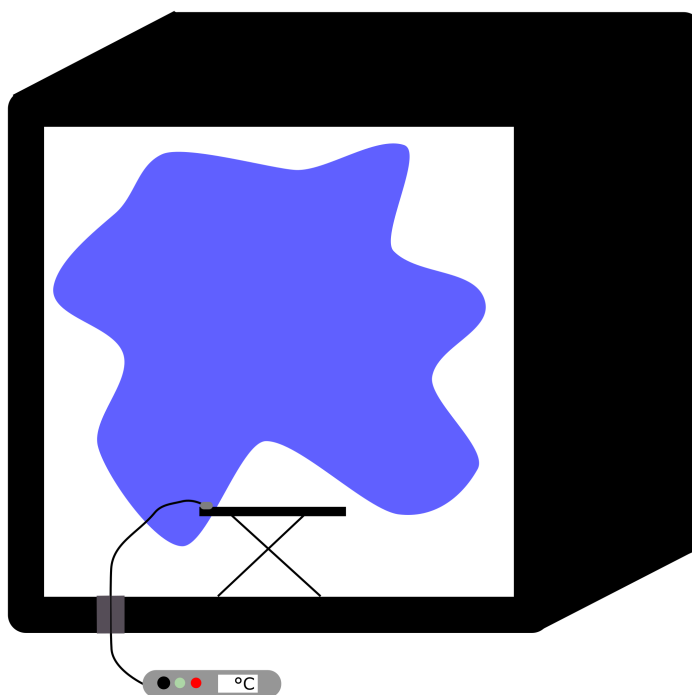
Distribuce teplotního pole byla měřena termočlánkem s teplotní sondou Greisinger GTF 300. Teplota plynu byla měřena v ose Z (obrázek 3.9) výbojového kanálu v různých vzdálenostech od okraje plazmové hlavice při předem definovaném průtoku pracovního plynu tryskou 30 SCFH. Uvažované vzdálenosti byly v rozsahu 20 až 60 mm s krokem 10 mm. Celková doba měření pro každou variantu byla 5 minut, teplota byla zaznamenána každou sekundu s přesností 0,5 °C. Data z termočlánku byla ukládána dataloggerem OM-EL-USB-TC-LCD s USB připojením k PC. Následně byla z naměřených hodnot vypočtena průměrná teplota plynu v daném místě.



Obrázek 3.9: Pozice teplotní sondy

### 3.3.2 Metodika měření teploty mikrovlnného výboje

Plazmový výboj za sníženého tlaku vykazuje jen velmi malé změny v distribuci teplotního pole. Z tohoto důvodu byla teplota měřena pouze v jednom bodě, který byl identický s místem, do kterého se vkládají ošetřované materiály. Čidlo bylo spojeno kabelem s digitálním teploměrem (DTP-900Pro, Čína) umístěným mimo komoru skrze vakuovou průchodku (obrázek 3.10). Měření bylo provedeno pro zapálený výboj v časech 0 až 10 minut v intervalu 1 minuty.



Obrázek 3.10: Umístění teplotní sondy

### 3.3.3 Měření optických spekter

Spektrometrie představuje nejjednodušší metodu, jak stanovit složení plynu a potvrdit přítomnost reaktivních částic. Přítomnost dané částice se ve spektru projeví charakteristickým zvýšením intenzity emitovaného světelného záření. Optická spektra byla získána a vyhodnocena pro atmosférický výboj typu Gliding Arc. V případě mikrovlnného plazmatu za sníženého tlaku je měření optických spekter komplikovaným procesem a v našich laboratorních podmínkách nebylo provedeno.

Optické spektrum plazmového výboje bylo získáno s využitím spektroskopu AvaSpec-ULS2048-USB2 (Avantes, Nizozemsko) – viz obrázek 3.11 (Avantes.com, 2017). Získána data byla následně analyzována softwarem AvaSoft 8. Spektroskopická sonda byla umístěna v ose plazmové hlavice ve vzdálenosti 100 mm od jejího ústí.



Obrázek 3.11: Přístroj na měření optických spekter AvaSpec-ULS2048-USB2

### 3.3.4 Měření příkonu a výkonu plazmového výboje typu Gliding Arc

Příkon plazmové aparatury je klíčovým parametrem pro následné využití navrženého systému v praxi. Zařízení s velkou spotřebou elektrické energie nebude z ekonomického hlediska rentabilní. Důležitou charakteristikou je pak také výkon zařízení, protože výkon trysky se projeví v počtu nagenерованých reaktivních částic. Výkon plazmového systému má tedy přímý vliv na efektivitu procesu ošetření semen.

Na vstupní straně napájecího zdroje bylo provedeno měření skutečného příkonu zařízení v různých pracovních režimech. Měření bylo provedeno měřicím přístrojem Mettler 3836M s adaptérem na vstupních vodičích zdroje napájení. Příkon a výkon plazmové aparatury je ovlivněn především průtokem pracovního plynu. Proto bylo měření těchto veličin provedeno při zapáleném výboji a pro různé hodnoty průtoku pracovního plynu 30, 40, 50 a 60 SCFH.

K určení výkonu plazmové trysky bylo provedeno měření průběhu napětí a proudu na elektrodách plazmové hlavice. Měření bylo provedeno přímo na přívozech elektrod čtyřkanálovým osciloskopem Agilent DSO-X 3034A (Keysight Technologies) s proudovou sondou Agilent 1146B. Na sondě byl nastaven rozsah  $10 \text{ mV} \cdot \text{dílek}^{-1}$ ; tento rozsah byl poté zadán i do osciloskopu, takže dělicí poměry nebylo třeba uvažovat, oscilogram tedy byl zaznamenán v jednotkách V a A). Vzorkovací frekvence osciloskopu byla  $5 \times 10^6$  snímků za sekundu. Naměřená data byla přenesena do PC za účelem dalšího zpracování. Měření byla provedena pro různé hodnoty průtoku pracovního plynu, konkrétně 30, 40, 50 a 60 SCFH. Pro každý průtok byla provedena dvě měření, první s vyšší vzorkovací frekvencí a s délkou záznamu 20 ms odpovídající přesně jedné periodě vstupního harmonického signálu, druhé s nižší vzorkovací frekvencí s délkou záznamu 50 ms odpovídající dvěma a půl periodám vstupního harmonického signálu.

Na získaná data byl aplikován jednoduchý filtr s cílem odstranit šum z naměřeného signálu. Filtrování využilo metody klouzavého průměru vypočteného z 5ti, respektive 15ti po sobě následujících hodnot. Z takto upravených dat byl výkon plazmové hlavice vypočítán metodou numerické integrace lichoběžníkovou metodou. Celková účinnost plazmové aparatury byla vypočtena z naměřeného příkonu a výkonu dle vzorce

$$\eta = \frac{P}{P_0}, \quad (3.1)$$

kde

$\eta$  – účinnost,

$P$  – výkon,

$P_0$  – příkon.



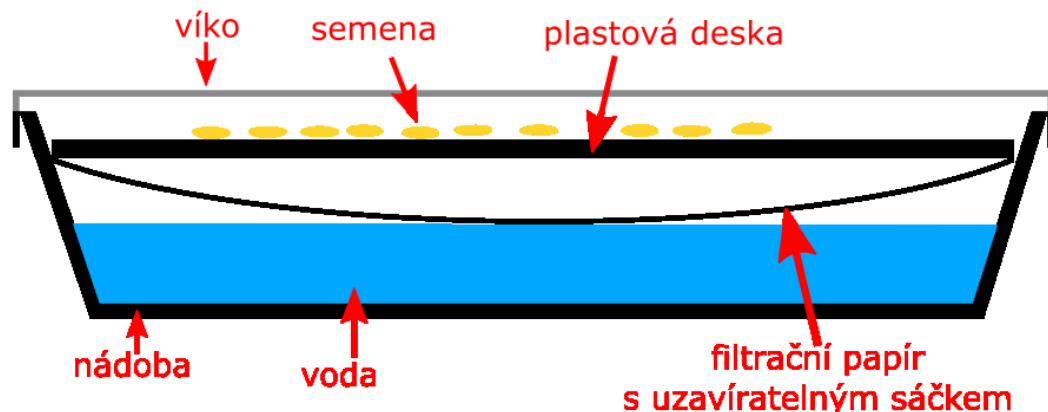
### 3.3.5 Měření příkonu a výkonu mikrovlnného výboje

Mikrovlnný výboj je generován za pomoci mikrovlnného zdroje, na kterém se výkon stanovuje jako procesní parametr. Proto byl měřen pouze příkon mikrovlnného zdroje. Stejně jako v případě výboje typu Gliding Arc byl příkon opět měřen přístrojem Metex 3836M s adaptérem na vstupních vodičích zdroje napájení. Měření příkonu proběhlo pro nastavení mikrovlnného výkonu 500, 600, 700 a 850 W. Na základě naměřených hodnot byla účinnost mikrovlnného zdroje stanovena dle vzorce 3.1.

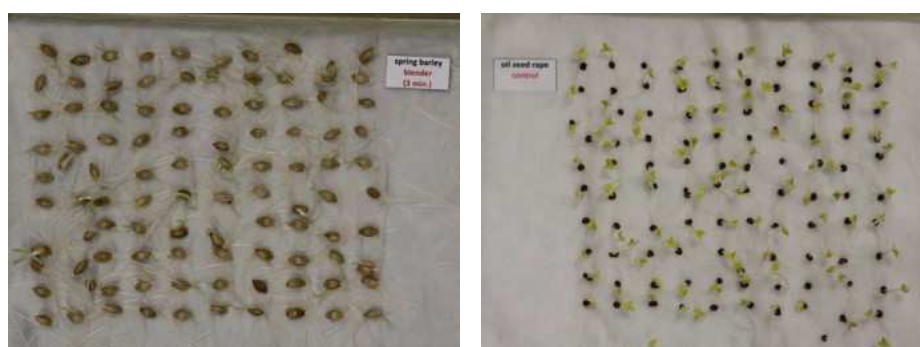
### 3.3.6 Stanovení klíčivosti semen

Testy klíčivosti semen ječmene jarního a řepky ozimé představovaly základní experimenty umožňující posoudit vliv daného způsobu ošetření na biologickou aktivitu semen. Tyto testy slouží nejen k ověření funkčnosti technologie, ale i ke standardizaci postupů pro hodnocení vlivu ošetření semen nízkoteplotním plazmatem.

Klíčivost semen byla stanovována na laboratorním klíčidle (obrázek 3.12), které je tvořeno plastovou nádobou, do které je nalita sterilní voda. Na horní část klíčidla se umístí plastová deska obalená plastovým uzavíratelným sáčkem, který má zamezit kontaminaci semen nežádoucími mikroorganismy. Na obalenou desku se položí arch sterilního filtračního papíru o rozměrech 40 × 40 cm. Rohy filtračního papíru se přeloží tak, aby dosáhly do vody na dně klíčidla a tím bylo umožněno vztlínání vody do papíru. Na vlhký filtrační papír se následně rozmístí obilky resp. semena rostlin. V našich laboratorních experimentech jsme vyskládali 100 obilek do matice 10 × 10 (obrázek 3.13). Po vyskládání semen se klíčidlo uzavře víkem a umístí se do klimatizované místnosti. Klíčení semen pak probíhá při teplotě  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ . Klíčení obilovin a olejnin bylo sledováno každý den v průběhu jednoho týdne a stanoven procentuální počet vyklíčených semen. Po sedmi dnech testu bylo stanoveno procento zdravých rostlin bez přítomnosti houbových nebo bakteriálních chorob.



Obrázek 3.12: Náskres klíčidla



(a) Semena ječmene

(b) Semena řepky

Obrázek 3.13: Semena umístěná na klíčidlech

### 3.3.7 Stanovení smáčivosti povrchu semen

Jednou hypotézou této dizertační práce je, že ošetření plazmovým výbojem má za následek změny ve smáčivosti povrchu semene. V návaznosti na literární rešerši byl navržen a proveden experiment cílený na potvrzení vlivu ošetření plazmovým výbojem na povrchové napětí povrchu semene.

Smáčivost povrchu je charakterizována velikostí kontaktního úhlu mezi semínkem a kapkou vody. Velikost kontaktního úhlu je možno stanovit analýzou makrofotografie. Fotografie byly pořízeny digitálním fotoaparátem Canon EOS 70D (Canon Inc., Japonsko) s makro objektivem Canon MP-E 65 mm f/2.8 1–5× Macro Photo (Canon Inc., Japonsko). Fotoaparát byl nastaven na manuální režim s parametry: rychlost závěrky 1/20 s; clona f/16; ISO-1600; bez blesku; se zdrojem světla pro přisvětlení snímku.

Na semínko se před fotografováním nanese pipetou kapka o objemu 2,3  $\mu\text{l}$ . Pro tuto aplikaci byla použita pipeta Eppendorf Research (Eppendorf, Německo).

Stanovení smáčivosti bylo provedeno pro semena řepky a ječmene. Hodnocení kontaktních úhlů bylo provedeno vždy pro kontrolní neošetřené semeno oproti ošetřeným semenům s různými parametry procesu ošetření (doba ošetření a průtok pracovního plynu). Doba ošetření byla pro tento experiment volena 10, 30 a 60 s, průtok pracovního plynu byl 30 SCFH a 50 SCFH. Ve všech realizovaných variantách byla semena umístěna ve vzdálenosti 8 cm od ústí trysky.

Ošetření semen mikrovlnným výbojem bylo prováděno při parametrech výkonu 500 W a 800 W a doba ošetření byla 10, 30 a 60 s.

Výpočet kontaktního úhlu byl proveden průměrováním pěti naměřených hodnot. Vyhodnocení snímků proběhlo v softwaru Autodesk Inventor 2018, přičemž metodika byla převzata z publikace (Marmur et al., 2017). Metodika popisuje měření tzv. zdánlivého kontaktního úhlu, který lze jako jediný rutinně měřit. Tento kontaktní úhel popisuje „průměrný“ kontaktní úhel pro rozhraní mezi kapkou vody a povrchem semene. Na obrázku se vytvoří dva body podél povrchu semene, které tvoří tečnou přímku protínající bod dotyku kapky vody na semeni. V tomto bodě se dále zkonstruuje tečná přímka k obvodu nanesené kapky. Měření kontaktního úhlu bylo provedeno v pěti opakováních pro eliminaci nepřesností při stanovení dosedu kapky. Na základě těchto měření byl vypočten aritmetický průměr kontaktního úhlu.

### 3.3.8 Stanovení nasákavosti semen

Schopnost semen nasáknout tekutiny souvisí s povrchovými vlastnostmi a jeho strukturou. Nasákavost je klíčová pro iniciaci bobtnání a klíčení. Příjem vody zároveň zastává důležitou roli při vzcházení osiva. Cílem těchto měření je ověřit, zda ošetření plazmovým výbojem vede ke zvýšení obsahu vody v semenech.

Stanovení nasákavosti bylo provedeno jak pro semena řepky, tak pro semena ječmene, a to jak v kontrolní variantě, tak i ve variantě, kdy byla semena ošetřena plazmovým výbojem po dobu 4 minut.

Pro každou variantu bylo naváženo 8 g semínek a poté byly vloženy do nerezového kulatého čajítka s jemným děrováním. Před prvním namočením semínek v čajítku byla obě čajítka zvážena za sucha. Změny hmotnosti semínek v čase se stanoví pomocí analytických digitálních vah Kern 770 (Kern, Německo) (obrázek 3.14), které měří hmotnost s přesností 0,1 mg a maximální měřitelnou hmotností 120 g. Čajítka se semeny musí být po celou dobu experimentu ponořena v nádobě s vodou, viz obrázek 3.15. V časových intervalech po jedné hodině byla semena z vody vyjmuta a po okapání byla stanovena jejich hmotnost. Následně byla vložena zpět do lázně. Po osmi hodinách se interval máčení prodloužil na 16 hodin, protože změny v přírůstku hmotnosti nebyly tak výrazné. Změny hmotnosti semen pro každý časový interval byly stanoveny jako průměr z pěti opakování.



Obrázek 3.14: Měření hmotnosti semen



Obrázek 3.15: Čajítka se semeny ponořená v nádobách s vodou

### **3.4 Metodika polních experimentů**

Paralelně s laboratorními experimenty probíhaly také polní experimenty, jejichž cílem bylo posoudit vliv ošetření semen na výnosotvorné ukazatele. Tyto experimenty byly realizovány se semeny řepky ozimé a ječmene jarního ve třech po sobě následujících letech a pro různé varianty ošetření osiva. Přehled experimentů a jejich základních parametrů je uveden v tabulce 3.10.

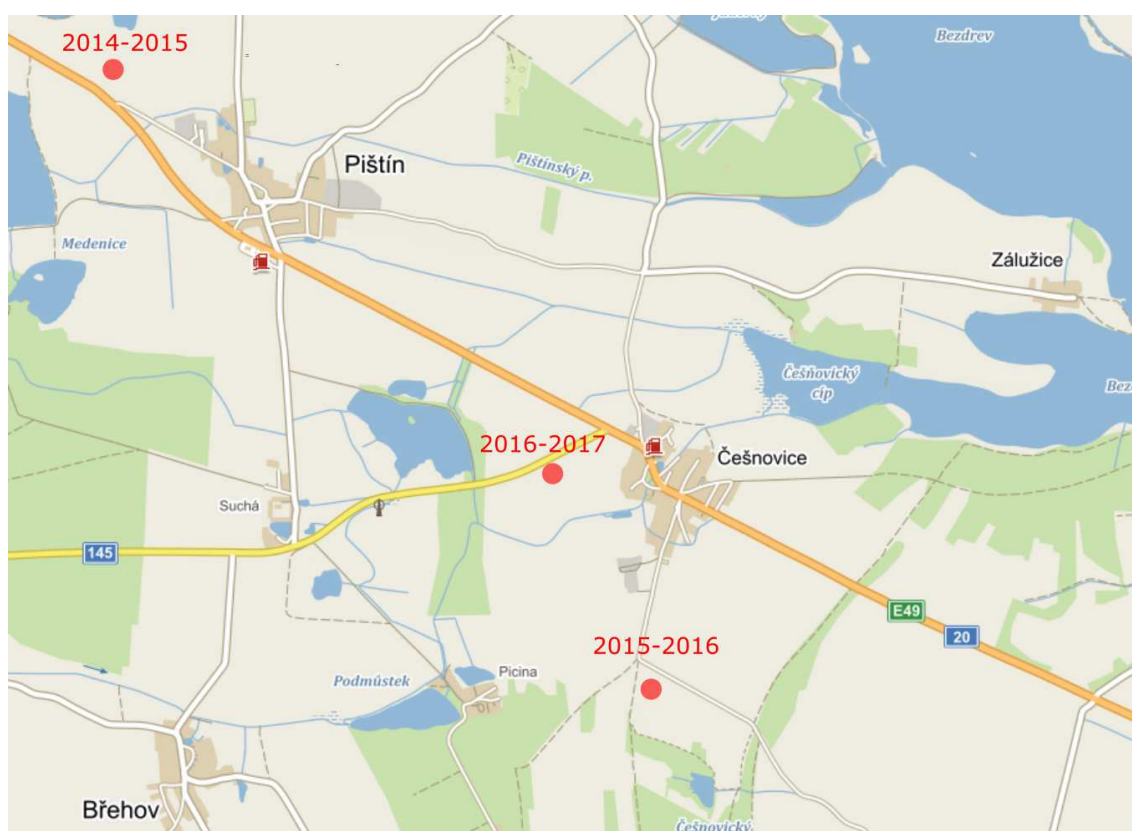
Tabulka 3.10: Přehled experimentů

Plodina	Odrůda	Varianta	Plazma		Typ biopreparátu	Termíny		Lokalita
			Typ	Parametry		Setí	Sklizeň	
Řepka	Cortes	Plazma + Biopreparát	Mikrovlnný výboj	4 min; 500 W	<i>Trichoderma virens</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i>	15.8.2014	17.7.2015	Pištín
		Plazma + Biopreparát				25.8.2015	23.7.2016	Češňovice
	Plazma + Biopreparát	17.8.2016	22.7.2017	Češňovice				
	Plazma + Biopreparát	24.3.2015	12.8.2015					
Ječmen	Francin	Plazma + Biopreparát	Atmosférický výboj	4 min; 10 cm; 30 SCFH	31.3.2016	8.8.2016	Kluky u Písku	
		Plazma + Biopreparát			29.3.2017	3.8.2017		
		Plazma + Biopreparát						

### 3.4.1 Polní experimenty – řepka ozimá

Pro polní experimenty bylo připraveno osivo v sedmi variantách. Polní experimenty byly provedeny během let 2014–2017, přičemž metodika ošetření semen byla ve všech letech stejná. Detailnější popis variant je uveden v kapitole 3.2.

