



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

## ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

## STUDIUM VLIVU PŘÍMÉ A NEPŘÍMÉ APLIKACE PLAZMATU NA CIBULI SAZEČKU

STUDY OF DIRECT AND INDIRECT PLASMA APPLICATION ON ONION SEEDING BULBS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lenka Krejsová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. František Krčma, Ph.D.

BRNO 2024

## Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1948/2023 Akademický rok: 2023/24  
Ústav: Ústav fyzikální a spotřební chemie  
Studentka: **Bc. Lenka Krejsová**  
Studijní program: Chemie a chemické technologie  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **prof. RNDr. František Krčma, Ph.D.**

### Název diplomové práce:

Studium vlivu přímé a nepřímé aplikace plazmatu na cibuli sazečku

### Zadání diplomové práce:

1. Seznamte s aktuálním stavem přímé i nepřímé aplikace plazmatu v zemědělství
2. Prostudujte vliv aplikace plazmatu a plazmatem ošetřené vody na rané fáze růstu cibule
3. Proveďte extrakci šťávy ze vzorků a následně ji analyzujte pomocí metody PTR–TOF
4. Identifikujte těkavých látek přítomné ve vzorcích s pomocí GC–MS
5. Porovnejte vliv různých metod ošetření sadby na složení aromatických látek

### Termín odevzdání diplomové práce: 29.4.2024:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu.  
Toto zadání je součástí diplomové práce.

-----  
Bc. Lenka Krejsová  
studentka

prof. RNDr. František Krčma,  
Ph.D.  
vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.  
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2024

-----  
prof. Ing. Michal Veselý, CSc.  
děkan

## **Abstrakt**

V dnešní době je zemědělství založeno na konvenčních metodách, které zahrnují aplikaci pesticidů, zemědělských chemikálií a hnojiv. Zmíněné látky mají negativní vliv na přírodu a zdraví člověka, proto se hledají ekologičtější metody. Tato diplomová práce se zabývá analýzou vonných látek v cibuli, jež byla před sadbou ošetřena působením plazmatu. Úprava proběhla za účelem zjištění, zda selepší růst cibule při zachování nebo zvýšení obsahu vonných látek. Teoretická část se zabývá půdou a jejím způsobům charakterizace, plazmatem, kvantitativními a kvalitativními metodami stanovení těkavých látek. Obsahuje principy UV–VIS spektrometrie, atomové absorpční spektrometrie (AAS), hmotnostní spektrometrie (MS), a také tandemového zapojení plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC–MS).

Experimentální část probíhala po dobu tří let na 22 lokalitách. V práci je popsána příprava a analýza půdních vzorků, která byla také vyhodnocena. Dále jsou popsány postupy ošetření cibulek pomocí korónového výboje a plazmatem aktivovanou vodou před sadbou. Dohromady proběhly čtyři varianty ošetření a cibulky z páté varianty nebyly dodatečně ošetřeny. Každá varianta úpravy se vysazovala ve čtyřech opakováních po deseti cibulích. Dvacet vybraných vypěstovaných cibulí z jedné lokality bylo individuálně převedeno na kapalné vzorky a syté páry byly analyzovány pomocí hmotnostní spektrometrie s protonovou ionizací a průletovým analyzátozem (PTR–TOF–MS). Díky této analýze byla zjištěna koncentrace těkavých látek. Některé vzorky byly také analyzovány pomocí plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií pro správnou identifikaci přítomných vonných látek.

Následně byla data zpracována a vyhodnocena. Ze získaných výsledků je patrné, že úprava plazmatem může být užitečná pro ošetření cibulí v zemědělství, neboť se potvrdilo zlepšení výnosu při zachování obsahu vonných látek. Je tedy nutné zrealizovat pokusy ve větším měřítku.