Při zakládání experimentu jsme se snažili volit výměru jednotlivých políček tak, aby byla pro jednotlivé varianty podobná (viz tabulka 3.11). Půdy na kterých byla řepka vyseta jsou charakterizovány jako hnědozem, nadmořská výška políček, kde byly experimenty realizovány, se pohybuje kolem 400 metrů nad mořem. Umístění pozemků je znázorněno na obrázku 3.16. Informace o lokalitách a agrotechnických parametrech jsou uvedeny v tabulce 3.11.



Obrázek 3.16: Lokality pozemků s vysetou řepkou v letech 2014–2017

Tabulka 3.11: Informace o polních experimentech – řepka ozimá

Rok	2014	2015	2016
<b>Lokalita</b>	Pištín	Češňovice	Češňovice
<b>GPS</b>	49.0510033N 14.3240539E	49.0245086N 14.3598881E	49.0349794N 14.3566586E
<b>Setí</b>	15. srpna 2014	25. srpna 2015	17. srpna 2016
<b>Skližeň</b>	17. července 2015	23. července 2016	22. července 2017
<b>Agrotechnické parametry</b>			
<b>Před setím</b>	–	$K_2O$ 80 kg · ha <sup>-1</sup>	$CaO$ 20 kg · ha <sup>-1</sup>
	–	$P_4O_{20}$ 50 kg · ha <sup>-1</sup>	NPK 2 kg · ha <sup>-1</sup>
<b>Po setí</b>	$N$ 140 kg · ha <sup>-1</sup>	Butisan 400 SC 21 · ha <sup>-1</sup>	–
	$P_4O_{20}$ 54 kg · ha <sup>-1</sup>	Clomate 0,21 · ha <sup>-1</sup>	–
	$K_2O$ 40 kg · ha <sup>-1</sup>	smáčedlo Grounden	–
	$S$ 40 kg · ha <sup>-1</sup>	Metarex Inov 3 kg · ha <sup>-1</sup>	–
<b>Přihnojení</b>	regulátory růstu	Agil-S 11 · ha <sup>-1</sup>	Butisan Com. 21 · ha <sup>-1</sup>
	desikanty	Rapid 0,11 · ha <sup>-1</sup>	Metarex inov 3 kg · ha <sup>-1</sup>
	fungicidy	DAM 1001 · ha <sup>-1</sup>	Agil-S 11 · ha <sup>-1</sup>
	insekticidy	Nurelle D 0,61 · ha <sup>-1</sup>	Garland Forte 0,51 · ha <sup>-1</sup>
		Toprex 0,31 · ha <sup>-1</sup>	Vaztak Active 0,21 · ha <sup>-1</sup>
		Borosan Forte 11 · ha <sup>-1</sup>	DAM 1001 · ha <sup>-1</sup>
			Targa 10 EC 0,51 · ha <sup>-1</sup>
			Caryx 0,71 · ha <sup>-1</sup>
			Nurelle D 0,61 · ha <sup>-1</sup>
			Borosan Forte 11 · ha <sup>-1</sup>
<b>Varianty ošetření a jejich výměra</b>			
<b>CTR</b>	0,15 ha	0,09 ha	
<b>Pesticid</b>	0,15 ha	0,09 ha	
<b>Plazma</b>	0,30 ha	0,30 ha	
<b>PL+Tvi</b>	0,30 ha	0,18 ha	0,21 ha
<b>PL+Man</b>	0,30 ha	–	
<b>Tvi</b>	0,30 ha	0,18 ha	
<b>Man</b>	0,30 ha	0,18 ha	

### 3.4.2 Polní experimenty – ječmen jarní

Připravené varianty byly v každém roce vysety na Zkušební stanici v Klukách u Písku. Tato zkušební stanice se nachází v bramborářské výrobní oblasti s nadmořskou výškou 460 m metrů nad mořem. GPS souřadnice pozemku 49°18,90 N, 14°15,09 E (obrázek 3.18). Půda je v této lokalitě písčitohlinitá. Sedm variant ošetření bylo vyseto v náhodně rozmístěných experimentálních políčkách ve čtyřech opakováních. Plazmově ošetřená semena byla vystavena účinku plazmatu po dobu 4 minut. Výměra políček byla cca 11,3 m<sup>2</sup> (1,3 × 10 m) a jejich rozvržení je znázorněno na obrázku 3.17. Agrotechnické parametry pozemku jsou uvedeny v tabulce 3.12.

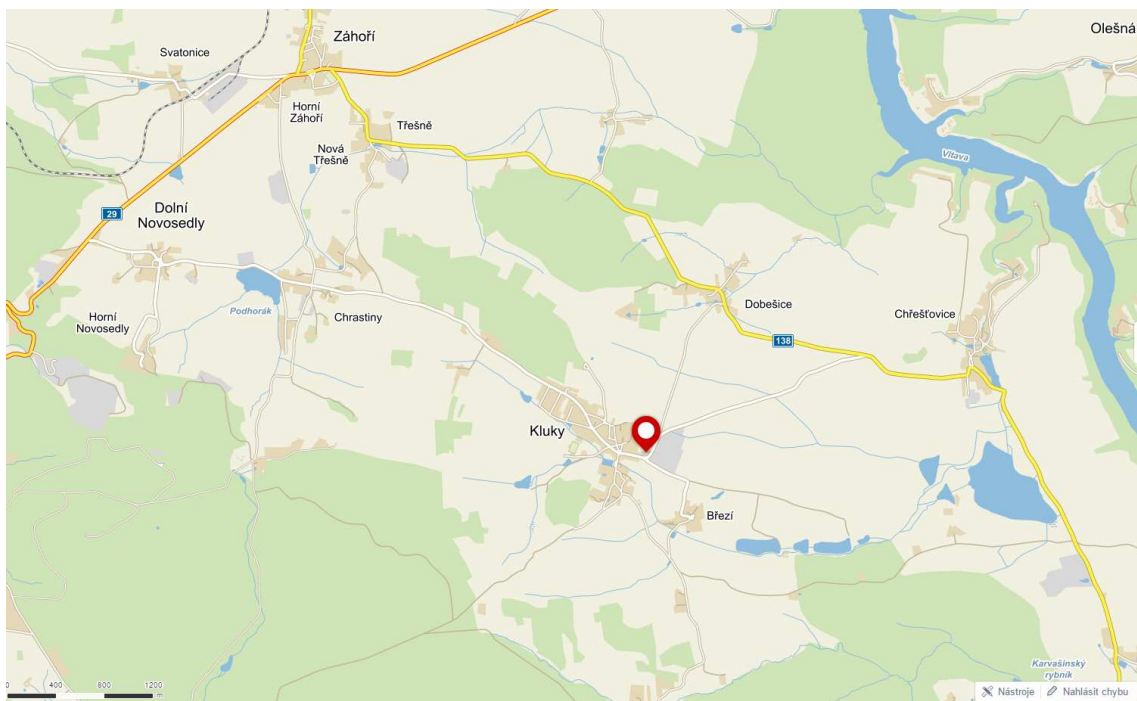
**Tabulka 3.12:** Informace o polních experimentech – ječmen jarní

Rok	2015	2016	2017
<b>Setí</b>	24. března 2015	31. března 2016	29. března 2017
<b>Sklizeň</b>	12. srpna 2015	8. srpna 2016	3. srpna 2017
<b>Agrotechnické parametry</b>			
<b>Ošetření</b>	LAV 27 200 kg · ha <sup>-1</sup> Dusík 54 kg · ha <sup>-1</sup> Biplay SX 35 g · ha <sup>-1</sup> Starane 250EC 0,41 · ha <sup>-1</sup> Hutton 0,81 · ha <sup>-1</sup>	LAV 27 100 kg · ha <sup>-1</sup> Močovina 200 kg · ha <sup>-1</sup> Biplay SX 35 g · ha <sup>-1</sup> Starane 330EC 0,41 · ha <sup>-1</sup> Bontima 21 · ha <sup>-1</sup>	LAV 27 200 kg · ha <sup>-1</sup> Močovina 100 kg · ha <sup>-1</sup> Biplay SX 35 g · ha <sup>-1</sup> Adexar plus 21 · ha <sup>-1</sup> Decis Mega 0,151 · ha <sup>-1</sup>

CTR	Pesticid	Plazma	Pl+Tvi	Pl+Man	Tvi	Man
Plazma	Man	Pl+Man	CTR	Tvi	Pesticid	Pl+Tvi
Man	CTR	Pesticid	Tvi	Pl+Tvi	Plazma	Pl+Man
Pesticid	Pl+Tvi	Tvi	Pl+Man	Man	CTR	Plazma

**Obrázek 3.17:** Rozvržení variant na poli v letech 2015–2017





**Obrázek 3.18:** Lokalita pozemku s vysetým ječmenem v letech 2015–2017

---

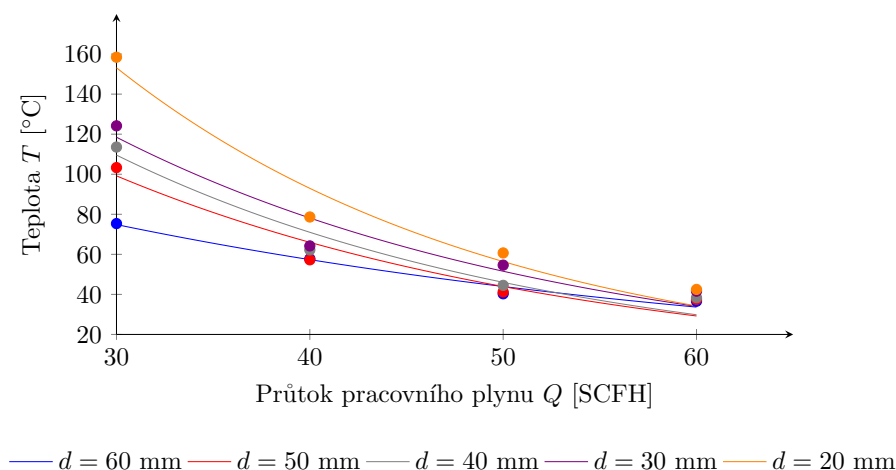
# Kapitola 4

## Výsledky a diskuse

### 4.1 Charakterizace výboje

#### 4.1.1 Teplota pracovního plynu ve výbojovém kanále Gliding Arc

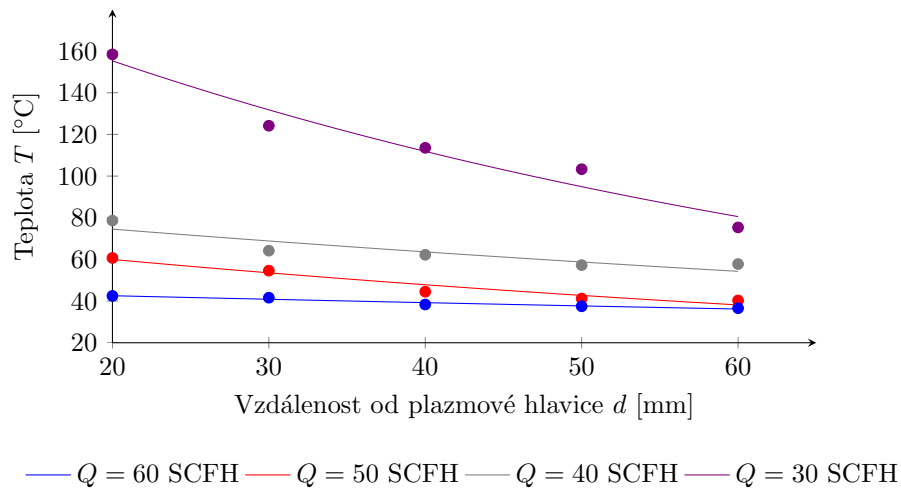
Teplota pracovního plynu byla stanovena v souladu s postupem uvedeným v metodice dizertační práce. Závislost teploty pracovního plynu na jeho průtoku a na vzdálenosti od plazmové hlavice je zobrazena na obrázcích 4.1 a 4.2. Na obrázku 4.3 je pak zobrazena závislost teploty pracovního plynu na vzdálenosti od plazmové hlavice pro různé typy elektrod.



**Obrázek 4.1:** Závislost teploty pracovního plynu na jeho průtoku pro různé vzdálenosti od plazmové trysky

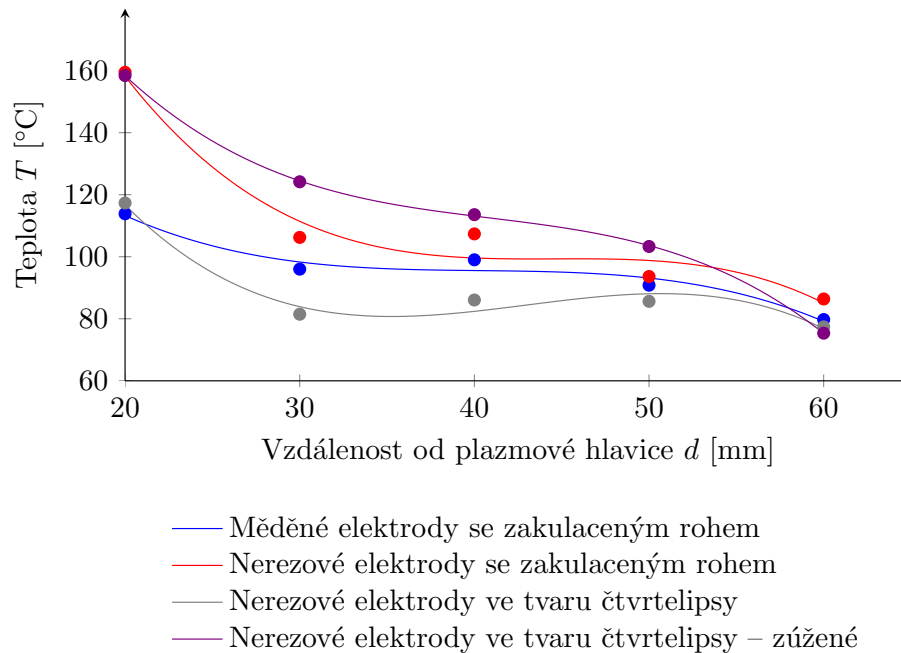
Teplota pracovního plynu se snižuje s rostoucí hodnotou jeho průtoku, přičemž tento pokles je výrazný především pro nižší hodnoty průtoku. Pro vyšší hodnoty průtoku pracovního plynu je pokles výrazně menší.

Teplota pracovního plynu klesá dle očekávání také s rostoucí vzdáleností od plazmové hlavice. Výraznější snižování teploty je patrné především pro situace s malým průtokem pracovního plynu, zatímco při vyšších průtocích je pokles zanedbatelný. Maximální teplota kolem 160 °C byla měřena ve vzdálenosti 2 cm od krytu trysky a průtoku plynu 30 SCFH



**Obrázek 4.2:** Závislost teploty pracovního plynu na vzdálenosti od plazmové hlavice pro různé průtoky

a se zvyšující se vzdáleností a průtokem vzduchu se teplota velmi rychle snižuje. Naopak teplota je téměř nezávislá na vzdálenosti pro hodnoty průtoky pracovního plynu nad 60 SCFH nebo se snižuje s rostoucím průtokem plynu velmi pomalu v případě vzdálenosti 6 cm.



**Obrázek 4.3:** Vliv tvaru a materiálu elektrod na teplotu pracovního plynu

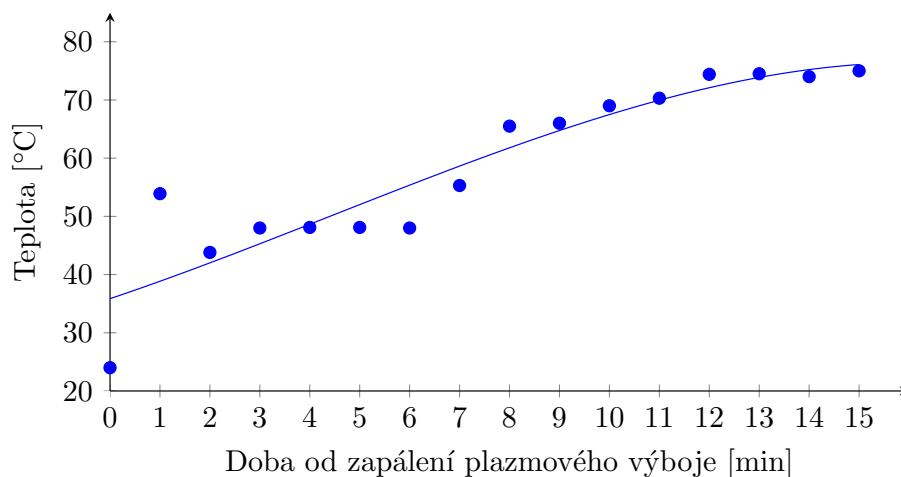
Zajímavé zjištění nabízí obrázek 4.3, kde je možno pozorovat výrazný vliv tvaru a materiálu použitých elektrod na teplotu pracovního plynu. V případě elektrod se zakulaceným rohem byl ve vzdálenosti 20 mm od hlavice plazmové trysky měřen rozdíl teplot až 50 °C. Se vzrůstající vzdáleností se rozdíly v teplotách plynu snižují, nicméně vliv tvaru a ma-

teriálu jednotlivých elektrod je i nadále patrný. Ve vzdálenosti cca 60 mm od plazmové trysky je již vliv tvaru a materiálu jednotlivých elektrod na teplotu pracovního plynu zanedbatelný.

Při ošetření biologického materiálu je velmi důležitá teplota. V případě teploty vyšší než cca 63 °C může docházet k denuraci bílkovin (Matouš, 2010). Z biologického hlediska jsou výsledky naměřených teplot pracovního plynu pozitivním zjištěním. Ve vzdálenosti 60 mm od plazmové trysky je teplota pracovního plynu dostatečně nízká, aby neovlivnila nutriční parametry semen (Havelka, 2019).

#### 4.1.2 Teplota mikrovlnného výboje

Stanovení teploty pracovního plynu u mikrovlnného výboje bylo provedeno dle metodiky uvedené v kapitole 3.3. Výsledky měření jsou uvedeny na obrázku 4.4. Z naměřených hodnot je patrné, že teplota pracovního plynu postupně vzrůstá s dobou od zapálení plazmového výboje, a tento nárůst je významný především v první minutě od zapálení výboje, kdy teplota strmě roste.

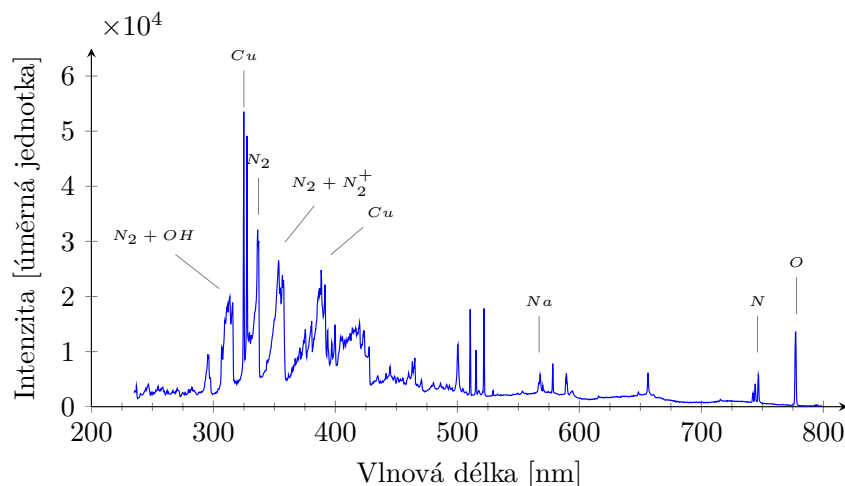


**Obrázek 4.4:** Teplota pracovního plynu v případě mikrovlnného výboje

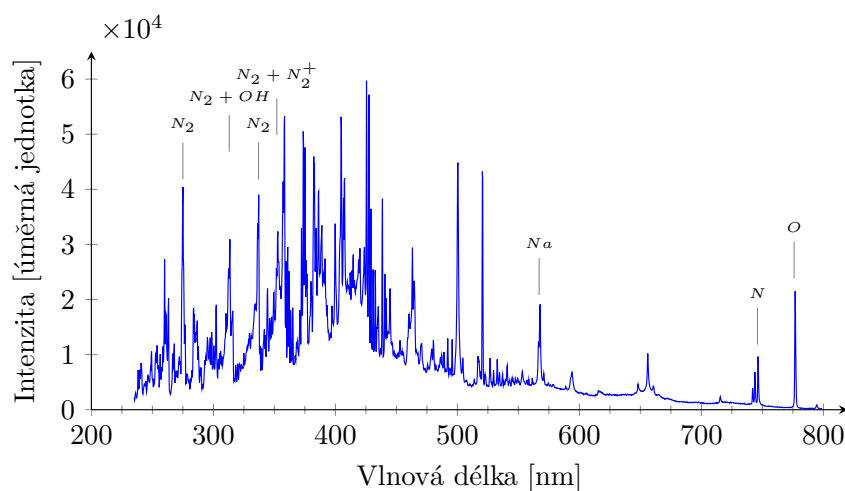
Do 8 minuty od zapálení výboje teplota pracovního plynu nepřesahuje hraniční teplotu, při které dochází k denuraci bílkovin u biologického materiálu. Z hlediska náchylnosti osiva na vysoké teploty je tento výsledek pozitivním zjištěním, protože delší časy jsou z technologického hlediska zcela nevyužitelné.

### 4.1.3 Stanovení optických spekter plazmového výboje

Na obrázcích 4.5 a 4.6 jsou zobrazena optická spektra výboje typu Gliding Arc při průtoku pracovního plynu 30 SCFH. Experimentálně bylo prokázáno, že hodnoty průtoku pracovního plynu významněji neovlivňují chemické složení plynu.



**Obrázek 4.5:** Optické spektrum získané pro měděné elektrody při průtoku pracovního plynu 30 SCFH



**Obrázek 4.6:** Optické spektrum získané pro nerezové elektrody při průtoku pracovního plynu 30 SCFH

Na uvedených spektrech jsou viditelné spektrální čáry potvrzující přítomnost reaktivní částic, které jsou rozhodující pro zvyšování hydrofility povrchu semen. Výrazně jsou viditelné spektrální čáry dvouatomového dusíku  $N_2$  v oblasti UV spektra a spektrální čára atomárního kyslíku v oblasti viditelného spektra. V naměřených spektrech je také patrný vliv materiálu, ze kterého jsou elektrody vyrobeny. Spektrální čáry prokazující přítomnost reaktivních částic jsou patrné s větší intenzitou v případě nerezových elektrod, které jsou tak pro využití v praxi výhodnější.

#### 4.1.4 Příkon a výkon plazmového výboje typu Gliding Arc

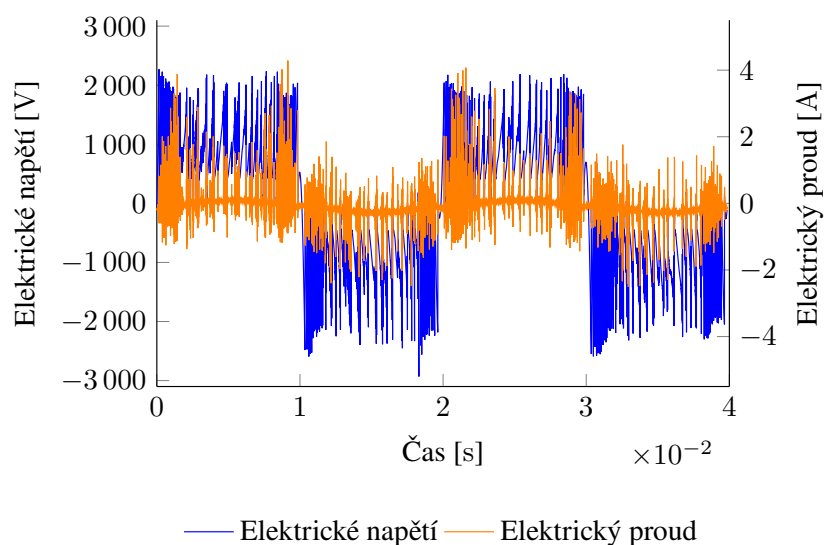
Příkon měřený naprázdno, tj. pouze se zapnutým zdrojem a chladícím ventilátorem, se pohyboval v rozmezí od 43 W do 46 W. Hodnoty stanovené pro zapálený plazmový výboj při různých průtocích pracovního plynu jsou uvedeny v tabulce 4.1. Příkon je téměř nezávislý na průtoku pracovního plynu, změny jsou nepatrné. Tento pokles příkonu byl několikrát experimentálně ověřen a bylo ho dosaženo při všech prováděných měřeních, včetně pozorování skokové změny na úrovni 45 SCFH.

**Tabulka 4.1:** Příkon napájecího zdroje v závislosti na průtoku pracovního plynu

Průtok pracovního plynu [SCFH]	Mezní příkon [W]
30	400
40	400
50	350
60	350

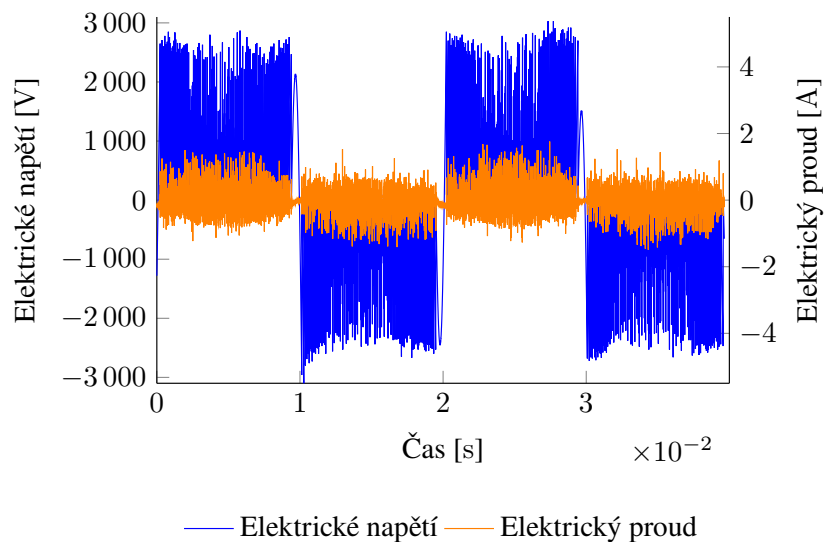
Výkon plazmové trysky byl stanoven z průběhu hodnot elektrického napětí a elektrického proudu metodou numerické integrace, přičemž vstupní data byla před provedením výpočtu filtrována metodou klouzavého průměru z pěti, respektive patnácti hodnot.

Na obrázku 4.7 a 4.8 jsou zachyceny typické nefiltrované průběhy elektrického napětí a proudu u výboje Gliding Arc při průtoku pracovního plynu 30 a 50 SCFH. Na obrázcích je jasně patrná frekvence elektrické sítě 50 Hz a ostré peaky odpovídající jednotlivým mikro-výbojům mezi elektrodami. Těchto mikro-výbojů je výrazně více při průtoku 50 SCFH, což je možno vysvětlit častým přerušením vývojového kanálu v důsledku jeho strhávání proudícím plynem.

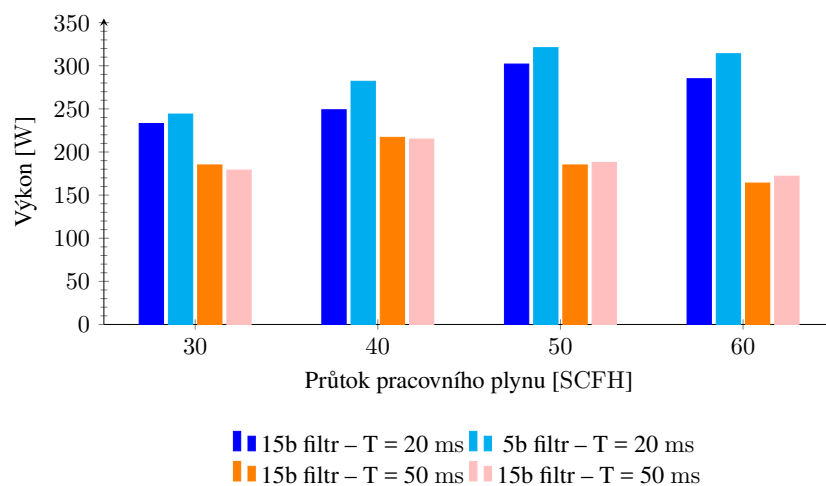


**Obrázek 4.7:** Průběh elektrického napětí a proudu na elektrodách plazmové trysky (50 ms; 30 SCFH)

Výpočet výkonu plazmové trysky z hodnot s tak výraznými gradienty je poměrně náročný a je možno předpokládat, že výsledná hodnota bude zatížena značnou chybou. Výpočet byl proveden ve dvou variantách lišících se délkou pracovního okna, kdy v prvním případě byl použit signál délky 20 ms a v druhém případě 50 ms. Tyto signály pak byly filtrovány opět dvěma způsoby, a to klouzavým průměrem vypočteným z pěti, respektive 15 hodnot. Vypočtené hodnoty pro všechny varianty výpočtu výkonu plazmové trysky jsou zobrazeny na obrázku 4.9.



**Obrázek 4.8:** Průběh elektrického napětí a proudu na elektrodách plazmové trysky (50 ms; 50 SCFH)



**Obrázek 4.9:** Výkon trysky v závislosti na průtoku pracovního plynu pro různé filtry a délky signálu

### 4.1.5 Příkon a výkon mikrovlnného výboje

Stanovení účinnosti mikrovlnného výboje je výrazně snazší, než tomu bylo v předchozím případě. Výkon je totiž nastavován na ovládacím panelu řídicí jednotky jako vstupní procesní parametr. Příkon pak získáváme jako hodnotu z připojeného měřícího přístroje. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.2. Účinnost mikrovlnné aparatury je prakticky nezávislá na hodnotě vstupního výkonu a pohybuje se kolem 66 %.

**Tabulka 4.2:** Naměřené hodnoty příkonu

Číslo měření	Výkon [W]	Příkon [W]	Účinnost [%]
1	500	750	66,7
2	600	920	65,2
3	700	1 060	66,0
4	850	1 290	65,9

Ačkoliv se zdá být účinnost plazmové aparatury nezávislá na vstupním výkonu, je potřeba mít na paměti, že mezi různými zařízeními se bude účinnost zařízení lišit. Zároveň je možno očekávat, že celková účinnost může záviset na frekvenci mikrovlnného zdroje. Roth (1995) uvádí například účinnost mikrovlnného zdroje pracujícího při frekvenci 915 MHz až 85 %.

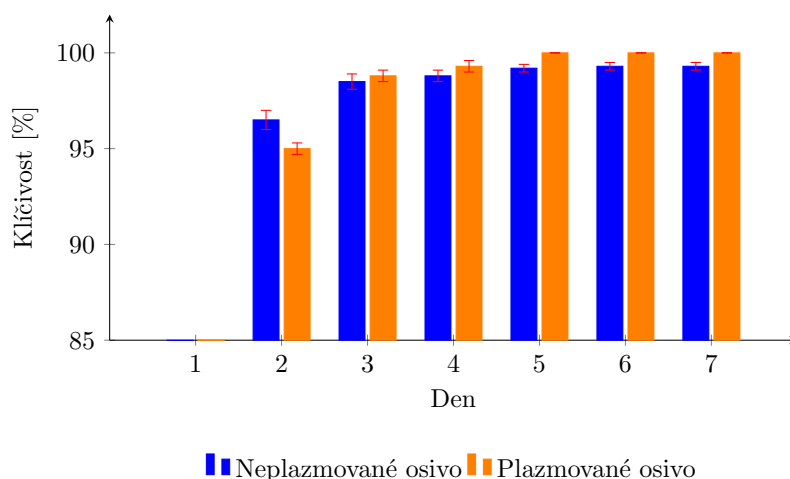


## 4.2 Výsledky laboratorních experimentů a měření

### 4.2.1 Vliv plazmatu na klíčivost semen řepky a ječmene

Výsledky experimentů, které byly provedeny ještě před zahájením projektu, naznačovaly, že klíčivost semen je ovlivňována nejen typem plazmového výboje, ale také jeho parametry. Semena olejnin obecně lépe reagovala na ošetření v nízkotlaké plazmové aparatuře, zatímco obilniny vykazovaly lepší výsledky při ošetření plazmovým výbojem za atmosférického tlaku. Ačkoliv jsme v tomto směru neprováděli žádné další podrobnější analýzy a statistická testování, předpokládáme, že při ošetření olejnin plazmovým výbojem za atmosférického tlaku dochází k jejich snazšímu zahřívání z důvodu většího obsahu oleje, které následně ovlivňuje klíčivost.

Z řady výsledků byly pro potřeby této dizertační práce vybrány výsledky získané pro semena ošetřená postupem v části Metodika. Obrázek 4.10 a tabulka 4.3 shrnují klíčivost semen řepky ošetřených a neošetřených plazmovým výbojem. Ošetření semen má jen minimální vliv na jejich klíčivost, odchylky se pohybují v toleranci statistické chyby. Zvýšení klíčivosti semen řepky po ošetření plazmovým výbojem bylo nicméně sledováno jinými výzkumnými týmy, například Puligundla et al. (2017) a Schnabel et al. (2012).

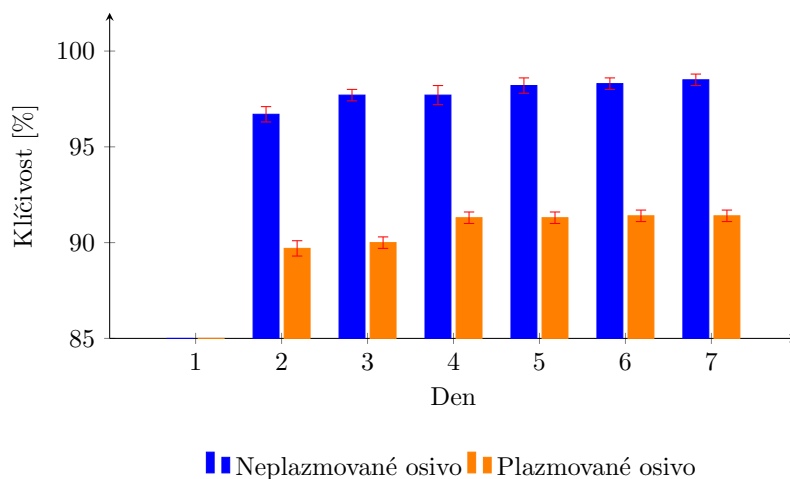


**Obrázek 4.10:** Klíčivost řepky ozimé hodnocená během 7 dnů

**Tabulka 4.3:** Relativní klíčivost řepky ozimé hodnocená během 7 dnů

Den	1	2	3	4
Neošetřené semeno	35,0 ± 1,1	96,5 ± 0,5	98,5 ± 0,4	98,8 ± 0,3
Ošetřené semeno	33,3 ± 1,5	95,0 ± 0,3	98,8 ± 0,3	99,3 ± 0,3
Den	5	6	7	
Neošetřené semeno	99,2 ± 0,2	99,3 ± 0,2	99,3 ± 0,2	
Ošetřené semeno	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	

Ošetření plazmovým výbojem se naopak projevilo na klíčivosti semen ječmene jarního, kde klíčivost plazmově ošetřených semen poklesla až o sedm procent v porovnání s kontrolní variantou, tj. plazmově neošetřenými semeny. V odborné literatuře jsou nicméně prezentovány výsledky (např. Dubinov et al. (2000); Park et al. (2016)), kdy ošetření plazmovým výbojem prakticky neovlivnilo klíčivost semen. Obrázek 4.11 a tabulka 4.4 shrnují klíčivost semen ječmene ošetřených a neošetřených plazmovým výbojem.



**Obrázek 4.11:** Klíčivost ječmene jarního hodnocená během 7 dnů

**Tabulka 4.4:** Relativní klíčivost ječmene jarního hodnocená během 7 dnů

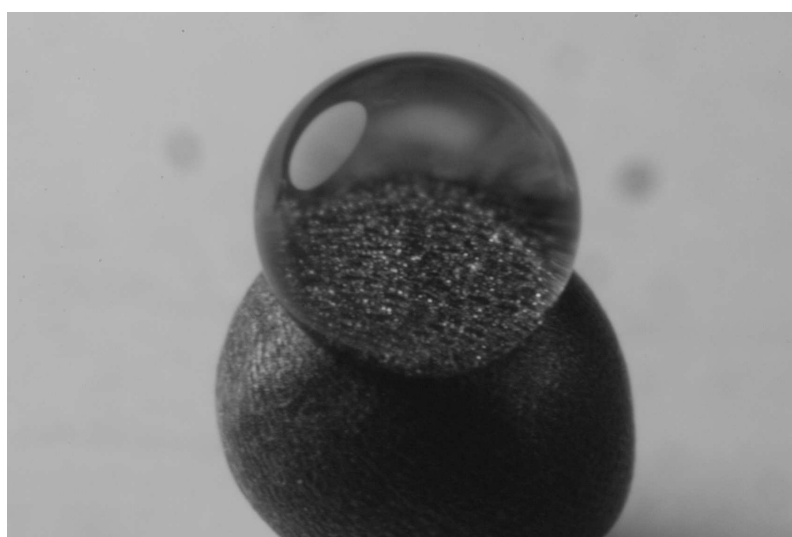
Den	1	2	3	4
Neošetřené semeno	16,0 ± 0,4	96,7 ± 0,4	97,0 ± 0,3	97,7 ± 0,5
Ošetřené semeno	16,4 ± 0,2	89,7 ± 0,4	90,0 ± 0,3	91,3 ± 0,3
Den	5	6	7	
Neošetřené semeno	98,2 ± 0,4	98,3 ± 0,3	98,5 ± 0,3	
Ošetřené semeno	91,3 ± 0,3	91,4 ± 0,3	91,4 ± 0,3	

V laboratorních podmínkách byla sledována přítomnost různých druhů hub napadajících vzorky semen. Před ošetřením byla u kontrolních vzorků plodin identifikována přítomnost hub rodu *Alternaria*, u obilovin pak rod *Fusarium*. V některých vzorcích bylo pozorováno napadení houbou *Penicilium*. Dále byla semena hodnocena z hlediska fyzikálního poškození. Mezi neošetřenými a ošetřenými semeny nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly.

#### 4.2.2 Vliv plazmového výboje na smáčivost povrchu semen

Smáčivost povrchu semen je ovlivněna nejen strukturou povrchu, ale také jeho chemickým složením. Ošetření pomocí plazmového výboje umožňuje navázat na povrch semen hydrofilní chemické skupiny, které vedou ke zvýšení jeho smáčivosti. Smáčivost povrchu je možno charakterizovat velikostí tzv. kontaktního úhlu, tj. úhlu, který je svíráán mezi povrchem kapky vody a povrchem semene.

Ošetření plazmatem zvýšilo smáčivost povrchu semen řepky. Tato změna je na obrázku 4.12, na kterém je makrofotografie povrchu ošetřeného a neošetřeného semene, dobře pozorovatelná pouhým okem. Podrobnou analýzou snímků se pak podařilo stanovit hodnotu kontaktního úhlu pro neošetřené semeno, která byla  $135^\circ$ , v případě ošetřených semen  $108^\circ$ .



(a) Neošetřené semeno

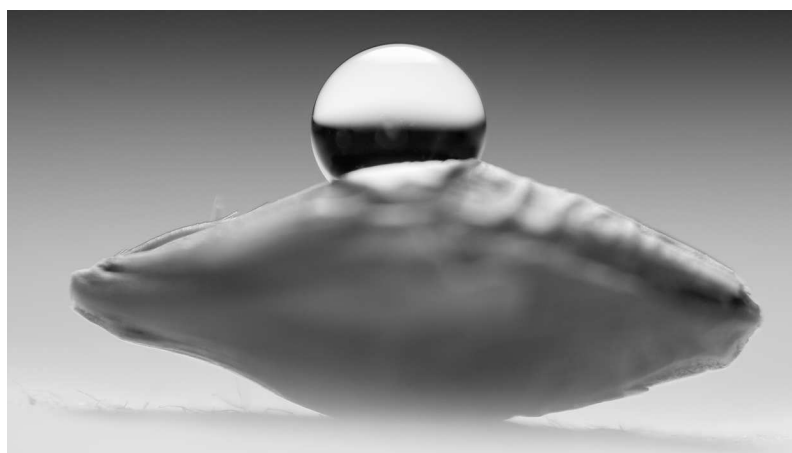


(b) Ošetřené semeno

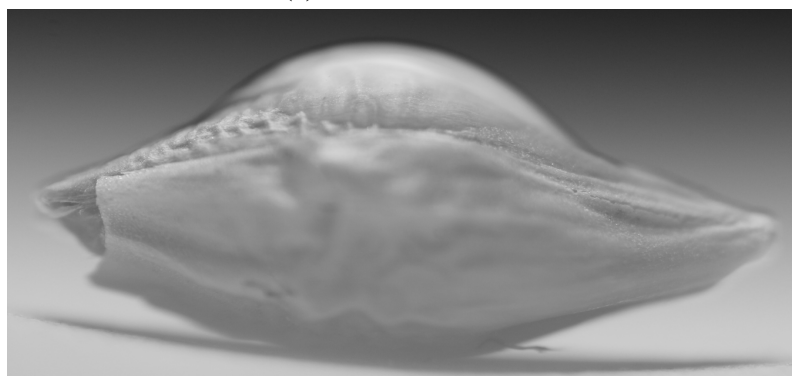
**Obrázek 4.12:** Makrofotografie povrchu semene řepky s nanesenou kapkou

Změny smáčivosti povrchu byly ještě více patrné u semen ječmene jarního a z důvodu větších rozměrů semene byly také snáze pozorovatelné (viz obrázek 4.13). V případě

neošetřeného semene je kontaktní úhel  $119^\circ$ , v případě ošetřeného je úhel pouze  $52^\circ$ . Kapka smáčí povrch ošetřeného semene daleko větší plochou. Tento výsledek je velice důležitý pro naplnění cílů této dizertační práce, tj. zlepšení přilnavosti biologického preparátu. Menší kontaktní úhel a vyšší povrchové napětí znamenají vhodnější podmínky pro uchycení spor prospěšných hub a přispívají k rovnoměrnějšímu pokrytí celého povrchu semene sporami.