## **Klíčová slova**

Cibule, těkavé látky, půda, plazma, hmotnostní spektrometrie, plynová chromatografie

## **Abstract**

Nowadays, agriculture is based on conventional methods that involve the application of pesticides, agricultural chemicals and fertilizers. These substances have a negative impact on nature and human health, so more environmentally friendly methods are being sought. This thesis deals with the analysis of fragrances in onions treated with plasma before planting. The treatment was carried out to see if it would improve onion growth while maintaining or increasing the fragrance content. The theoretical part deals with the soil and its characterization methods, plasma, quantitative and qualitative methods for the determination of volatile substances. It contains the principles of UV-VIS spectrometry, atomic absorption spectrometry (AAS), mass spectrometry (MS) as well as tandem connection of gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS).

The experimental part was carried out over a period of three years at 22 sites. The preparation and analysis of soil samples are described, which was also evaluated. Furthermore, the procedures for treating the bulbs with corona discharge and plasma-activated water before planting were described. In total, four treatment variants were carried out and bulbs from the fifth variant were not additionally treated. Each treatment variant was planted in four replications of ten bulbs each. Twenty selected grown onions from one site were individually converted to liquid samples and the saturated vapor was analysed by proton transfer reaction time of flight mass spectrometry (PTR-TOF-MS). Thanks to this analysis, the concentrations of volatile substances were determined. Some samples were analyzed by gas chromatography with mass spectrometer as detector to identify the compounds.

Subsequently, the data were processed and evaluated. From the results obtained, it is evident that plasma treatment can be useful for the treatment of onions in agriculture, because it confirmed harvest increase without decrease of fragrances concentrations. Thus, it is necessary to carry out experiments on a larger scale in the future.

## **Key words**

Onion, volatile substances, plasma, mass spectrometry, gas chromatography

KREJSOVÁ, Lenka. *Studium vlivu přímé a nepřímé aplikace plazmatu na cibuli sazečku* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-04-28]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156592>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav fyzikální a spotřební chemie. Vedoucí práce František Krčma.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FCH VUT.

.....  
Podpis studenta

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. RNDr. Františku Krčmovi, Ph.D., za obrovskou podporu, trpělivost a vedení během výzkumu. Zároveň jsem ráda, že mi byly umožněny konzultace v jakýkoliv den. Taktéž bych chtěla vyjádřit velké díky všem, kdo se podíleli a pomáhali s experimentální částí, tedy doc. Ing. Zdence Kozákové, Ph.D., Ing. Janě Šimečkové, Ph.D., Ing. Evě Doležalové, Ph.D., doc. Ing. Ludmile Mravcové, Ph.D. a laborantce Jitce Nováčkové). Dále děkuji celé své rodině za podporu a porozumění mě v posledních třech letech vidět pouze sporadicky. V neposlední řadě patří poděkování mému profesionálnímu loupáči cibule a zaříkávači Excelu.

## OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Teoretická část .....	9
2.1	Půda.....	9
2.2	Charakterizace půdy.....	9
2.2.1	Půdní reakce .....	9
2.2.2	Zrnitostní složení půdy.....	10
2.2.3	Měrná a objemová hmotnost půdy .....	12
2.2.4	Půdní organická hmota.....	12
2.2.5	Analýza přístupných živin.....	13
2.3	Atomová absorpční spektrometrie .....	15
2.4	UV-VIS spektrometrie .....	16
2.5	Plazma.....	17
2.5.1	Vznik plazmatu .....	18
2.5.2	Výboje iniciované ve vzduchu .....	19
2.5.3	Výboje iniciované v kapalině.....	20
2.6	Metody ošetření cibule.....	21
2.6.1	Korónový výboj.....	22
2.6.2	Plazmatem aktivovaná voda.....	23
2.7	Kvalitativní analýza .....	25
2.8	Kvantitativní analýza .....	25
3	Experimentální část.....	26
3.1	Příprava a analýza půdních vzorků .....	26
3.1.1	Zrnitostní složení půdy.....	27
3.1.2	Výměnná půdní reakce.....	28
3.1.3	Organický uhlík.....	28
3.1.4	Analýza přístupných živin.....	29
3.2	Vyhodnocení půdních vzorků .....	30
3.2.1	Umístění lokalit.....	30
3.2.2	Zrnitostní složení půdy.....	31
3.2.3	Výměnná půdní reakce.....	32
3.2.4	Organický uhlík.....	34
3.2.5	Analýza přístupných živin.....	35