(a) Neošetřené semeno



(b) Ošetřené semeno

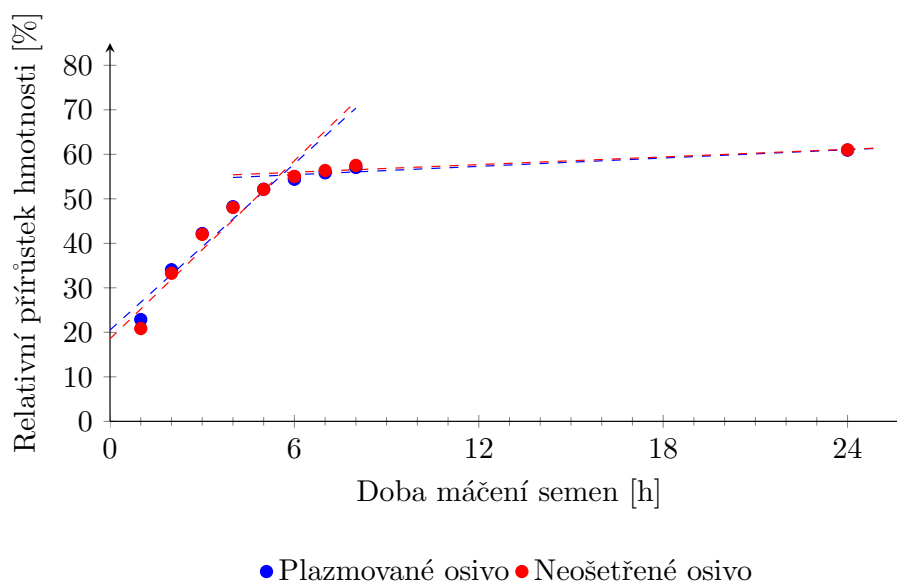
**Obrázek 4.13:** Makrofotografie povrchu semene ječmene s nanesenou kapkou

Provedené experimenty cílené na zjištění vlivu ošetření plazmovým výbojem na povrchové napětí povrchu semene prokázaly, že dochází ke zvýšení tohoto napětí. Tento výsledek byl potvrzen snížením naměřeného kontaktního úhlu mezi nanesenou kapkou a povrchem semene. Zjištění je v souladu s předešlými vědeckými publikacemi, které zmiňují snížení kontaktního úhlu při ošetření semen plazmovým výbojem (da Silva et al., 2017; Guimarães et al., 2015; Junior et al., 2016). Dále bylo prokázáno, že hodnoty kontaktních úhlů nejsou významněji ovlivněny použitými procesními parametry plazmového výboje. Podobné výsledky poukazují i publikace autorů Sadhu et al. (2017) a Medvecká et al. (2019), kteří analogicky využili plazmových výbojů ke snížení kontaktních úhlů u různých plodin. Na základě výsledků je pak možno konstatovat, že plazmový výboj lze použít ke snížení smáčivého úhlu u vybraných druhů semen.

### 4.2.3 Vliv plazmatu na nasákavost semen

Semena po ponoření do vody začnou tekutinu vsakovat, což se projeví zvyšováním hmotnosti semen. Jedná se o přirozený jev, který je významný z pohledu klíčení i dalšího růstu rostliny. Experimenty zaměřené na stanovení nasákavosti semen ošetřených a neošetřených pomocí plazmového výboje měly za cíl prokázat, zda ošetření semen plazmovým výbojem má za následek strukturální změny v jejich povrchu, které by se projeví intenzivnějším nasákáním vody. V úvahu připadají například praskliny povrchových struktur, vznik pórů a podobně.

Příjem vody byl zjišťován na základě relativního přírůstku hmotnosti máčených semen vztaženého k původní hmotnosti suchých semen. Výsledky experimentů se semeny řepky ozimé jsou shrnuty na obrázku 4.14. Během prvních šesti hodin od začátku namáčení semen jejich hmotnost strmě roste, přičemž nárůst hmotnosti za jednotku času u ošetřených semen a neošetřených semen je prakticky stejný. Přibližně po osmi hodinách od začátku experimentu je možno pozorovat jistý zlom, kdy množství přijaté kapaliny za jednotku času klesá, což se v grafu projevuje menší změnou hmotnosti semen.



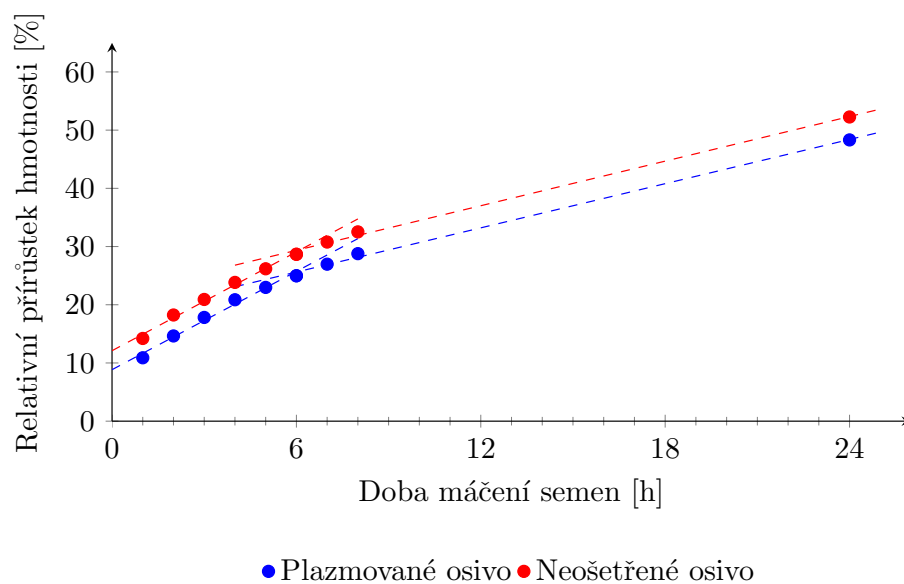
**Obrázek 4.14:** Průběh nasákavosti u semen řepky ozimé

V případě semen ječmene jarního byla rychlost příjmu vody nižší než v případě semen řepky, nicméně z pohledu dynamiky celého procesu jsou si oba dva průběhy značně podobné. Výsledky experimentů se semeny ječmene jarního jsou shrnuty na obrázku 4.15. V prvních přibližně osmi hodinách opět dochází k výraznému nárůstu hmotnosti semen, následně se relativní přírůstky hmotnosti zmenšují.

Provedené experimenty naznačují, že ošetření semen plazmovým výbojem nemá zásadní vliv na jejich schopnost vsakovat vodu z okolního prostředí. Ačkoliv byl u semen ječmene jarního ošetřených plazmovým výbojem pozorován o něco menší přírůstek hmotnosti v porovnání s neošetřenými semeny, statisticky je tento rozdíl nevýznamný.

V dostupné literatuře se nepodařilo nalézt podobnou studii provedenou pro plodinu ječmen jarní, nicméně v publikacích, které prezentují výsledky experimentů provedených s jinými zemědělskými plodinami, jako je hrách setý, pšenice nebo artyčok, bylo u se-

men, která byla ošetřena plazmatem, pozorováno zpravidla zvýšení příjmu vody oproti neošetřeným semenům (Hosseini et al., 2018; Shapira et al., 2017; Stolárik et al., 2015; Zahoranová et al., 2016).



**Obrázek 4.15:** Průběh nasákavosti u semen ječmene

## 4.3 Polní experimenty

### 4.3.1 Polní experimenty se semeny řepky ozimé

Výnosy a relativní výnosy dosažené během polních pokusů, které se uskutečnily v letech 2014–2017, jsou uvedeny v tabulce 4.5 a na obrázku 4.16. Hodnota pro variantu „Plazma+Man“ v roce 2016 není uvedena, protože došlo k významnému poškození porostu, kvůli čemuž nebylo možno výnos objektivně stanovit. Ačkoliv se nepodařilo ve všech sledovaných letech zajistit naprosto stejné podmínky pro růst rostlin, což do značné míry také komplikuje následnou interpretaci naměřených hodnot, jedná se zřejmě o první podobnou studii provedenou v polních podmínkách. Dosavadní výsledky byly realizovány zpravidla v laboratorních podmínkách s velmi malým počtem rostlin a s precizně řízeným prostředím. Laboratorní experimenty tedy nesimulují dostatečně všechny faktory, které růst rostlin ovlivňují. Výsledky byly publikovány v článku (Strejčková et al., 2018).

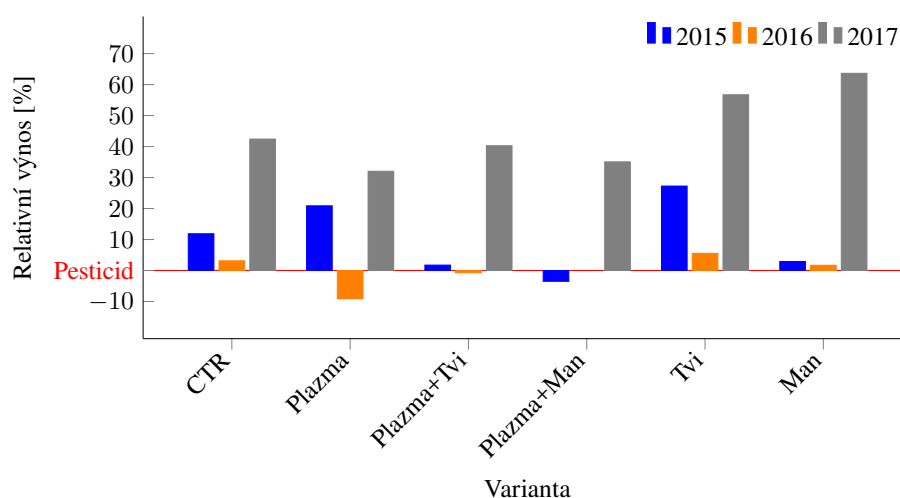
**Tabulka 4.5:** Porovnání výnosu řepky ozimé v letech 2015–2017

Varianta	Výnos rostlin [ $t \cdot ha^{-1}$ ]		
	2015	2016	2017
Kontrola	3,86	4,29	3,29
Pesticid	3,45	4,16	2,31
Plazma	4,17	3,78	3,05
Plazma+Tvi	3,51	4,13	3,24
Plazma+Man	3,33	N/A	3,12
Tvi	4,39	4,39	3,62
Man	3,55	4,23	3,78

V prvním roce dosáhly varianty semen ošetřené plazmatem a plazmatem v kombinaci s mykoparazitickou houbou *T. virens* většího výnosu než chemicky mořená semena. Rozdíl ve výnosu činil 20,9 %, respektive 1,7 % v porovnání s variantou Pesticid. Odběrem vzorků rostlin a následnou analýzou velikosti jejich jednotlivých částí bylo také zjištěno, že semena ošetřená plazmatem doplněná ochranou pomocí biologického preparátu obsahujícího spory houby *T. virens* byla více stimulována k růstu, což se projevilo mimo jiné tím, že kořenový systém byl silnější, delší a hustší. Takovýto kořenový systém poskytuje rostlinám konkurenční výhodu a je dobrým předpokladem pro zdraví rostlin a jejich dobrý vývoj (viz obrázky 4.17 a 4.18).

V roce 2016 naopak lepších výnosů dosahovaly rostliny, které spadaly do varianty „Pesticid“. Varianta „Plazma“ a „Plazma+Tvi“ dosáhla nepatrně horších výsledků. Naopak varianty „Tvi“ a „Man“, které nevyužívají ošetření semen pomocí plazmového výboje, dosáhly nepatrně lepších výsledků, než je tomu u varianty „Pesticid“.

Tyto výsledky byly rozporu s našimi očekáváními. Pozorování porostu během vegetace rostlin totiž naznačovalo, že výnosy u variant využívajících ošetření plazmatem budou výrazně vyšší. Růst rostlin, nástup kvetení a zrání byly obecně pro tyto varianty rychlejší.



**Obrázek 4.16:** Relativní výnos jednotlivých variant ošetření řepky ozimé vzhledem k chemické ochraně



(a) Rostliny plazmově ošetřených semen

(b) Rostliny neošetřených semen

**Obrázek 4.17:** Dvě varianty rostlin vyšeté vedle sebe na stejném pozemku

Rostliny byly mnohem silnější a robustnější než rostliny, které pocházeli z neošetřených vzorků – viz obrázek 4.18. Disponovaly silnějším kořenovým systémem, více větvemi a šesulemi na větvích. Průměrná hmotnost semen v jedné šesuli byla také vyšší. Kvůli rychlejšímu růstu ukončovaly rostliny ošetřené plazmovým výbojem vegetační dobu o něco dříve než kontrolní varianta a varianta „Pesticid“. Nicméně sklizeň probíhala u všech variant ve stejném období, které bylo s ohledem k silným deštům a rozmáčené půdě opožděné. Varianty „Plazma“ a „Plazma+Tvi“ tak byly sklizeny s výraznými ztrátami.

V sezoně 2017 byl proveden totožný polní pokus s řepkou ozimou. Pokles výnosu byl rovnoměrný pro všechny vyšeté varianty a koreloval s celorepublikovým průměrem. Také poměry mezi jednotlivými variantami se velice podobají poměrům, které byly zjištěny v letech 2015 a 2016. Naneštěstí varianta „Pesticid“ vykazuje výraznou odchylku a nemůže být tedy využita k dalšímu vyhodnocení.





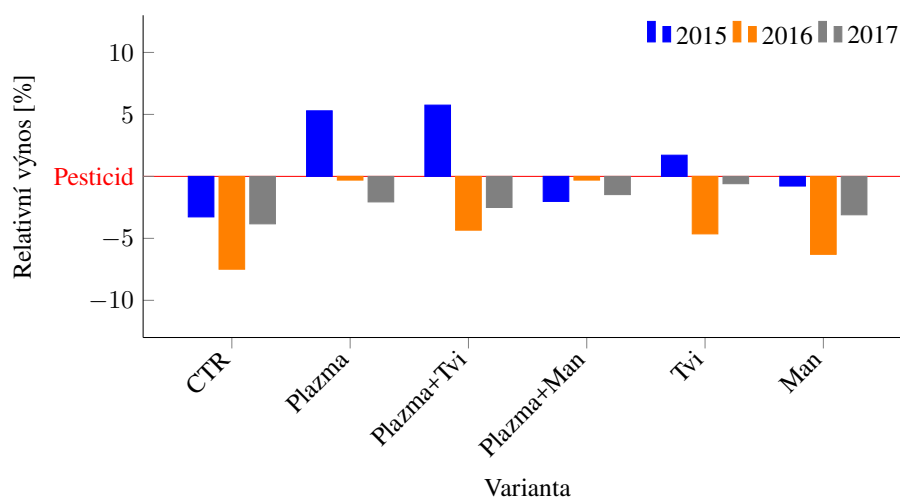
**Obrázek 4.18:** Porovnání růstu rostlin řepky

### 4.3.2 Polní experimenty se semeny ječmene jarního

Výnosy semen ječmene jarního v jednotlivých variantách stanovených během pokusů realizovaných v letech 2014 až 2017 jsou uvedeny v tabulce 4.6. V tabulce 4.19 jsou vypočteny relativní výnosy v jednotlivých letech v porovnání s variantou „Pesticid“. V porovnání s hodnotami, které byly získány pro semena řepky ozimé, jsou výsledky získané pro různé varianty ošetření semen ječmene jarního výrazně méně rozkolísané. Již na první pohled je možno konstatovat, že vliv ošetření semen na výnos plodiny není možné v žádném z uvedených let jednoznačně prokázat. Pohled na klasy ječmene rostlin z různých variant je na obrázku 4.20.

**Tabulka 4.6:** Porovnání výnosu ječmene jarního v letech 2015–2017

Varianta	Výnos rostlin [ $t \cdot ha^{-1}$ ]		
	2015	2016	2017
Kontrola	6,22	6,18	6,52
Pesticid	6,43	6,68	6,78
Plazma	6,77	6,66	6,64
Plazma+Tvi	6,80	6,39	6,61
Plazma+Man	6,30	6,66	6,68
Tvi	6,54	6,37	6,74
Man	6,38	6,26	6,57



**Obrázek 4.19:** Relativní výnos jednotlivých variant ošetření ječmene jarního vzhledem k chemické ochraně



**Obrázek 4.20:** Porovnání klasů ječmene jarního u různých variant ošetření

---

## Kapitola 5

# Zařízení pro poloautomatické ošetření semen

Osivo, které bylo využíváno v laboratorních i polních experimentech, bylo plazmatem ošetřeno v dávkovém režimu. Z hlediska časové náročnosti procesu ošetření i z pohledu ekonomického je však výhodnější použít režim kontinuální. Proto byl vedle realizace laboratorních a polních experimentů dalším z cílů této dizertační práce vývoj zařízení pro poloautomatické ošetření semen v kontinuálním režimu.

Zařízení se skládá ze dvou na sebe navazujících částí, kdy první část umožní fyzikální ošetření semen pomocí nízkoteplotního plazmatu, a z druhé části, kdy je na povrch semen nanesen vhodný biologický preparát. Obě části lze po drobné úpravě využít i samostatně nezávisle na sobě. Fotografie celého zařízení pro duální ošetření je na obrázku 5.1.



**Obrázek 5.1:** *Systém pro duální ošetření semen*

První část tvoří dopravník, který slouží k ošetření semen atmosférickým plazmatem typu Gliding Arc. Semena jsou v této části linky plazmatem ošetřena za účelem jejich dekontaminace od různých patogenů a škodlivin. Pozitivně jsou ovlivněny také jejich povrchové vlastnosti, díky čemuž dochází ke kvalitnějšímu uchycení biologické ochrany na povrchu semen.

Druhou část tvoří šnekové zařízení, ve kterém jsou semena máčena v suspenzi mykoparazitických či entomopatogenních hub rozmíchaných v 0,05% roztoku smáčedla Tween 80 s přísávkem karboxymethylcelulózy jakožto adheziva. Šnekový dopravník namořená semena transportuje ze suspenze ven do nádoby k dalšímu zpracování – usušení a skladování.

## **5.1 Systém pro fyzikální ošetření semen**

Za účelem vytvoření poloautomatického systému byly testovány dva typy dopravníků, a to šnekový a pásový dopravník. Oba systémy dopravníku využívají stejné nosné konstrukce a lze je jednoduše zaměnit. Nosná konstrukce je tvořena základním rámem z hliníkových profilů ITEM navrženým a vyrobeným na zakázku firmou Haberkorn Ulmer s.r.o. K rámu je možné připevnit požadovaný počet plazmových trysek, v našem případě jsme používali 6 kusů. Trysky je možné posouvat ve svislém i vodorovném směru, zároveň je možné trysky naklánět ve dvou směrech, což umožňuje měnit vzdálenost plazmové hlavičky od semen. Samotné trysky jsou napájeny z vysokonapěťových zdrojů umístěných v řídicím racku s elektronickým ovládním.

### **5.1.1 Šnekový dopravník**

Vlastní tělo šnekového dopravníku je tvořeno válcovou ocelovou trubkou, ve které jsou vyříznuty dva podélné otvory, nad kterými jsou umístěny plazmové hlavičky (obrázek 5.2). U jednoho otevřeného konce trubky je umístěn motor, pomocí něhož je ovládáno otáčení vnitřní spirály. V blízkosti tohoto konce je nad okrajem prvního podélného okna upevněn poloautomatický dávkovač semen a zásobník na uložení semen k ošetření. Druhý okraj trubky je volně otevřený a vypadávají jím semena prošlá celým zařzením do vhodné nádoby na ošetřená semena (např. bedna, box, krabice, pytel apod.).

Šnekový systém využívá k posunu semen bezosou spirálu firmy Rataj, a.s. Bezosá samonosná spirála uvnitř těla dopravníku slouží nejen k rovnoměrnému posunu, ale i k promíchávání a obracení semen během průchodu dopravníkem pod plazmovými hlavičkami. Bezosé provedení má výhodu v tom, že v případě nenadálého městnání semen v závitě spirály (z jakéhokoliv důvodu) nedochází k destrukci semen tlakem, protože semena mohou snadno propadávat vnitřním otvorem spirály zpět do prostoru předchozího závitu. Parametry šnekového dopravníku jsou uvedeny v tabulce 5.1.

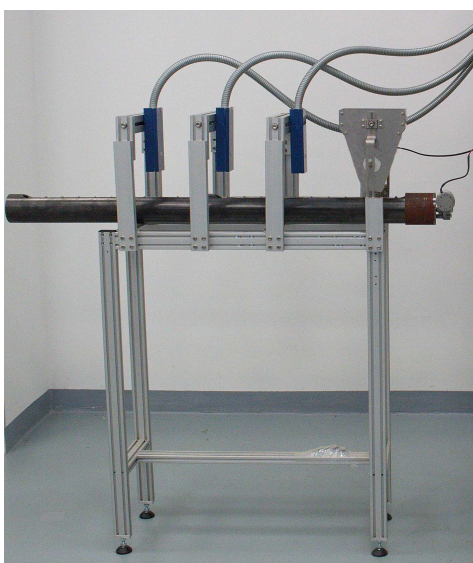
Výhodou šnekového dopravníku je účinné promíchávání semen při jejich posunu. Ošetřovaná semena mají přesně stanovenou cestu a nemohou tak uniknout z prostoru, ve kterém dochází k ošetření plazmatem. Nevýhodou systému je možnost mechanického poškození semen v případě, že dojde k jejich vniknutí do prostoru mezi spirálou a vnitřní stěnou trubky. Limitujícím faktorem, omezujícím použití tohoto dopravníku, je vzdálenost

mezi ošetřovanými semeny a ústím plazmové trysky. Tuto vzdálenost není možné zmenšit pod 65 mm. Zároveň při takto malé vzdálenosti dochází k výraznému ohřívání spirály dopravníku.

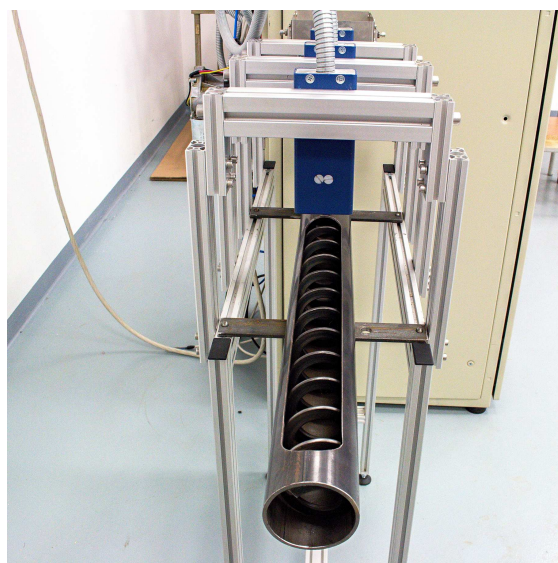
Mezi hlavní nevýhody tohoto konstrukčního řešení patří především použití kovových materiálů, které jsou elektricky vodivé a snižují tak koncentraci reaktivních částic v plazmatu.

**Tabulka 5.1:** Parametry šnekového dopravníku

Ocelová trubka		Spirála	
Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
Délka	1000 mm	Vnější průměr	60 mm
Průměr	70 mm	Vnitřní průměr	36 mm
Tloušťka	4 mm	Tloušťka	4,3 mm
		Stoupání závitu	40 mm



(a) Boční pohled na šnekový dopravník



(b) Přední pohled na šnekový dopravník

**Obrázek 5.2:** Pohled na šnekový dopravník

### 5.1.2 Pásový dopravník

Pásový dopravník je realizován formou nekonečného pásu z Ropanylu EM 8/2 00+02 s antistatickou povrchovou úpravou o šířce 186 mm a délce 2346 mm. Pás je napnut mezi hnacím a hnaným bubnem s napínáky (obrázek 5.3). Dopravník je poháněn stejnosměrným elektromotorem. Parametry pásového dopravníku jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Pro posuv a vedení semen po pásu byly vytvořeny usměrňovací lišty ve dvou pracovních cestách. Šířka pracovní cesty byla zvolena s ohledem na šířku aktivní části plazmového výboje. Těmito lištami jsou semena vedena pod systémem plazmových trysek. Lišty byly vyrobeny z teflonu o tloušťce 2 mm a z vnějších stran pracovní cesty byly vyztuženy nerezovým plechem o tloušťce 1 mm pro zajištění pevnosti (obrázek 5.5). Rozměry teflonových lišt jsou na obrázku 5.4.

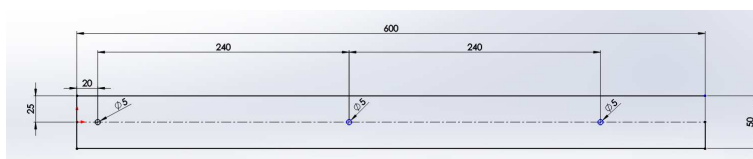
Nespornou výhodou pásového systému oproti šnekovému dopravníku je větší variabilita při nastavení pozice a vzdálenosti trysek nad ošetřovanými semeny. Zároveň nedochází k mechanické destrukci semen při jejich posunu. Drobnou nevýhodou systému je poněkud nižší účinnost promíchávání semen při ošetření, protože semena jsou otáčena pouze pod plazmovou tryskou proudem pracovního plynu.

**Tabulka 5.2:** Parametry pásového dopravníku

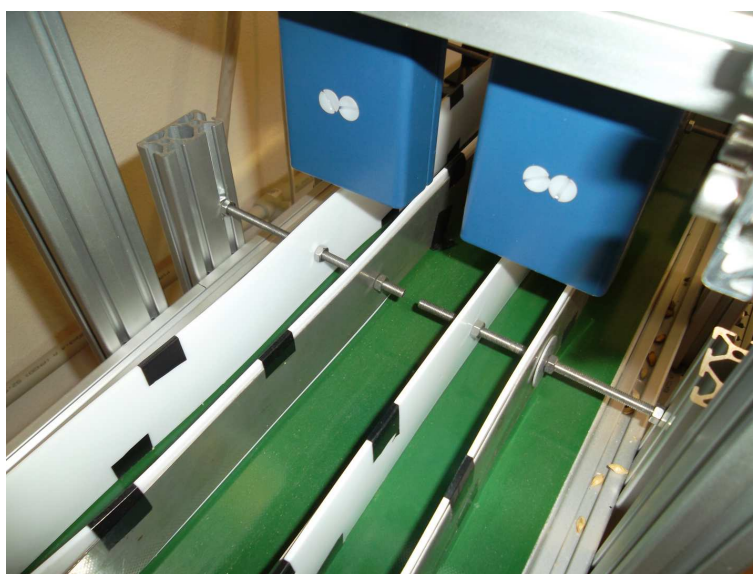
Parametr	Hodnota
Délka	1150 mm
Šířka	200 mm
Zatížení	3 kg · m <sup>-1</sup>
Pohon	Elektromotor s planetovým převodem
Rychlost posunu pásu	1,5–18,2 m · min <sup>-1</sup>
Napájení elektromotoru	7–26 V



Obrázek 5.3: Pohled na pásový dopravník s dávkovacím mechanismem



Obrázek 5.4: Náčrt teflonových lišt

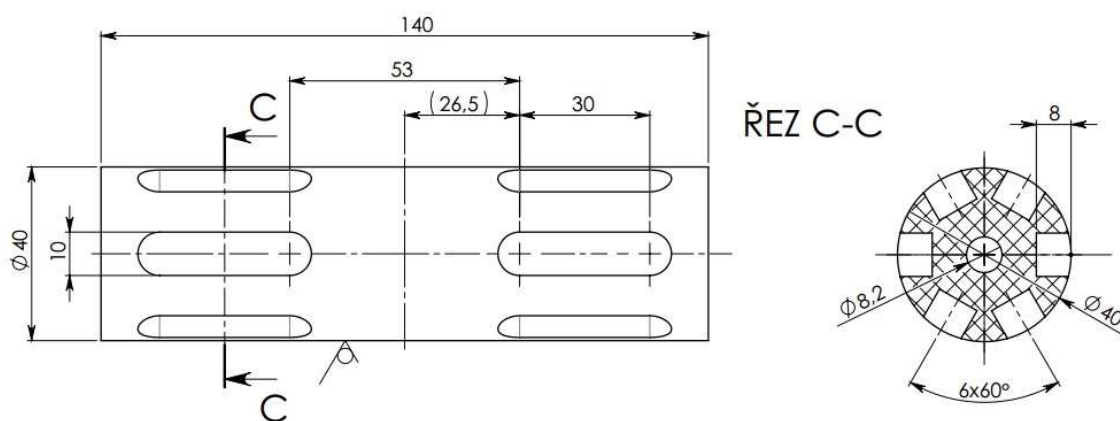


Obrázek 5.5: Sestavení s teflonovými lištami



### Dávkovací mechanismus

K dosažení optimálního ošetření semen je nezbytné rovnoměrné rozložení ošetřované komodity na posuvném pásu, což zabezpečuje dávkovač skládající se ze zásobníku a rotujícího válcového podavače (obrázek 5.6). Rozměry podavače jsou 160×40 mm s podélnými výřezy 30×10 mm. Výřezy jsou umístěny 2× v ose válce a 6× po obvodu s rozstupem 60°. Nastavením rychlosti otáčení podavače je určeno množství dávky semen a tato rychlost je stejně jako další parametry procesu řízena z dotykového ovládacího panelu umístěného v racku. Pohled na dávkovací mechanismu je na obrázku 5.7.



**Obrázek 5.6:** Technický náčrt válcového podavače



**Obrázek 5.7:** Dávkovač semen

## 5.2 Zařzení pro ošetření semen v biopreparátu

Zařzení tvoří druhou část linky a slouží k ošetření semen vhodným biologickým preparátem. Nanášení biopreparátu (biologické moření) se provádí máčením semen v emulzi a jejich následným sušením. Zařzení pro ošetření semen biopreparátem je tvořeno základní konstrukcí, která tvoří nosnou a upravitelnou podporu pro pracovní nerezový žlab půlkruhového průřezu, v němž je umístěna šroubová spirála (obrázek 5.8). Rotace spirály kolem vlastní osy je zajištěna střídavým motorem s převodovkou. Na začátku pracovního žlabu je vytvořen prostor pro aplikaci suspenze biologického preparátu máčením ošetřovaných semen. Poháněnou šroubovou spirálou jsou poté semena vynášena podél nerezového žlabu. Na konci žlabu je umístěna kruhová výsyпка, kterou semena vypadávají do předem zvoleného úložiště umístěného v bezprostřední blízkosti zařzení.



Obrázek 5.8: Pohled na zařzení pro nanesení biopreparátu na povrch semen

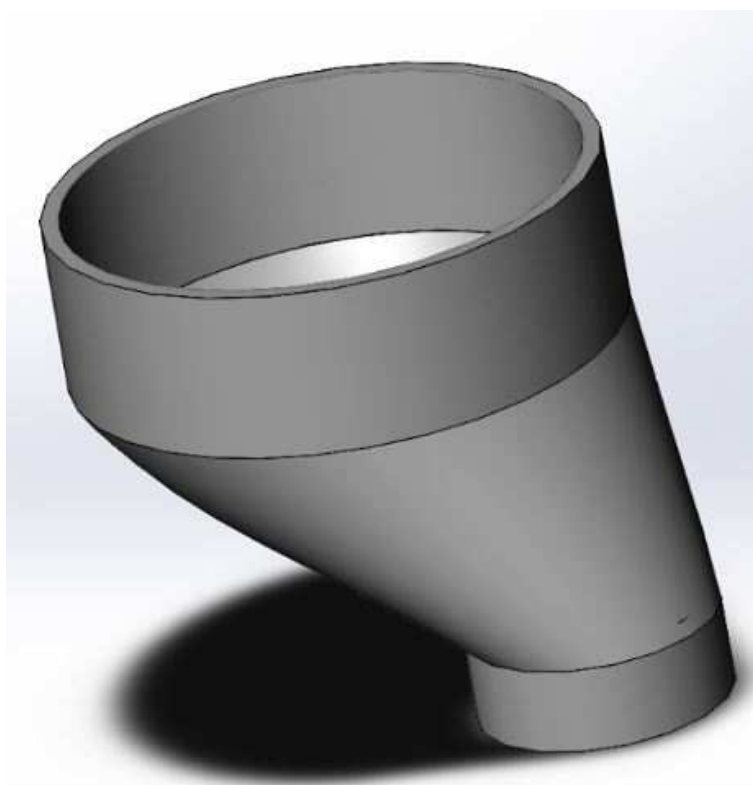
### 5.2.1 Šroubový dopravník

Nosná konstrukce zařzení je tvořena rámem sestaveným z hliníkových profilů ITEM. Rámová konstrukce je podepřena svislým profilem, kterým je možné měnit úhel pracovní roviny vzhledem k vodorovné podložce. K rámové konstrukci je přes úchyty připevněn válcový nerezový žlab s půlkruhovým profilem, který tvoří hlavní pracovní cestu ošetřených semen. Do nerezového žlabu je vsazen šroubový dopravník tvořený samonosnou bezosou spirálou. Spirála je na jednom konci spojena s převodovkou pomocí válcové hřídele.

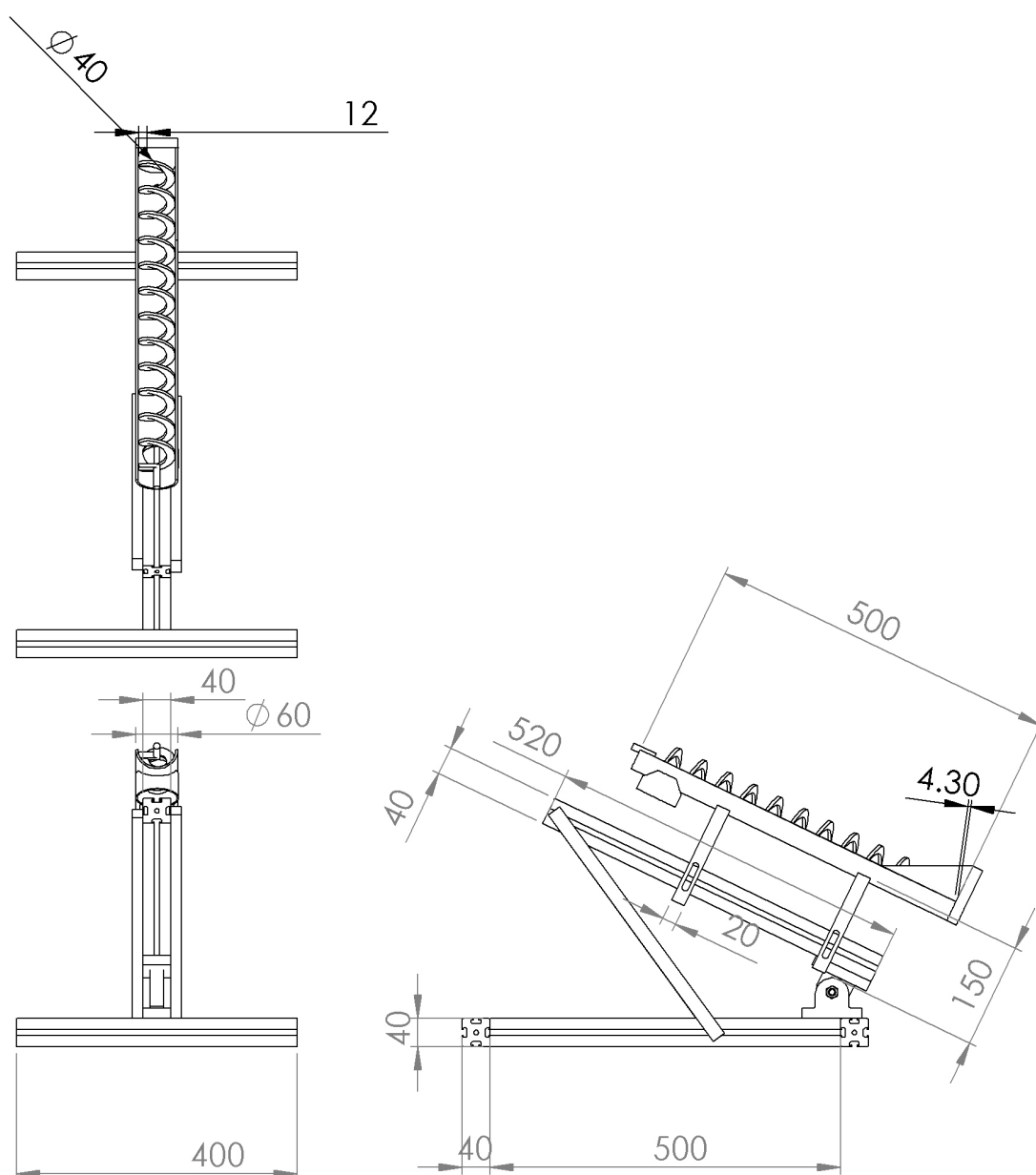
Na začátku dopravníku je vytvořen prostor, tzv. kád', do které jsou semena vložena a následně obalena biologickým preparátem. Následně šroubová spirála unáší semena směrem ke konci žlabu, kde propadnou kruhovým otvorem do zvoleného úložiště. Správné propadnutí semen z prostoru dopravníku do úložiště zajišťuje přírubová součást (obrázek 5.9). Parametry šroubové spirály od firmy Rataj a.s. a nosného žlabu jsou uvedeny v tabulce 5.3. Schéma konstrukce se žlabem a spirálou je zobrazeno na obrázku 5.10.

**Tabulka 5.3:** Vybrané technické parametry šroubového dopravníku

<b>Žlab</b>		<b>Spirála</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Délka	500 mm	Tloušťka	4,3 mm
Vnější průměr	60 mm	Vnější průměr	46 mm
Vnitřní průměr	54 mm	Vnitřní průměr	34 mm
		Stoupání závitu	40 mm



**Obrázek 5.9:** Návrh příruby pro usměrnění semen



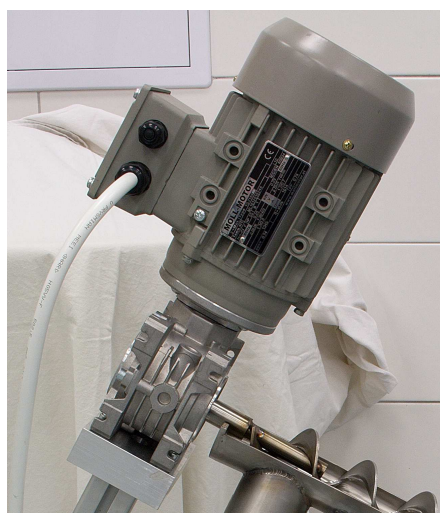
Obrázek 5.10: Technický náčrt konstrukce máčecího zařízení se žlabem a spirálou

## 5.2.2 Motor s převodovkou

Pro kontinuální posun semen byl v systému použit motor s převodovkou (obrázek 5.11). Motor přes převodovku otáčí šroubový dopravník a tím dochází k posunu semen. Převodovka šnekového typu Techdrive PQ45 (Techdrivers, Velká Británie) slouží ke snížení počtu otáček a zároveň ke zvýšení kroutícího momentu. Šnekový převod je v poměru 7:1 ze vstupních  $1614 \text{ min}^{-1}$  na výstupních  $30 \text{ min}^{-1}$ . Kroutící moment na výstupu z převodovky je  $14 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Motor je typu Moll Y3-71A-4 (MOLL - MOTOR, Austria). Motor je napájen frekvenčním měničem Standard E550-4T004 (VYBO Electric a.s., Slovensko), který převádí jednofázové napětí 230 V na třífázové napětí 400 V. Napájecí patice motoru je zapojena do hvězdicové fázové konfigurace. Zároveň frekvenční měnič umožňuje, pomocí potenciometru, nastavit výstupní frekvenci střídavého napětí a tím regulovat otáčky motoru. Otáčky motoru a tím rychlost posuvu spirály lze měnit v rozsahu  $0,8\text{--}57 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Díky tomuto rozsahu lze vyhovět potřebě správného máčení semen v máčecím prostoru. Parametry motoru s převodovkou jsou uvedeny v tabulce 5.4.