3.3	Ošetření cibulek .....	37
3.3.1	Ošetření pomocí korónového výboje .....	37
3.3.2	Ošetření pomocí PAW .....	38
3.3.3	Ošetření pomocí destilované vody .....	40
3.4	Příprava a analýza cibule .....	40
3.4.1	Kvalitativní analýza.....	40
3.4.2	Kvantitativní analýza.....	40
4	Výsledky a diskuze .....	41
4.1	Výnosy cibule .....	41
4.2	Kvalitativní analýza látek pomocí GC–MS .....	44
4.3	Kvantitativní analýza látek pomocí PTR–TOF–MS.....	47
5	Závěr .....	60
6	Seznam použitých zkratk.....	62
7	Seznam použité literatury.....	63

# 1 ÚVOD

Jedním z významných současných problémů v oblasti zemědělství je kontaminace půdy a vody v důsledku využívání pesticidů, herbicidů a hnojiv. Ačkoli pesticidy přináší výhody zemědělské produkci tím, že chrání plodiny před chorobami a škůdci, přinášejí zároveň i negativní dopady na životní prostředí. Jejich aplikace na velké plochy negativně ovlivňuje nejen cílené organismy, ale má vliv i na další živočišné druhy, včetně ptáků, vodních organismů a jiných zvířat. Kontaminace potravin pesticidy a hnojivy může mít vážné zdravotní důsledky i pro lidi. Rostoucí povědomí o negativních dopadech konvenčního zemědělství vede k většímu zájmu o produkty označené jako BIO či EKO. Právě s ohledem na výše zmíněné problémy je nezbytné hledat ekologičtější alternativy ošetřování plodin.[1]–[3]

Ekologické zemědělství se vymezuje vůči používání průmyslových hnojiv, syntetických pesticidů, růstových regulátorů a geneticky modifikovaných organismů. Preferuje střídání plodin, využívání chlévského hnoje či aplikaci šetrných anorganických přípravků v malých dávkách. Klíčovým faktorem pro dosažení dobrých výnosů je kvalitní úrodná půda, což vyzdvihuje význam sledování stavu půdy, tvorbu krajinných prvků v zemědělských oblastech a pravidelné střídání pěstovaných rostlin.[2][4][5]

S narůstající světovou populací je stále naléhavější hledat inovativní přístupy k udržení vysokých výnosů zemědělské produkce, které neohrožují životní prostředí. Jedním z těchto nových směrů výzkumu je využití nízkoteplotního plazmatu v oblasti zemědělství, nazývaného „plazmové zemědělství“ („plasma agriculture“). Tento přístup se zaměřuje na využití plazmatu k ošetření semen, rostlin, potravin či vody s cílem zvýšit zemědělskou produkci a zároveň zachovat kvalitu a bezpečnost potravin.

Plazma lze charakterizovat jako čtvrté skupenství hmoty. Jedná se o tekutou směs neutrálních atomů, iontů a volných elektronů. Během několika posledních desetiletí se studené plazma, generované za atmosférického tlaku, stalo předmětem intenzivního zájmu vědecké komunity i průmyslových aplikací. Díky své téměř neutrální teplotě plynu má široké možnosti využití, příkladem může být umožnění interakce s potravinami, polymery, semeny i s živými tkáněmi. Potenciál aplikace plazmatu v zemědělství je obrovský.[6]–[8]

Tato diplomová práce navazuje na mou bakalářskou práci, kde proběhla kvantitativní analýza plazmatem ošetřené cibule z roku 2021 pomocí hmotnostní spektrometrie s protonovou ionizací a analyzátozem doby letu. Kvalitativní analýza neboli identifikace významných těkavých látek ve vzorku proběhla pomocí plynové chromatografie v kombinaci s hmotnostní spektrometrií. Hlavním cílem diplomové práce je pokračovat v analýze a vyhodnocení vlivu na cibuli ošetřenou plazmatem před sadbou. Experimentální část probíhala po dobu tří let. Hlavními sledovanými veličinami je výnos cibulí a změny koncentrace vonných látek v cibuli oproti referenčním vzorkům. V práci je diskutován i vliv půdy, ve které plodina byla pěstována.[63]



## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Půda

Půda je základním pilířem pro udržitelné zemědělství a globální potravinovou bezpečnost. Představuje rozmanitý útvar vytvořený působením půdotvorných faktorů z povrchových zvětralin zemské kůry a organických zbytků. Reprezentuje základní životní prostředí pro širokou škálu organismů, včetně rostlin, živočichů a mikroorganismů. Půda v sobě nese mnoho funkcí a hodnot. Představuje klíčový faktor pro zemědělství a rostlinnou produkci, poskytuje podporu biodiverzitě, ovlivňuje vodní cyklus a klimatické podmínky, také má významný dopad na kvalitu životního prostředí. Půda se skládá převážně ze tří částí (pevné, kapalné a plynné složky), kdy většina jejích pevných složek je tvořena minerálními látkami s podílem organických látek 1 až 10 %. Pevný podíl půdy se shlukuje do větších útvarů v podobě struktury, která není dokonale spojená, což vede k tvorbě mezer, známých jako póry, jež představují asi polovinu objemu půdy a jsou zaplněny proměnlivým množstvím vzduchu a vody. Různé typy půd se odlišují v závislosti na geografickém umístění, klimatických podmínkách, geologickém složení, vegetaci a dalších faktorech. Přestože půda může být vnímána jako zdroj energie, převážná část se řadí k neobnovitelným zdrojům vzhledem k pomalým půdotvorným procesům.[9]–[11]

### 2.2 Charakterizace půdy

Analýza půdních vlastností umožňuje posoudit živinový stav a pH, což má zásadní vliv na efektivitu rostlinné produkce. Studium půdní textury a struktury je nezbytné pro plánování zavlažování a odvodňování, což ovlivňuje úrodu a zdraví rostlin. Kromě jiného pomáhá analýza půdních vzorků identifikovat přítomnost škodlivých látek a kontaminantů, což je důležité pro ochranu lidského zdraví a životního prostředí. Pravidelné monitorování půdního stavu umožňuje sledovat dlouhodobé změny v jejím stavu a přizpůsobit zemědělské praktiky podle aktuálních potřeb.

Z hlediska fyzikálních vlastností lze charakterizovat půdní strukturu (uspořádání pevných půdních částic do agregátů), vodostálost (stabilita agregátů), zrnitostní složení půdy (půdní textura), pórovitost, barvu a teplotu půdy. Pokud jde o fyzikálně-chemické vlastnosti, půdu lze specifikovat pomocí parametrů jako je půdní reakce, obsah půdní organické hmoty, množství těžkých kovů, obsah živin, zasolení půdy či přístupných živin (sorpční komplex, kationtová výměnná kapacita).[9][12][13]