**Tabulka 5.4:** Vybrané technické parametry motoru s převodovkou

Parametr	Hodnota
Příkon	295 W
Hmotnost	6 kg
Rozměry (š×h×v)	150×245×145 mm
Napájení	třífázové, 400 V
Převodový poměr	7:1



(a) Boční pohled na motor s převodovkou (b) Přední pohled na motor s převodovkou

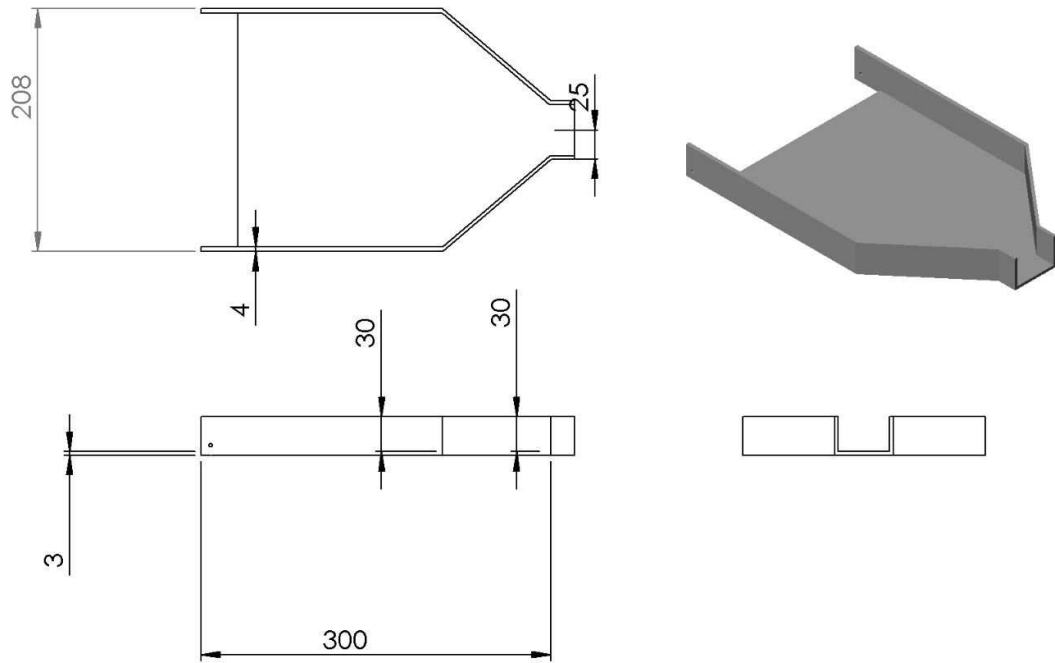
**Obrázek 5.11:** Motor s převodovkou

### **5.2.3 Přechodový díl**

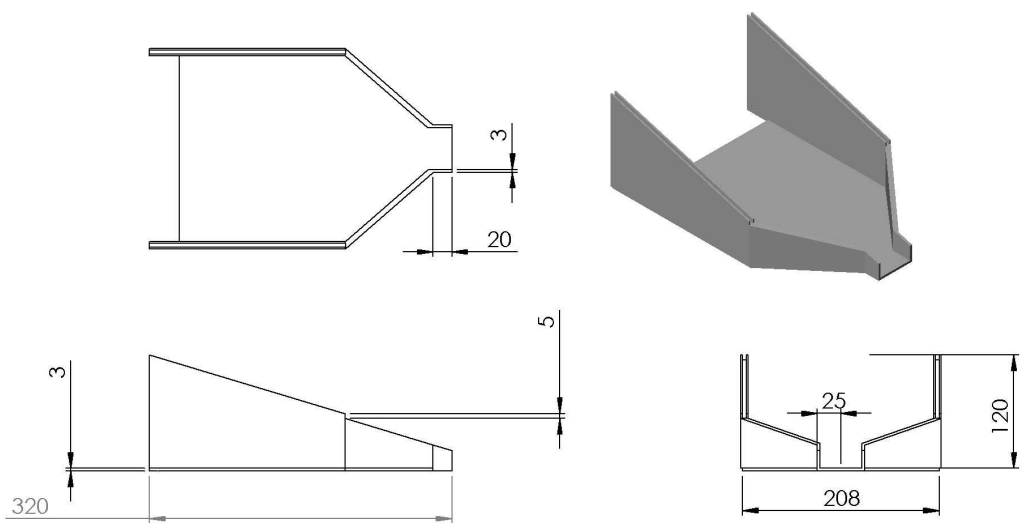
Vzhledem k rozdílné šířce pracovní cesty a z důvodu různé doby ošetření semen v jednotlivých částech bylo nutné mezi obě části umístit přechodový díl (obrázek 5.12). Díl slouží k usměrňování plazmově ošetřených semen do mořicího prostoru a jeho začátek je uchycen ke konci pásového dopravníku skrz otvory v bočních stranách dílu. Druhý, užší konec dílu, je volně vložen do kádě máčecího zařízení. Přechodový díl je tvořen dvěma částmi, vlastní výsypkou, po které semena klouzají z pásového dopravníku do kádě, a jejím krytem, který zabraňuje semenům odrážejícím se od výsypky dostat se mimo máčecí kádě. Obě části jsou vyrobeny z PLA plastu a byly vytvořeny pomocí 3D tiskárny 3DMaker PROFI (Aroja, s.r.o., Česká Republika). Celý přechodový díl má rozměry 300×208 mm, výška vlastní násypky je 30 mm, výška krytu 120 mm. Technické nákresy obou částí jsou na obrázku 5.13 a 5.14.



**Obrázek 5.12:** *Detail přechodového dílu*



Obrázek 5.13: Technický náčrt násypky přechodového dílu



Obrázek 5.14: Technický náčrt krytu násypky přechodového dílu

### 5.3 Procesní parametry

Optimální procesní parametry systému pro duální ošetření semen byly stanoveny přepočtem na základě předchozích laboratorních testů a jsou uvedeny v tabulce 5.5.

**Tabulka 5.5:** Použité procesní parametry při ošetření semen ječmene jarního

Parametr	Hodnota
Výška plazmové trysky nad pásem	6 cm
Vzdálenost mezi tryskami	18 cm
Průtok pracovního plynu tryskami	0,85 m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> (30 SCFH)
Množství použitého preparátu	1,5 l o koncentraci 1 × 10 <sup>6</sup> spor · ml <sup>-1</sup>
Rychlost posunu semen	0,5 cm · s <sup>-1</sup>
Sklon dopravníku	30°
Množství přiváděných semen	cca 3 g · s <sup>-1</sup>
Kapacita zařízení	10 kg · h <sup>-1</sup>

Ošetřované osivo prochází systémem pro duální ošetření prakticky bez zásahu obsluhy. Nezbytnou povinností obsluhy je tak pouze nastavení parametrů procesu před vlastním spuštěním zařízení, a dále podpůrné činnosti, jako je doplňování semen k ošetření do nádoby dávkovače a také odebírání již ošetřených semen na konci linky a jejich rozmístění na síta, kde dochází k jejich usušení. V relativně delších časových intervalech musí obsluha také doplňovat připravenou suspenzi biopreparátu do nádoby s aplikátorem či přímo do kádě.

Automatický průchod osiva zařízením lze popsat následovně. Rotační podavač dávkovače dávkuje příslušné množství semen nebo sladu na pohybující se pás pásového dopravníku. Ten unáší ošetřovaný materiál do prostoru pod zapálené plazmové trysky, kde dochází k jeho fyzikálnímu ošetření. Na konci pásu plazmově ošetřená komodita přepadá přes přechodový díl do kádě se suspenzí biopreparátu. Rotačním pohybem spirály máčecího zařízení ve druhé části linky jsou semena promíchávána v suspenzi a biopreparát ulpívá na jejich povrchu. Tím dojde k jejich biologickému ošetření. Zároveň je ošetřený materiál spirálou unášen ven z kádě k druhému konci žlabu, kde vypadává výsypkou do předem připravené nádoby na ošetřená semena.

Celý proces poloautomatického duálního ošetření tak probíhá v následujících krocích provedených obsluhou:

1. nastavení neměnných parametrů procesu dle typu ošetřované komodity (výčet a příslušné hodnoty těchto parametrů jsou přehledně uvedeny v tabulce 5.5),
2. naplnění dávkovače semen první části linky ošetřovanou komoditou,
3. naplnění nádoby s aplikátorem suspenzí připraveného biopreparátu a nastavení jeho dávkování,



4. umístění vhodné nádoby na ošetřená semena pod výsytku nerezového žlabu druhé části linky,
5. spuštění motoru pohánějícího bezosou spirálu máčecího zařízení,
6. spuštění plazmové části linky duálního ošetření z dotykového panelu v racku.

Dále již vše probíhá automaticky pod vizuální kontrolou obsluhy pouze s její výše zmíněnou podpůrnou činností.

---

# Závěr

Současná intenzivní zemědělská výroba klade vysoké nároky na produkci kvalitního osiva, které je důležitým prvkem při zakládání porostů hospodářských plodin. Vhodně zvolená ochrana semena před patogenními organismy umožňuje dosáhnout očekávané hospodářské výsledky.

V předložené dizertační práci jsou prezentovány vybrané výsledky experimentů, jejichž cílem bylo posoudit možnost využití nízkoteplotního plazmatu a biologického ošetření k ošetření osiva řepky ozimé a ječmene jarního jako alternativního postupu k chemickému moření. Z rešerše literatury, která byla provedena před zahájením studia, bylo zřejmé, že plazmové technologie mohou být pro tento účel velmi vhodným nástrojem, který by mohl konkurovat metodám využívaným v současnosti.

Během doktorského studia se podařilo dosáhnout všech vytyčených cílů. V rámci práce se podařilo charakterizovat plazmové aparatury, které byly pro experimenty využívány. Zároveň bylo experimentálně prokázáno, že plazmový výboj zvyšuje smáčivost povrchu vybraných zemědělských plodin. Získané údaje mohou pro svou práci využít pracovní skupiny, které budou na tuto dizertační práci navazovat.

Úspěšně se podařilo také posoudit čtyři hypotézy, které byly formulovány v části „Cíle práce a metodika“.

## Hypotéza H1

**Znění hypotézy:** Ošetření semen plazmovým výbojem zvyšuje smáčivost jeho povrchu.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy** Výsledky provedených experimentů **potvrdily** zvýšení smáčivosti povrchu semen.

## Hypotéza H2

**Znění hypotézy:** Ošetření plazmovým výbojem nesnižuje klíčivost semen.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy** Experimenty provedené v laboratoři **nepotvrdily**, že ošetření plazmovým výbojem nesnižuje klíčivost semen řepky ozimé. Ošetření semen ječmene jarního s využitím naší aparatury a procesních parametrů uvedených v dizertační práci vedlo ke snížení klíčivosti.

## Hypotéza H3

**Znění hypotézy:** Ošetření plazmovým výbojem zvyšuje nasákavost semen.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy** Provedené experimenty s nasákavostí semen **nepotvrdily** vliv plazmového výboje na zvýšení nasákavosti ošetřených semen.

## Hypotéza H4

**Znění hypotézy:** Duální technologie ošetření vede ke zvýšení výnosu.

**Potvrzení/zamítnutí hypotézy** Provedené polní experimenty **nepotvrdily** zvýšení výnosu semen ošetřených duální technologií.

Samostatnou kapitolu tvoří získané poznatky při experimentálním vývoji systému pro kontinuální ošetření semen. Výsledkem těchto aktivit je funkční vzorek zařízení, které se skládá ze systému šesti plazmových trysek se zdroji umístěnými v centrálním racku, pásového dopravníku, dávkovače krmiva a navazující linkou pro biologické ošetření tvořenou šroubovým dopravníkem a zásobníkem na ošetřené osivo. Funkční zařízení je možno úspěšně využít k ošetření vybraných plodin.

Na závěr je možné konstatovat, že plazmové technologie mají potenciál pro nahrazení současných postupů při ošetření zemědělských plodin, nicméně k dosažení očekávaných výsledků je ještě potřeba realizovat další rozsáhlý výzkum.

# Seznam použitých zdrojů

- Avantes.com (2017). [online]. [cit. 2019-02-03], Dostupné z: <https://www.avantes.com/products/spectrometers/starline/item/304-avaspec-uls20481-starline-versatile-fiber-optic-spectrometer>.
- Avramidis, G., Stüwe, B., Wascher, R., Bellmann, M., Wieneke, S., Tiedemann, A., a Viöl, W. (2010). Fungicidal effects of an atmospheric pressure gas discharge and degradation mechanisms. *Surface and Coatings Technology*, 205.
- Barnett, H. L. (1963). The Nature of Mycoparasitism by Fungi. *Annual Review of Microbiology*, 17(1):1–14.
- Barni, R., Riccardi, C., Selli, E., Massafra, M. R., Marcandalli, B., Orsini, F., Poletti, G., a Meda, L. (2005). Wettability and Dyeability Modulation of Poly(ethylene terephthalate) Fibers through Cold SF<sub>6</sub> Plasma Treatment. *Plasma Processes and Polymers*, 2(1):64–72.
- Bartoš, P., Ptáčník, J., Kříž, P., Špatenka, P., Havelka, Z., Olšan, P., a Veselý, B. (2016). Distribution of electric field between electrodes in plasma jet: Computational study. *Journal of Electrical Engineering*, 16:99–106.
- Bartoš, P., Špatenka, P., a Volfová, L. (2009). Deposition of TiO<sub>2</sub>-Based Layer on Textile Substrate: Theoretical and Experimental Study. *Plasma Processes and Polymers*, 6:S897–S901.
- Basaran, P., Basaran-Akgul, N., a Oksuz, L. (2008). Elimination of *Aspergillus parasiticus* from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. *Food Microbiology*, 25(4):626 – 632.
- Bermudez-Aguirre, D., Wemlinger, E., Pedrow, P., Barbosa-Cánovas, G., a Garcia-Perez, M. (2013). Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. *Food Control*, 34:149–157.
- Biederman, H. a Osada, Y. (1992). *Plasma Polymerization Processes*. Elsevier Science. ISBN: 978-0444887245.
- Bishop, C. A. (2011). 14 - The DC Glow Discharge or Plasma. In Bishop, C. A., editor, *Vacuum Deposition onto Webs, Films and Foils (Second Edition)*, pages 251 – 260. William Andrew Publishing, Oxford, second edition edition.
- Boeuf, J.-P. (1987). Numerical model of rf glow discharges. *Phys. Rev. A*, 36:2782–2792.

- Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R., a Mullen, van der, J. (2002). Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochimica Acta. Part B : Atomic Spectroscopy*, 57(4):609–658.
- Bormashenko, E., Grynyov, R., Bormashenko, Y., a Drori, E. (2012). Cold radiofrequency plasma treatment modifies wettability and germination speed of plant seeds. *Scientific reports*, 2:741–74.
- Bridge, P. D., Williams, M. A. J., Prior, C., a Paterson, R. R. M. (1993). Morphological, biochemical and molecular characteristics of *Metarhizium anisopliae* and *M. flavoviride*. *Microbiology*, 139(6):1163–1169.
- Brisset, J. L., Fanmoe, J., a Hnatiuc, E. (2016). Degradation of surfactant by cold plasma treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1):385–387.
- Bruns, T. D., White, T. J., a Taylor, J. W. (1991). Fungal Molecular Systematics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 22(1):525–564.
- Bußler, S., Herppich, W. B., Neugart, S., Schreiner, M., Ehlbeck, J., Rohn, S., a Schlüter, O. (2015). Impact of cold atmospheric pressure plasma on physiology and flavonol glycoside profile of peas (*Pisum sativum* ‘Salamanca’). *Food Research International*, 76:132–141. Grain legumes - Science, Technology and Impacts on Human Health.
- Butt, T. M., Jackson, C., a Magan, N., editors (2001). *Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problems and Potential*. CABI Publishing. ISBN: 9780851993560.
- Callan, N. W., Mathre, D. E., a Miller, J. B. (1990). Bio-priming seed treatment for biological control of *Pythium ultimum* preemergence damping-off in sh2 sweet corn. *Plant Disease*, 74(5):368–372.
- Carvalho, R. A. M., Carvalho, A. T., Silva, M. L. A. P. d., Demarquette, N. R., a Assis, O. A.-I. B. G. (2005). Use of thin films obtained by plasma polymerization for grain protection and germination enhancement. *Química Nova*, 28:1006–1009.
- Černý, P., Bartoš, P., Olšan, P., a Špatenka, P. (2019). Hydrophobization of cotton fabric by Gliding Arc plasma discharge. *Current Applied Physics*, 19(2):128 – 136.
- Chen, F. F. (1984). *Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion*, volume I. Springer, Boston, MA. ISBN: 978-1-4419-3201-3.
- Chen, H. H., Chen, Y. K., a Chang, H. C. (2012). Evaluation of physicochemical properties of plasma treated brown rice. *Food Chemistry*, 135(1):74–79.
- Choy, K. (2003). Chemical vapour deposition of coatings. *Progress in Materials Science*, 48(2):57–170.
- da Silva, A., Farias, M., da Silva, D., Vitoriano, J., de Sousa, R., a Alves-Junior, C. (2017). Using atmospheric plasma to increase wettability, imbibition and germination of physically dormant seeds of *Mimosa Caesalpiniaefolia*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 157:280 – 285.
- Dhayal, M., Lee, S.-Y., a Park, S.-U. (2006). Using low-pressure plasma for *Carthamus tinctorium* L. seed surface modification. *Vacuum*, 80(5):499 – 506.

- Dirlbecková, O. (1991). *Biologické zdroje pro mechanickou ochranu rostlin I. Deuteromycetes, Beauveria bassiana*. ÚVTIZ.
- Dobrin, D., Magureanu, M., Mandache, N. B., a Ionita, M.-D. (2015). The effect of non-thermal plasma treatment on wheat germination and early growth. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 29:255–260.
- Dromph, K. M. a Vestergaard, S. (2002). Pathogenicity and attractiveness of entomopathogenic hyphomycete fungi to collembolans. *Applied Soil Ecology*, 21(3):197 – 210.
- Dubinov, A. E., Lazarenko, E. R., a Selemir, V. D. (2000). Effect of glow discharge air plasma on grain crops seed. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 28(1):180–183.
- Ebihara, K., Mitsugi, F., Ikegami, T., Nakamura, N., Hashimoto, Y., Yamashita, Y., Baba, S., Stryczewska, H. D., Pawlat, J., Teii, S., a Sung, T. (2013). Ozone-mist spray sterilization for pest control in agricultural management \*. *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, 61(2):24318.
- Ehlbeck, J., Schnabel, U., Andrasch, M., Stachowiak, J., Stolz, N., Fröhling, A., Schlüter, O., a Weltmann, K. D. (2015). Plasma Treatment of Food. *Contributions to Plasma Physics*, 55(10):753–757.
- El-Aziz, M. F. A., Mahmoud, E. A., a Elaragi, G. M. (2014). Non thermal plasma for control of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research*, 59:215–221.
- Eliasson, B., Egli, W., a Kogelschatz, U. (1994). Modelling of dielectric barrier discharge chemistry. *Pure and Applied Chemistry - PURE APPL CHEM*, 66:1275–1286.
- Filatova, I., Azharonok, V., Kadyrov, M., Beljavsky, V., Gvozdo, A., Shik, A., a Antonuk, A. (2011). The effect of plasma treatment of seeds of some grain and legumes on their sowing quality and productivity. *Romanian Reports of Physics*, 56(SUPPL.):139–143.
- Filatova, I., Azharonok, V., Lushkevich, V., Zhukovsky, A., Gadzhieva, G., a Spasi, K. (2013). Plasma seeds treatment as a promising technique for seed germination improvement. *31st ICPIG*, pages 4–7.
- Fridman, A., Nester, S., Kennedy, L. a., Saveliev, A., a Mutaf-yardimci, O. (1999). Gliding arc gas discharge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25(2):211–231.
- Fridman, G., Friedman, G., Gutsol, A., Shekhter, A. B., Vasilets, V. N., a Fridman, A. (2008). Applied Plasma Medicine. *Plasma Processes and Polymers*, 5(6):503–533.
- Gaunt, L. F., Beggs, C. B., a Georghiou, G. E. (2006). Bactericidal action of the reactive species produced by gas-discharge nonthermal plasma at atmospheric pressure: A review. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 34(4 II):1257–1269.
- Goettel, M. S., Eilenberg, J., a Glare, T. (2010). Entomopathogenic Fungi and Their Role in Regulation of Insect Populations. In Gilbert, L. I. a Gill, S. S., editors, *Insect Control: Biological and Synthetic Agents*, pages 387–432. Academic Press, Netherlands.

- Goettel, M. S., Inglis, G. D., a Wraighr, S. P. (2000). Fungi. In Lacey, L. A. a Kaya, H. K., editors, *Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology*, pages 255–282. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. ISBN: 978-94-017-1547-8.
- Goossens, O., Dekempeneer, E., Vangeneugden, D., Van de Leest, R., a Leys, C. (2001). Application of atmospheric pressure dielectric barrier discharges in deposition, cleaning and activation. *Surface and Coatings Technology*, 142-144:474–481.
- Grossmanová, H. (2008). *Diagnostika rozkladu těkavých organických látek v klouzavém obloukovém plazmatickém výboji*. PhD thesis, Vysoké učení technické v Brně.
- Guimarães, I., Alves Jr., C., Torres, S., Vitoriano, J., Dantas, N., a Diogenes, F. (2015). Double barrier dielectric plasma treatment of leucaena seeds to improve wettability and overcome dormancy. *Seed Science and Technology*, 43(3):526–530.
- Harman, G. E., Chet, I., a Baker, R. (1991). Factors affecting *Trichoderma hamatum* applied to seeds as biocontrol agent. *Phytopathology*, 71:569–572.
- Havelka, Z. (2019). *Využití plazmových technologií ke zlepšení kvality krmiv*. PhD thesis, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- Hayashi, N., Ono, R., Shiratani, M., a Yonesu, A. (2015). Antioxidative activity and growth regulation of Brassicaceae induced by oxygen radical irradiation. *Japanese Journal of Applied Physics*, 6S2(54):06GD01.
- Hayashi, N., Yagyū, Y., Yonesu, A., a Shiratani, M. (2014). Sterilization characteristics of the surfaces of agricultural products using active oxygen species generated by atmospheric plasma and UV light. *Japanese Journal of Applied Physics*, 53(5S1):05FR03.
- Henselová, M., Slováková, L., Martinka, M., a Zahoranová, A. (2012). Growth, anatomy and enzyme activity changes in maize roots induced by treatment of seeds with low-temperature plasma. *Biologia*, 67(3):490–497.
- Hirst, J. M. (1997). Ainsworth and Bisby's: Dictionary of the Fungi. Eighth Edition By D. L. Hawksworth, P. M. Kirk, B. C. Sutton and D. N. Pegler. Wallingford, UK: CAB INTERNATIONAL (1995), pp. 616, (Americas only). *Experimental Agriculture*, 33(2):247–252. ISBN: 0-85198-885-7.
- Hluchý, M. a Zacharda, M. (1994). *Prostředky a systémy biologické ochrany rostlin*. Brno: Biocont Laboratory. ISBN: 80-901874-0-4.
- Hosseini, S. I., Mohsenimehr, S., Hadian, J., Ghorbanpour, M., a Shokri, B. (2018). Physico-chemical induced modification of seed germination and early development in artichoke (*Cynara scolymus L.*) using low energy plasma technology. *Physics of Plasmas*, 25(1).
- Houba, M. a Hosnedl, V. (2002). *Osivo a sadba*. Ing. Martin Sedláček. ISBN: 80-902413-6-0.

- Howell, C. R. (2006). Understanding the Mechanisms Employed by *Trichoderma virens* to Effect Biological Control of Cotton Diseases. *Phytopathology*, 96(2):178–180. PMID: 18943921.
- Howell, C. R., Stipanovic, R. D., a Lumsdem, R. D. (1993). Antibiotic production by strains of *Gliocladium virens* and its relation to the biocontrol of cotton seedling diseases. *Biocontrol Science and Technology*, 3:435–441.
- Hrdý, J. (1991). *Biopesticidy v zemědělství*. MZe ČR.
- Inglis, G. D., Goettel, M. S., Butt, T. M., a Strasser, H. (2001). Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In Butt, T. M., Jackson, C., a Magan, N., editors, *Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential.*, pages 23–69. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Iseki, S., Ohta, T., Aomatsu, A., Ito, M., Kano, H., Higashijima, Y., a Hori, M. (2010). Rapid inactivation of *Penicillium digitatum* spores using high-density nonequilibrium atmospheric pressure plasma. *Applied Physics Letters*, 96(15):3–5.
- Iza, F., Lee, J. K., a Kong, M. G. (2007). Electron Kinetics in Radio-Frequency Atmospheric-Pressure Microplasmas. *Phys. Rev. Lett.*, 99:075004.
- Janča, J., Stahel, P. and Buchta, J., Subedi, D., Krcma, F., a Pryckova, J. (2001). A Plasma Surface Treatment of Polyester Textile Fabrics Used for Reinforcement of Car Tires. *Plasmas and Polymers*, 6(1):15–26.
- Ji, S. H., Choi, K. H., Pengkit, A., Im, J. S., Kim, J. S., Kim, Y. H., Park, Y., Hong, E. J., kyung Jung, S., Choi, E. H., a Park, G. (2016). Effects of high voltage nanosecond pulsed plasma and micro DBD plasma on seed germination, growth development and physiological activities in spinach. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 605:117–128.
- Jiang, J., He, X., Li, L., Li, J., Shao, H., Xu, Q., Ye, R., a Dong, Y. (2014a). Effect of Cold Plasma Treatment on Seed Germination and Growth of Wheat. *Plasma Science and Technology*, 16(1):54–58.
- Jiang, J., Lu, Y., Li, J., Li, L., He, X., Shao, H., a Dong, Y. (2014b). Effect of seed treatment by cold plasma on the resistance of tomato to *Ralstonia solanacearum* (bacterial wilt). *PLoS ONE*, 9(5):1–6.
- Jin, Q., Zhang, H., Yu, A., Duan, Y., Liu, X., a Wang, F. (1991). Studies on fundamental characteristics of a new analytical source – Microwave plasma torch (MPT) discharge. *Analytical Sciences*, 7:559–562.
- Junges, E., Muniz, M. F. B., de Oliveira Bastos, B., a Oruoski, P. (2016). Biopriming in bean seeds. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 66(3):207–214.
- Junior, C. A., De Oliveira Vitoriano, J., Da Silva, D. L. S., De Lima Farias, M., a De Lima Dantas, N. B. (2016). Water uptake mechanism and germination of *Erythrina velutina* seeds treated with atmospheric plasma. *Scientific Reports*, 6(September):1–7.



- Kamgang-Youbi, G., Herry, J. M., Bellon-Fontaine, M. N., Brisset, J. L., Doubla, A., a Naïtali, M. (2007). Evidence of temporal postdischarge decontamination of bacteria by gliding electric discharges: Application to *Hafnia alvei*. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(15):4791–4796.
- Kaushik, N., Kaushik, N., Linh, N., Ghimire, B., Pengkit, A., Sornsakdanuphap, J., Lee, S.-J., a Choi, E. (2019). Plasma and Nanomaterials: Fabrication and Biomedical Applications. *Nanomaterials*, 9(1):98.
- Kim, B., Yun, H., Jung, S., Jung, Y., Jung, H., Choe, W., a Jo, C. (2011). Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. *Food Microbiology*, 28(1):9–13.
- Kim, G. C., Lee, H. W., Byun, J. H., Chung, J., Jeon, Y. C., a Lee, J. K. (2013). Dental applications of low-temperature nonthermal plasmas. *Plasma Processes and Polymers*, 10(3):199–206.
- Kim, J. E., Oh, Y. J., Won, M. Y., Lee, K. S., a Min, S. C. (2017). Microbial decontamination of onion powder using microwave-powered cold plasma treatments. *Food Microbiology*, 62:112–123.
- Kitazaki, S., Sarinont, T., Koga, K., Hayashi, N., a Shiratani, M. (2014). Plasma induced long-term growth enhancement of *Raphanus sativus L.* using combinatorial atmospheric air dielectric barrier discharge plasmas. *Current Applied Physics*, 14(SUPPL. 2):S149–S153.
- Koga, K., Thapanut, S., Amano, T., Seo, H., Itagaki, N., Hayashi, N., a Shiratani, M. (2015). Simple method of improving harvest by nonthermal air plasma irradiation of seeds of *Arabidopsis thaliana(L.)*. *Applied Physics Express*, 9(1):016201.
- Kogelschatz, U. (2003). Dielectric-barrier discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 23(1):1–46.
- Krishna, S., Maslani, A., Izdebski, T., Horakova, M., Klementova, S., a Spatenka, P. (2016). Degradation of Verapamil hydrochloride in water by gliding arc discharge. *Chemosphere*, 152:47–54.
- Kříž, P., Olšan, P., Havelka, Z., Horáková, M., Bartoš, P., Vazdová, P., Syamkrishna, B., a Špatenka, P. (2014). Seed treatment and water purification by the synergical effect of gliding arc plasma and photocatalytic film. In *2014 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, pages 1042–1046. IEEE.
- Kulhánek, P. (2011). *Úvod do teorie plazmatu*. AGA, Praha, 1st edition. ISBN: 978-80-904582-2-2.
- Kwon, H. C., Won, I. H., a Lee, J. K. (2012). Electron heating mode transition induced by ultra-high frequency in atmospheric microplasmas for biomedical applications. *Applied Physics Letters*, 100(18):183702.

- Kytzia, S., Korzec, D., Schmidt, M., a Engemann, J. (2005). Characterization of a microwave discharge by thermography. *Surface and Coatings Technology*, 200(1-4 SPEC. ISS.):769–773.
- Lacey, L., Frutos, R., Kaya, H., a Vail, P. (2001). Insect Pathogens as Biological Control Agents: Do They Have a Future? *Biological Control*, 21(3):230 – 248.
- Landa, Z. (2002). Biologická ochrana zahradních rostlin proti chorobám a škůdcům v polních podmínkách, ve sklenících a fóliovnících. In Demo, M. a Hričovský, I., editors, *Trvalo udržitelné technologie v záhradnictve*, pages 225–280. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre.
- Laroussi, M., Dobbs, F. C., Wei, Z., Doblin, M. A., Ball, L. G., Moreira, K. R., Dyer, F. F., a Richardson, J. P. (2002). Decontamination of water by excimer UV radiation. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 30(4):1501–1503.
- Laroussi, M. a Leipold, F. (2004). 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*, 233(1-3):81–86.
- Lebedev, Y. A. (2010). Microwave discharges: Generation and diagnostics. *Journal of Physics: Conference Series*, 257(1).
- Lee, H., Kim, J. E., Chung, M. S., a Min, S. C. (2015). Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage, lettuce, and dried figs. *Food Microbiology*, 51:74–80.
- Leipold, F., Kusano, Y., Hansen, F., a Jacobsen, T. (2010). Decontamination of a rotating cutting tool during operation by means of atmospheric pressure plasmas. *Food Control*, 21(8):1194–1198.
- Leipold, F., Schultz-Jensen, N., Kusano, Y., Bindslev, H., a Jacobsen, T. (2011). Decontamination of objects in a sealed container by means of atmospheric pressure plasmas. *Food Control*, 22(8):1296–1301.
- Ling, L., Jiafeng, J., Jiangang, L., Minchong, S., Xin, H., Hanliang, S., a Yuanhua, D. (2014). Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Scientific reports*, 4(5859):1–7.
- Ling, L., Jiangang, L., Minchong, S., Chunlei, Z., a Yuanhua, D. (2015). Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. *Scientific reports*, 5:13033.
- Marmur, A., Della Volpe, C., Siboni, S., Amirfazli, A., a Drelich, J. W. (2017). Contact angles and wettability: towards common and accurate terminology. *Surface Innovations*, 5(1):3–8.
- Matouš, B. (2010). *Základy lékařské chemie a biochemie*. Praha, 1. st edition. ISBN: 978-80-7262-702-8.

- Medvecká, V., Mošovská, S., Tóthová, K., Mikulajová, A., Zahoran, M., a Zahoranová, A. (2019). Low-temperature plasma treatment of selected cereals. In *22nd Symposium on Application of Plasma Processes and 11th EU-Japan Joint Symposium on Plasma Processing*, pages 244–248. ISBN: 978-80-8147-089-9.
- Mitra, A., Li, Z., Klampf, T., Shimizu, T., Jeon, J., Morfill, G. E., a L., Z. J. (2014). Inactivation of Surface-Borne Microorganisms and Increased Germination of Seed Specimen by Cold Atmospheric Plasma. *Food and Bioprocess Technology*, 7(3):645–653.
- Moisan, M., Barbeau, J., Crevier, M.-c., Pelletier, J., Philip, N., a Saoudi, B. (2002). Plasma sterilization. Methods and mechanisms. *Pure and Applied Chemistry*, 74(3):349–358.
- Moreau, M., Feuilloley, M. G. J., Orange, N., a Brisset, J. L. (2005). Lethal effect of the gliding arc discharges on *Erwinia spp.* *Journal of Applied Microbiology*, 98(5):1039–1046.
- Ochi, A., Konishi, H., Ando, S., Sato, K., Yokoyama, K., Tsushima, S., Yoshida, S., Morikawa, T., Kaneko, T., a Takahashi, H. (2016). Management of bakanae and bacterial seedling blight diseases in nurseries by irradiating rice seeds with atmospheric plasma. *Plant Pathology*, 66.
- Okrouhlá, M. (1993). *Biologické zdroje pro nechemickou ochranu rostlin*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Olšan, P., Kříž, P., Havelka, Z., Bohatá, A., Strejčková, M., Bartoš, P., a Špatenka, P. (2015). Rape Treatment by the Low Pressure Microwave Plasma Discharge and Gliding Arc Plasma. In *20th Symposium on Application of Plasma Processes and COST TD1208 Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids*, pages 119–124, Tatranská Lomnica, Slovakia. ISBN: 978-80-8147-027-1.
- Ono, R. a Hayashi, N. (2015). Variation of antioxidative activity and growth enhancement of Brassicaceae induced by low-pressure oxygen plasma. *Japanese Journal of Applied Physics*, 54(6S2):06GD03.
- Ouedraogo, A., Fargues, J., Goettel, M., a Lomer, C. (1997). Effect of temperature on vegetative growth among isolates of *Metarhizium anisopliae* and *M. flavoviride*. *Mycopathologia*, 137(1):37–43.
- Park, Y., Suk Oh, K., Oh, J., Chan Seok, D., Bong Kim, S., Jae Yoo, S., a Lee, M. (2016). The biological effects of surface dielectric barrier discharge on seed germination and plant growth with barley. *Plasma Processes and Polymers*, 15.
- Penkov, O. V., Khadem, M., Lim, W.-S., a Kim, D.-E. (2015). A review of recent applications of atmospheric pressure plasma jets for materials processing. *Journal of Coatings Technology and Research*, 12(2):225–235.
- Phan, K. T. K., Phan, H. T., Brennan, C. S., Regenstein, J. M., Jantanasakulwong, K., Boonyawan, D., a Phimolsiripol, Y. (2019). Gliding arc discharge non-thermal plasma for retardation of mango anthracnose. *Lwt*, 105(August 2018):142–148.

- Pochner, K., Neff, W., a Lebert, R. (1995). Atmospheric pressure gas discharges for surface treatment. *Surface and Coatings Technology*, 74-75(PART 1):394–398.
- Prokinová, E. (1996). *Biologická ochrana proti houbovým chorobám rostlin*. Praha : Ústav zemědělských a potravinářských informací.
- Puligundla, P., Kim, J. W., a Mok, C. (2017). Effect of corona discharge plasma jet treatment on decontamination and sprouting of rapeseed (*Brassica napus L.*) seeds. *Food Control*, 71:376–382.
- Raizer, Y. (1991). *Gas Discharge Physics*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1st edition. ISBN: 978-3-642-64760-4.
- Randeniya, L. K. a De Groot, G. J. J. B. (2015). Non-Thermal Plasma Treatment of Agricultural Seeds for Stimulation of Germination, Removal of Surface Contamination and Other Benefits: A Review. *Plasma Processes and Polymers*, 12(7):608–623.
- Rebek, E. J., Frank, S. D., Royer, T. A., a Bográn, C. E. (2012). Alternatives to Chemical Control of Insect Pests. In Soloneski, S. a Larramendy, M., editors, *Insecticides*, chapter 9. IntechOpen, Rijeka.
- Roth, J. R. (1995). *Industrial Plasma Engineering: Volume 1: Principles*, chapter Acute hepatotoxicity of aflatoxins, page 542. CRC Press. ISBN: 0-7503-0318-2.
- Sadhu, S., Thirumdas, R., Deshmukh, R. R., a Annapure, U. S. (2017). Influence of cold plasma on the enzymatic activity in germinating mung beans (*Vigna radiate*). *LWT – Food Science and Technology*, 78:97–104.
- Sarinont, T., Amano, T., Attri, P., Koga, K., Hayashi, N., a Shiratani, M. (2016). Effects of plasma irradiation using various feeding gases on growth of *Raphanus sativus L.* *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 605:129–140.
- Schmiedt, L. (2006). Úvod do fyziky plazmatu. [online]. [cit. 2016-06-09], Dostupné z: <http://atrey.karlin.mff.cuni.cz/řmarble/d/?p=0>.
- Schnabel, U., Andrasch, M., Weltmann, K. D., a Ehlbeck, J. (2014). Inactivation of vegetative microorganisms and bacillus atrophaeus endospores by reactive nitrogen species (RNS). *Plasma Processes and Polymers*, 11(2):110–116.
- Schnabel, U., Niquet, R., Krohmann, U., Winter, J., Schlüter, O., Weltmann, K. D., a Ehlbeck, J. (2012). Decontamination of microbiologically contaminated specimen by direct and indirect plasma treatment. *Plasma Processes and Polymers*, 9(6):569–575.
- Scholtz, V., Pazlarova, J., Souskova, H., Khun, J., a Julak, J. (2015). Nonthermal plasma – A tool for decontamination and disinfection. *Biotechnology Advances*, 33(6):1108–1119.
- Seed Treatment and Environment Committee of the International Seed Trade Federation (2000). Biological Control Agent Seed Treatments. [PDF]. [cit. 2015-09-15], Dostupné z: [http://www.homeopathicresearch.eu/EN/Biological\\_Control\\_Agent\\_Seed\\_Treatments\\_\(En\).pdf](http://www.homeopathicresearch.eu/EN/Biological_Control_Agent_Seed_Treatments_(En).pdf).

- Sejketov, G. S. (1982). *Griby roda Trichoderma ich ispolzovanie v praktike*. Kazachskoj SSSR, Alma-Ata.
- Selcuk, M., Oksuz, L., a Basaran, P. (2008). Decontamination of grains and legumes infected with *Aspergillus spp.* and *Penicillium spp.* by cold plasma treatment. *Bioresource Technology*, 99(11):5104–5109.
- Shao, C., Wang, D., Tang, X., Zhao, L., a Li, Y. (2013). Stimulating effects of magnetized arc plasma of different intensities on the germination of old spinach seeds. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3-4):808–812.
- Shapira, Y., Multanen, V., Whyman, G., Bormashenko, Y., Chaniel, G., Barkay, Z., a Bormashenko, E. (2017). Plasma treatment switches the regime of wetting and floating of pepper seeds. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 157:417–423.
- Singh, R., Prasad, P., Mohan, R., Verma, M. K., a Kumar, B. (2019). Radiofrequency cold plasma treatment enhances seed germination and seedling growth in variety CIM-Saumya of sweet basil (*Ocimum basilicum L.*). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 12:78–81.
- Smolka, P. (2011). *Definice plazmatu, základní charakteristiky plazmatu*. Special Nutrients, inc. [cit. 2019-20-01], Dostupné z: [http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH\\_02.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH_02.pdf).
- Stapelmann, K., Kylián, O., Denis, B., a Rossi, F. (2008). On the application of inductively coupled plasma discharges sustained in Ar/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> ternary mixture for sterilization and decontamination of medical instruments. *Journal of Physics D-applied Physics*, 41.
- Stolárik, T., Henselová, M., Martinka, M., Novák, O., Zahoranová, A., a Černák, M. (2015). Effect of Low-Temperature Plasma on the Structure of Seeds, Growth and Metabolism of Endogenous Phytohormones in Pea (*Pisum sativum L.*). *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 35(4):659–676.
- Strejčková, M., Bohatá, A., Olšan, P., Havelka, Z., Kříž, P., Beran, P., Bartoš, P., Čurn, V., a Špatenka, P. (2018). Enhancement of the Yield of Crops by Plasma and Using of Entomopathogenic and Mycoparasitic Fungi: From Laboratory to Large-Field Experiments. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, 8(6):829–836.
- Sudhakar, N., Nagendra-Prasad, D., Mohan, N., Hill, B., Gunasekaran, M., a Murugesan, K. (2011). Assessing Influence of Ozone in Tomato Seed Dormancy Alleviation. *American Journal of Plant Sciences*, 02.
- Šerá, B., Šerá, M., Gavril, B., a Gajdova, I. (2017). Seed Germination and Early Growth Responses to Seed Pre-treatment by Non-thermal Plasma in Hemp Cultivars (*Cannabis sativa L.*). *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 37(1):207–221.
- Šerá, B., Šerý, M., Štraňák, V., Špatenka, P., a Tichý, M. (2009). Does Cold Plasma Affect Breaking Dormancy and Seed Germination? A Study on Seeds of Lamb's Quarters (*Chenopodium album agg.*). *Plasma Science and Technology*, 11(6):750–754.

- Šerá, B., Špatenka, P., Šerý, M., Vrchotová, N., a Hrušková, I. (2010). Influence of plasma treatment on wheat and oat germination and early growth. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 38(10):2963–2968.
- Šerá, B., Straňák, V., Šerý, M., Tichý, M., a Špatenka, P. (2008). Germination of *Chenopodium Album* in Response to Microwave Plasma Treatment. *Plasma Science and Technology*, 10:506–511.
- Špatenka, P., Endres, H.-J., Krumeich, J., a Cook, R. (1999). Process control of plasma polymerization in a large industrial reactor. *Surface and Coatings Technology*, 116–119:1228–1232.
- Tančič, Z. S., Skrobonja, J., Lalošević, M., Jevtič, R., a Vidič, M. (2013). Impact of *Trichoderma spp.* on Soybean Seed Germination and Potential Antagonistic Effect on *Sclerotinia sclerotiorum*. *Pesticides & Phytomedicine*, 28:181–185.
- Tichá, K. (2001). *Biologická ochrana rostlin*. Grada. ISBN: 8024790432.
- Tong, J., He, R., Zhang, X., Zhan, R., Chen, W., a Yang, S. (2014). Effects of Atmospheric Pressure Air Plasma Pretreatment on the Seed Germination and Early Growth of *Andrographis paniculata*. *Plasma Science and Technology*, 16(3):260–266.
- Van Driesche, R. (1996). *Biological Control: Benefits and Risks*. Edited by H.M.T. Hokkanen and J.M. Lynch. 1995. Cambridge University Press, 40 W. 20th St., New York, NY 10011-4211. xxii 304 pp. , hardcover. *American Journal of Alternative Agriculture*, 11(2-3):132–133.
- Věchet, L. (1991). *Řízení ochranných zásahů proti houbovým chorobám zemědělských plodin*. Studie VTR.
- Velichko, I., Gordeev, I., Shelemin, A., Nikitin, D., Brinar, J., Pleskunov, P., Choukourov, A., Pazderů, K., a Pulkrábek, J. (2019). Plasma Jet and Dielectric Barrier Discharge Treatment of Wheat Seeds. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 39(4):913–928.
- Vleugels, M., Shama, G., Deng, X., Greenacre, E., Brocklehurst, T., a Kong, M. (2005). Atmospheric plasma inactivation of biofilm-forming bacteria for food safety control. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 33(2):824–828.
- von Keudell, A. a Corbella, C. (2017). Review Article: Unraveling synergistic effects in plasma-surface processes by means of beam experiments. *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films*, 35(5):050801.
- Vyhláška č. 205/2012 Sb. (2012). Vyhláška o obecných zásadách integrované ochrany rostlin. [online]. [cit. 2019-20-01], Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-205>.
- Wagner, H.-E., Brandenburg, R., Kozlov, K., Sonnenfeld, a., Michel, P., a Behnke, J. (2003). The barrier discharge: basic properties and applications to surface treatment. *Vacuum*, 71(May):417–436.