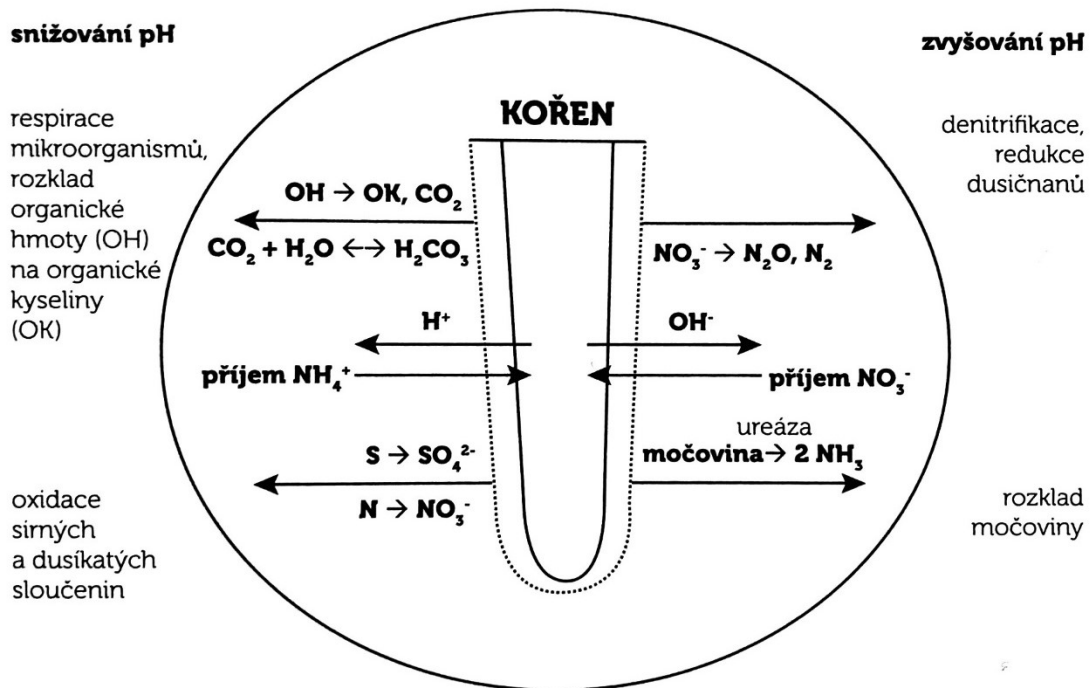
#### 2.2.1 Půdní reakce

Půdní reakce, respektive reakce půdního roztoku, představuje důležitý aspekt v oblasti pedologie, který ovlivňuje schopnost půdy vázat a uvolňovat živiny pro rostlinný růst. Je dána koncentrací vodíkových kationtů  $H^+$  a hydroxylových aniontů  $OH^-$ , které ve vodných roztocích vytvářejí kationty  $H_3O^+$ . Půdní reakce je měněna řadou biologických procesů, jak lze vidět na obrázku 1. Koncentrace iontů ovlivňuje hodnotu pH půdního roztoku a povrchového náboje půdních koloidů, což má důsledky pro výměnu kapacitu půdy (VMP) a schopnost půdy poskytovat živiny rostlinám.

Při stanovení pH se rozezná více druhů půdních reakcí. Aktivní půdní reakce, značená pH/H<sub>2</sub>O nebo také pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, je způsobena výskytem volných iontů  $H^+$  v půdním roztoku. Ty jsou měřeny nejčastěji ve vodném výluhu nebo vodní suspenzi půdy. Výměnná půdní reakce, značená

pH/KCl či  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  nebo obdobně s  $\text{CaCl}_2$ , souvisí se zvýšeným výskytem výměnných iontů  $\text{H}^+$  a  $\text{Al}^{3+}$ , v kyselejších půdách v menší míře také s  $\text{Fe}^{3+}$  ionty. Popisuje schopnost půdy měnit reakci roztoků neutrálních solí. Stanovuje se pomocí výluhu půdy v 0,2 M KCl nebo v 0,01 M  $\text{CaCl}_2$ . Výměnné pH je většinou nižší než  $\text{pH}/\text{H}_2\text{O}$ , jelikož zahrnuje volné ionty  $\text{H}^+$  i ionty výměnné. Zbytek acidity v půdě je způsoben ionty  $\text{H}^+$  a  $\text{Al}^{3+}$  vázanými v nevýměnných formách v půdních koloidech, což je nazýváno jako reziduální acidita.[14]–[16][18]

Kyselé půdy s nízkým pH vážou mnoho  $\text{H}^+$  a méně ostatních kationtů na svých povrchových aktivních místech, což vede k nižší výměnné kapacitě půdy a snížené dostupnosti některých důležitých živin pro rostliny, jako jsou například vápník, hořčík a draslík. Naopak alkalické půdy s vyšším pH mají obvykle vyšší výměnnou kapacitu, mohou tedy vázat a udržovat větší množství kationtů. Aplikace vápníku na kyselé půdy má dopad na zvýšení pH (snížení acidity), což vede ke zlepšení výměnné kapacity půdy, a tedy zvýšení dostupnosti některých živin pro rostliny. Znalost výměnné půdní reakce je důležitým faktorem pro správné řízení hnojení a optimalizaci výživy rostlin, což má za následek vyšší výnosy a kvalitnější plodiny.[13][14]



Obrázek 1: Biologické procesy v půdě modifikující půdní reakci pH.[14]

### 2.2.2 Zrnitostní složení půdy

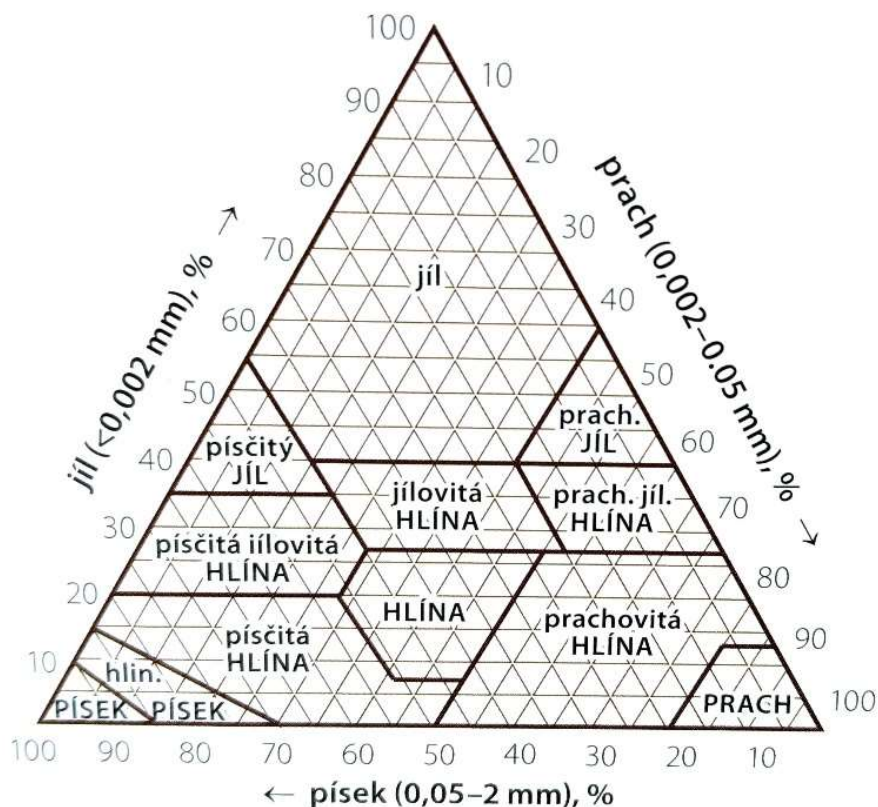
Zrnitostní složení půdy je klíčovým faktorem, který ovlivňuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půd, například obsah organické hmoty, propustnost, náchylnost k erozím, ale má i vliv na produkci plodin, zpracování půdy, složení mikrobiálního společenstva a jejich aktivitu. Zrnitost vyjadřuje relativní podíl jednotlivých velikostí částic v půdním substrátu, ze kterého se stanovuje půdní druh a zrnitostní třída. Zastoupení jednotlivých frakcí je ovlivněno matečnou horninou a minerálními částicemi. Při analýze zrnitosti se rozlišují dvě hlavní frakce. Jemnozern, která zahrnuje částice menší než 2 mm a je důležitá pro laboratorní stanovení vlastností půdy, a skelet obsahující částice větší než 2 mm.