- Yamada, H., Chayahara, A., a Mokuno, Y. (2007). Simplified description of microwave plasma discharge for chemical vapor deposition of diamond. *Journal of Applied Physics*, 101(6):063302.
- Yamashita, K., Ohta, T., Ito, M., a Hori, M. (2016). Growth enhancement of sprout using plasma-treated water. In *8th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials/9th International Conference on Plasma-Nano Technology and Science (ISPlasma2016-IC-PLANTS2016)*, Nagoya University, Nagoya, Japan.
- Yang, B., Chen, J., Yu, Q., Li, H., Lin, M., Mustapha, A., Hong, L., a Wang, Y. (2011). Oral bacterial deactivation using a low-temperature atmospheric argon plasma brush. *Journal of Dentistry*, 39(1):48–56.
- Yin, M., Huang, M., Ma, B., a Ma, T. (2006). Stimulating Effects of Seed Treatment by Magnetized Plasma on Tomato Growth and Yield. *Plasma Science and Technology*, 7:3143.
- Yoshida, S., Hagiwara, K., Hasebe, T., a Hotta, A. (2013). Surface modification of polymers by plasma treatments for the enhancement of biocompatibility and controlled drug release. *Surface and Coatings Technology*, 233:99 – 107. Mechanical and Tribological Properties of Biomedical Coatings and Surface-modified Biomaterials.
- Yuan, Y. a Lee, T. R. (2013). Contact Angle and Wetting Properties. In Bracco, G. a Holst, B., editors, *Surface Science Techniques*, pages 3–34. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Yun, H., Kim, B., Jung, S., Kruk, Z. A., Kim, D. B., Choe, W., a Jo, C. (2010). Inactivation of *Listeria monocytogenes* inoculated on disposable plastic tray, aluminum foil, and paper cup by atmospheric pressure plasma. *Food Control*, 21(8):1182–1186.
- Zahoranová, A., Henselová, M., Hudecová, D., Kaliňáková, B., Kováčik, D., Medvecká, V., a Černák, M. (2016). Effect of Cold Atmospheric Pressure Plasma on the Wheat Seedlings Vigor and on the Inactivation of Microorganisms on the Seeds Surface. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 36(2):397–414.
- Zhang, M., Oh, J. K., Cisneros-Zevallos, L., a Akbulut, M. (2013). Bactericidal effects of nonthermal low-pressure oxygen plasma on *S. typhimurium* LT2 attached to fresh produce surfaces. *Journal of Food Engineering*, 119(3):425–432.
- Zhou, Y., Wang, W., Sun, J., Fu, L., Song, Z., Zhao, X., a Mao, Y. (2017). Microwave-induced electrical discharge of metal strips for the degradation of biomass tar. *Energy*, 126:42–52.
- Zhou, Z., Huang, Y., Yang, S., a Chen, W. (2011). Introduction of a new atmospheric pressure plasma device and application on tomato seeds. *Agricultural Sciences*, 02(01):23–27.
- Zimmermann, G. (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(9):879–920.

# Seznam zkratek

<b>DBD</b>	Dielectric Barrier Discharge	Dielektrický bariérový výboj
<b>GA</b>	Gliding Arc	Klouzavý výboj
<b>RF</b>	Radiofrequency	Radiofrekvenční
<b>Man</b>		<i>Metarhizium anisopliae</i>
<b>MW</b>	Microwave	Mikrovlnný
<b>PI</b>	Plasma	Plazma
<b>PTFE</b>		Polytetrafluorethylen
<b>PVC</b>		Polyvinylchlorid
<b>Tvi</b>		<i>Trichoderma virens</i>
<b>UV</b>	Ultraviolet	Ultrafialové



# Seznam tabulek

1.1	Rozdělení plazmatu podle termodynamické teploty. $T_i$ , $T_e$ značí teplotu iontů a elektronů . . . . .	17
1.2	Organismy na ochranu rostlin . . . . .	26
3.1	Parametry vakuové komory . . . . .	32
3.2	Parametry mikrovlnného zdroje . . . . .	33
3.3	Parametry zdroje plazmatu typu Gliding Arc . . . . .	36
3.4	Vybrané parametry plazmové hlavice . . . . .	37
3.5	Parametry vzduchového kompresoru . . . . .	38
3.6	Parametry míchacího zařízení . . . . .	39
3.7	Popis jednotlivých variant u řepky a ječmene . . . . .	40
3.8	Použité procesní parametry při ošetření semen řepky . . . . .	42
3.9	Použité procesní parametry při ošetření semen ječmene jarního . . . . .	43
3.10	Přehled experimentů . . . . .	53
3.11	Informace o polních experimentech – řepka ozimá . . . . .	55
3.12	Informace o polních experimentech – ječmen jarní . . . . .	56
4.1	Příkon napájecího zdroje v závislosti na průtoku pracovního plynu . . . . .	62
4.2	Naměřené hodnoty příkonu . . . . .	64
4.3	Relativní klíčivost řepky ozimé hodnocená během 7 dnů . . . . .	65
4.4	Relativní klíčivost ječmene jarního hodnocená během 7 dnů . . . . .	66
4.5	Porovnání výnosu řepky ozimé v letech 2015–2017 . . . . .	71
4.6	Porovnání výnosu ječmene jarního v letech 2015–2017 . . . . .	74
5.1	Parametry šnekového dopravníku . . . . .	78
5.2	Parametry pásového dopravníku . . . . .	79
5.3	Vybrané technické parametry šroubového dopravníku . . . . .	83
5.4	Vybrané technické parametry motoru s převodovkou . . . . .	85
5.5	Použité procesní parametry při ošetření semen ječmene jarního . . . . .	88

# Seznam obrázků

1.1	Vývoj počtu publikací v letech 2010–2016 . . . . .	11
1.2	Různá skupenství hmoty . . . . .	12
1.3	Princip generování plazmatu . . . . .	12
1.4	Působení plazmatu na povrch těles . . . . .	13
1.5	Zvýšení hydrofobity celulózy (Černý et al., 2019) . . . . .	15
1.6	Změna povrchového napětí u semen slunečnice . . . . .	15
1.7	Dělení plazmových výbojů dle tlaku . . . . .	16
1.8	Schématické znázornění jednotlivých fází výboje typu Gliding Arc . . . . .	18
1.9	Vznik mikrovlnného plazmatu . . . . .	20
1.10	Mikrovlnný výboj . . . . .	20
3.1	Schéma aparatury pro generování plazmatu za sníženého tlaku . . . . .	31
3.2	Pohled na aparaturu pro generování plazmatu za sníženého tlaku . . . . .	32
3.3	Míchací nádoba . . . . .	33
3.4	Blokové schéma systému pro generování výboje typu Gliding Arc . . . . .	35
3.5	Pohled na systém pro generování výboje typu Gliding Arc . . . . .	35
3.6	Příklady tvarů divergentních elektrod . . . . .	37
3.7	Fotografie plazmové hlavice v různých fázích generování výboje . . . . .	38
3.8	Míchací zařízení . . . . .	39
3.9	Pozice teplotní sondy . . . . .	46
3.10	Umístění teplotní sondy . . . . .	47
3.11	Přístroj na měření optických spekter AvaSpec-ULS2048-USB2 . . . . .	48
3.12	Nákres klíčidla . . . . .	49
3.13	Semena umístěná na klíčidlech . . . . .	50
3.14	Měření hmotnosti semen . . . . .	51
3.15	Čajítka se semeny ponořená v nádobách s vodou . . . . .	51
3.16	Lokality pozemků s vysetou řepkou v letech 2014–2017 . . . . .	54
3.17	Rozvržení variant na poli v letech 2015–2017 . . . . .	56
3.18	Lokalita pozemku s vysetým ječmenem v letech 2015–2017 . . . . .	57
4.1	Závislost teploty pracovního plynu na jeho průtoku pro různé vzdálenosti od plazmové trysky . . . . .	58
4.2	Závislost teploty pracovního plynu na vzdálenosti od plazmové hlavice pro různé průtoky . . . . .	59
4.3	Vliv tvaru a materiálu elektrod na teplotu pracovního plynu . . . . .	59
4.4	Teplota pracovního plynu v případě mikrovlnného výboje . . . . .	60
4.5	Optické spektrum získané pro měděné elektrody při průtoku pracovního plynu 30 SCFH . . . . .	61

4.6	Optické spektrum získané pro nerezové elektrody při průtoku pracovního plynu 30 SCFH . . . . .	61
4.7	Průběh elektrického napětí a proudu na elektrodách plazmové trysky (50 ms; 30 SCFH) . . . . .	62
4.8	Průběh elektrického napětí a proudu na elektrodách plazmové trysky (50 ms; 30 SCFH) . . . . .	63
4.9	Výkon trysky v závislosti na průtoku pracovního plynu pro různé filtry a délky signálu . . . . .	63
4.10	Klíčivost řepky ozimé hodnocená během 7 dnů . . . . .	65
4.11	Klíčivost ječmene jarního hodnocená během 7 dnů . . . . .	66
4.12	Makrofotografie povrchu semene řepky s nanesenou kapkou . . . . .	67
4.13	Makrofotografie povrchu semene ječmene s nanesenou kapkou . . . . .	68
4.14	Průběh nasákavosti u semen řepky ozimé . . . . .	69
4.15	Průběh nasákavosti u semen ječmene . . . . .	70
4.16	Relativní výnos jednotlivých variant ošetření řepky ozimé vzhledem k chemické ochraně . . . . .	72
4.17	Dvě varianty rostlin vyseté vedle sebe na stejném pozemku . . . . .	72
4.18	Porovnání růstu rostlin řepky . . . . .	73
4.19	Relativní výnos jednotlivých variant ošetření ječmene jarního vzhledem k chemické ochraně . . . . .	74
4.20	Porovnání klasů ječmene jarního u různých variant ošetření . . . . .	75
5.1	Systém pro duální ošetření semen . . . . .	76
5.2	Pohled na šnekový dopravník . . . . .	78
5.3	Pohled na pásový dopravník s dávkovacím mechanismem . . . . .	80
5.4	Nákres teflonových lišt . . . . .	80
5.5	Sestavení s teflonovými lištami . . . . .	80
5.6	Technický nákres válcového podavače . . . . .	81
5.7	Dávkovač semen . . . . .	81
5.8	Pohled na zařízení pro nanesení biopreparátu na povrch semen . . . . .	82
5.9	Návrh příruby pro usměrnění semen . . . . .	83
5.10	Technický nákres konstrukce máčecího zařízení se žlabem a spirálou . . . . .	84
5.11	Motor s převodovkou . . . . .	85
5.12	Detail přechodového dílu . . . . .	86
5.13	Technický nákres násypky přechodového dílu . . . . .	87
5.14	Technický nákres krytu násypky přechodového dílu . . . . .	87

# Seznam vlastních publikovaných prací

## Články v impaktovaných časopisech

1. Strejčková, M., Bohatá, A., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Kříž, P., Beran, P., Bartoš, P., Čurn, V. a Špatenka, P. (2018). Enhancement of the Yield of Crops by Plasma and Using of Entomopathogenic and Mycoparasitic Fungi: From Laboratory to Large-Field Experiments. *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, 8(6):829–836.
2. Černý, P., Bartoš, P., **Olšan, P.** a Špatenka, P. (2019). Hydrophobization of cotton fabric by Gliding Arc plasma discharge. *Current Applied Physics*. Elsevier, 19(2):128–136.

## Články v recenzovaných časopisech

1. Kříž, P., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Horáková, M., Bartoš, P., Vazdová, P. a Syam Krishna, B. (2014). Seed Treatment and Water Purification by the Synergical Effect of Gliding Arc Plasma and Photocatalytic Film. In *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2014*, Brasov, Romania, s. 1042–1046. ISBN 978-1-4799-5183-3.
2. Bartoš, P., Ptáčník, J., Kříž, P., Špatenka, P., Havelka, Z., **Olšan, P.** a Veselý, B. (2014). Plasma Jet for Environmental Applications: Computational Study of the Electric Field Distribution between Electrodes. In *International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2014*, Brasov, Romania, s. 999–1004. ISBN 978-1-4799-5183-3.
3. Kříž, P., Bartoš, P., Havelka, Z., Kadlec, J., **Olšan, P.**, Špatenka, P., Dienstbier, M. (2015). Influence of Plasma Treatment in Open Air on Mycotoxin Content and Grain Nutriments, *Special Issue on Plasma Systems for Biological/Medical Applications, Plasma Medicine*, 5(2-4):145–158.
4. Strejčková, M., Bohatá, A., Čurn, V., Bartoš, P., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Kříž, P. a Špatenka, P. (2015). Vliv fyzikálního a biologického ošetření osiva na vývoj porostu a na zdravotní stav modelových plodin. *Úroda 12*, roč. LXIII, vědecká příloha, s. 61–64.
5. Strejčková, M., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Bohatá, A., Kříž, P., Bartoš, P., Čurn, V. a Špatenka, P. (2016). Vliv fyzikálního a biologického ošetření osiva ječmene jarního na výnos zrna. *Úroda 12*, roč. LXIV, vědecká příloha, s. 45–51.

6. Bartoš, P., Ptáčník, J., Kříž, P., Špatenka, P., Havelka, Z., **Olšan, P.** a Veselý, B. (2016). Distribution of electric field between electrodes in plasma jet: Computational study, *Journal of Electric Engineering*, 16(1):99–106.
7. Beran, P., Zemanová, M., Kříž, P., Stehlíková, D., **Olšan, P.**, Havelka, Z. a Čurn, V. (2016). Vliv nízkoteplotního plazmatu na životaschopnost fytopatogenních bakterií. *Úroda 12*, roč. LXIV, vědecká příloha, s. 129–132.
8. Vernerová, K., Jelínková, I., Čurn, V., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Bartoš, P. a Špatenka, P. (2016). Změna povrchové struktury semen řepky po ošetření nízkoteplotním plazmatem. *Úroda 12*, roč. LXIV, vědecká příloha, s. 189–192.
9. Konopická, J., Bohatá, A., Vondruška, J., Kročárková, J., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Bartoš, P., Kříž, P., Čurn V. a Špatenka P. (2016). Navýšení účinnosti entomopatogenní houby *Metarhizium anisopliae* na vybrané druhy hostitelů. *Úroda 12*, roč. LXIV, vědecká příloha, s. 245–248.
10. Kříž P., **Olšan P.**, Havelka Z., Bartoš P., Bohatá A., Strejčková M., Čurn V. a Špatenka P. (2017) Enhancement of the yield of rape seeds by plasma discharge and biological protection: Field experiments. In *2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM) 2017 Intl Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP)*, s. 1045–1050.
11. Bohatá A., Tichá E., Konopická J., Strejčková M., **Olšan P.**, Havelka Z., Kříž P., Bartoš P., Čurn V. a Špatenka P. (2017). Vliv biologického ošetření osiva ječmene jarního na klíčení obilek a mortalitu larev *Tenebrio molitor* po vysetí osiva do substrátu. *Úroda 12*, roč. LXV, vědecká příloha, s. 283–286.
12. Havelka Z., **Olšan P.**, Strejčková M., Bohatá A., Kříž P., Bartoš P., Čurn V., Špatenka P. a Konopická J. (2017). Vliv plazmatu na klíčivost modelové houby *Trichoderma virens*. *Úroda 12*, roč. LXV, vědecká příloha, s. 291–294.
13. Bartoš, P., Kříž, P., Havelka, Z., Bohatá, A., **Olšan, P.**, Špatenka, P., Čurn, V., a Dientsbier, M. (2017). Plasma Technology in Food Industry: mini-review. *Kvasný průmysl*, 63(3):134–138.
14. Čurn, V., Bohatá, A., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Strejčková, M., Kříž, P., Bartoš, P., Špatenka, P. a Beran, J. (2018). Nechemické metody ošetření osiva - využití nízkoteplotního plazmatu a biologického ošetření osiva u řepky ozimé. *Agromanuál*, 14(6):30–32.

## Články ve sborníku

1. Horáková, M., Špatenka, P., Syam Krishna, B., **Olšan, P.**, Šram, V. a Exnar, P. (2013). Advanced oxidation processes enhanced by plasma in environmental applications. In: *PAPN 2013 Book of Extended Abstracts, Potential Application of Plasma and Nanomaterials*, Liberec, ČR, September 16 17 2013, TUL Liberec 2013, ISBN 978-80-7372-988-2.

2. **Olšan, P.**, Kříž, P., Havelka, Z., Bohatá, A., Strejčková, M., Bartoš, P. a Špatenka, P. (2015). Rape Treatment by the Low Pressure Microwave Plasma Discharge and Gliding Arc Plasma, In *Book of Contributed Papers: 20th Symposium on Application of Plasma Processes and COST TD1208 Workshop on Application of Gaseous Plasma with Liquids*, Tatranská Lomnica, Slovakia. ISBN 978-80-8147-027-1.
3. Havelka, Z., **Olšan, P.**, Kříž, P., Bohatá, A., Strejčková, M., Bartoš, P. a Špatenka P. (2015). Rapeseed Treatment by the Low Temperature Plasmas. In *Sborník mezinárodní vědecké konference Technoforum 2015 New Trends in Mechanics and Technologies for Biosystems*, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta, Katedra strojov a výrobných systémov, Ráčkova dolina, s. 93–98. ISBN 978 80-552-1326-2.
4. Kříž, P., Bohatá, A., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Strejčková, M., Bartoš, P. a Špatenka, P. (2019). The effect of low-temperature plasma treatment of seeds of selected crops on germination and its biological activity in early growth. In *SAPP XXII: Book of Contributed Papers*, Štrbské Pleso, Slovakia, 18–24. January, pp. 357-362.

## Patenty

1. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Způsob ošetření semen plazmatem a kmenem houby *Trichoderma virens* TVI-601-TACR. Původci: Bohatá A., **Olšan P.**, Havelka Z., Bartoš P., Kříž, P., Čurn, Špatenka P. Česká republika. Patent 307159, 27.12.2017.

## Funkční vzorky

1. **Olšan, P.**, Havelka, Z., Bartoš, P., Kříž, P., Bohatá, A., Strejčková, M., Špatenka, P., Dienstbier, M, Hartman, I. a Čurn V. (2016). *Laboratorní zařízení k ošetření semen a sladu plazmatem – "funkční vzorek"*, výsledek projektu TAČR TA04021252.
2. **Olšan, P.**, Havelka, Z., Bartoš, P., Kříž, P., Bohatá, A., Strejčková, M., Špatenka, P., Dienstbier, M, Hartman, I. a Čurn, V. (2017). *Laboratorní linka pro ošetření semen fyzikální cestou s následným nanesením biopreparátů – "funkční vzorek"*, výsledek projektu TAČR TA04021252.
3. Kříž, P., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Bartoš, P., Bohatá, A., Špatenka, P., Dienstbier, M. a Hartman, I. (2017). *Equipment for grain processing using low-temperature plasma discharge – "funkční vzorek"*, výsledek projektu TAČR TE02000177.

## Metodiky

1. Bohatá, A., Bartoš, P., Konopická, J., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Strejčková, M., Kříž, P., Čurn, V. a Špatenka, P. (2016). *Metodika pro nanášení vybraných druhů entomopatogenních a mykoparazitických hub na semena*, výsledek projektu TAČR TA04021252.

## **Užitné vzory**

1. Kříž, P., **Olšan, P.**, Havelka, Z., Bartoš, P., Bohatá, A., Špatenka, P., Dienstbier, M. a Hartman, I. (2017). *Equipment for grain processing using low-temperature plasma discharge*, výsledek projektu TAČR TE02000177.