V laboratořích je zrnitost měřena pomocí různých technik, včetně mechanické analýzy, laserové difrakce, či sedimentační analýzy. Výsledky těchto analýz jsou vyjádřeny pomocí granulometrických křivek nebo tabulek, které ilustrují procentuální zastoupení každé frakce v půdním vzorku. V tabulce 1 lze vidět zrnitostní klasifikaci půdního druhu pomocí částic menších než 0,01 mm (jílnaté částice).[9][12][14][17]

Tabulka 1: Zrnitostní klasifikace půdního druhu dle Nováka.[14]

Obsah částic <0,01 mm [%]	Označení druhu půdy (zemina)	Klasifikace půdy
0–10	Písčítá (P)	Lehká půda
10–20	Hlinitopísčítá (HP)	
20–30	Písčítóhlinítá (PH)	Středně těžká půda
30–45	Hlinitá (H)	
45–60	Jílovitohlinítá (JH)	Těžká půda
60–75	Jílovitá (JV)	
>75	Jíl (J)	

Klasifikace dle Nováka vyplývá z údajů o procentuálním zastoupení částic < 0,01 mm (jílnaté částice) ve vzorku a rozlišuje se 7 půdních druhů. V rámci nového Taxonomického klasifikačního systému půd ČR se začalo využívat dělení zrnitosti slovním hodnocením do dvanácti zrnitostních tříd, které lze určit pomocí trojúhelníkového diagramu (obrázek 2).[9][17]



Obrázek 2: Trojúhelníkový diagram ke stanovení zrnitostní třídy.[9]

Jílovité frakce jsou nejjemnější částice půdy s velkou povrchovou plochou a malou velikostí jednotlivých částic. Tyto částice mají vysokou schopnost zadržovat vodu a živiny, což ovlivňuje půdní strukturu (pórovitost), vodní a vzdušný režim, obsah živin vázaných sorpčním komplexem, v důsledku tedy i celou živou složku půdy. Písek je hrubší frakce půdy s částicemi o velikosti mezi 0,05 mm a 2 mm. Částice písku jsou tvořeny křemenem, úlomky silikátových hornin a živců. Pískové půdy zajišťují dobré odvodnění, propustnost, ale mohou být chudé na živiny, jelikož voda mezi částicemi rychle proteče a také samotný písek není minerálně bohatý. Sorpční schopnost takových půd je nízká. Prach je tvořen částicemi středních velikostí (mezi pískem a jílovitými částicemi), které se nachází hlavně v půdách vytvořených na spraších. Zajišťuje optimální poměr mezi obsahem vody a vzduchem v půdě, což vede k dobrým fyzikálním vlastnostem. Pochopení zrnitostního složení půdy je klíčové pro správnou pěstební praxi, udržitelné využití půdních zdrojů, ochranu půdy a životního prostředí.[9][12][14][15]

### 2.2.3 Měrná a objemová hmotnost půdy

Měrná hmotnost představuje poměr hmotnosti pevné části půdy bez pórů ku jejímu objemu za předpokladu dokonale vyplněného prostoru pevnými částicemi. Stanovená hodnota odráží mineralogické složení půdy, obsah organických látek a humusu, dále je využívána pro výpočet pórovitosti a stanovení půdní zrnitosti. V českých půdách se nejčastěji vyskytují křemen, živce, slídy a jílové materiály, proto se průměrná měrná hmotnost půd podle výsledků monitoringu Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚZKUZ) pohybuje okolo 2,65 g/cm<sup>3</sup>. Hodnota měrné hmotnosti je zvyšována obsahem těžkých minerálů (magnetit, zirkon, turmalín) a snižována větším obsahem humusu, proto hodnota u organických půd, příkladem může být rašelina, klesá až pod 1,5 g/cm<sup>3</sup>.

Objemová hmotnost vyjadřuje hmotnost určitého objemu jednotky půdy v neporušeném stavu včetně pórů, jež jsou vyplněny vodou nebo vzduchem. Obvykle jsou hodnoty objemové hmotnosti nižší než u měrné hmotnosti, což je způsobeno, že i v ulehlé nebo utužené půdě se nachází volné póry. Na hmotnost půdy má vliv i struktura, její zrnitost a v neposlední řadě zpracování půdy v zemědělství a lesnictví, při kterém se mění uspořádání agregátů. Při stanovení je rozlišována hmotnost redukováná a neredukovaná, načež neredukovaná hodnota je ovlivněna vlhkostními podmínkami v průběhu roku. Přesnější redukováná hmotnost je stanovena z vysušené půdy a její kritické hodnoty pro jednotlivé půdní druhy lze nalézt v tabulce 2. Vysvětlení použitých zkratk v tabulce 2 lze nalézt v tabulce 1.[12][16][18]

*Tabulka 2: Kritické objemové hmotnosti v závislosti na půdním druhu po vysušení.[16]*

<b>Půdní druh</b>	<b>J</b>	<b>JV, JH</b>	<b>H</b>	<b>PH</b>	<b>HP</b>	<b>P</b>
<b>Objemová hmotnost [g/cm<sup>3</sup>]</b>	>1,35	>1,40	>1,45	>1,55	>1,60	>1,70

### 2.2.4 Půdní organická hmota

Půdy obsahují velké množství uhlíku v organické i v anorganické formě. Hlavní anorganickou formou jsou uhličitany, příkladem může být uhličitán vápenatý či uhličitán hořečnatý, které vytvářejí vápence a další horniny. Organické látky v půdě jsou souhrnně nazývané jako půdní organická hmota, jež je tvořena mikroorganismy, makroedafonem (půdní živočichové), humusem (organická hmota, která prošla procesem humifikace), zbytky rostlin, živočichů a organickými hnojivy v nerozloženém stavu.

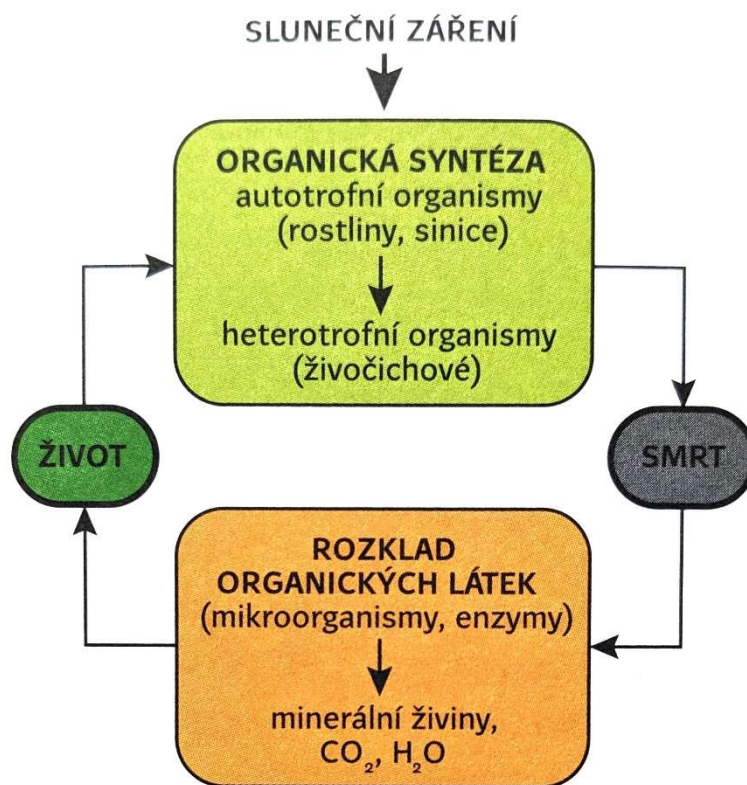
Organický uhlík je nejvýznamnější složkou organické hmoty v půdě s vlivem na celou řadu půdních procesů a je zásadní pro udržení půdního zdraví a plodnosti. Jeho obsah a distribuce v půdním profilu je ovlivňována různými faktory, včetně klimatických podmínek, typu vegetace, geologického podloží, půdního typu, ale také lidskou činností. Množství organického uhlíku v půdě se liší i v závislosti na podnebí, přičemž v teplejších a vlhčích oblastech obvykle půdy obsahují vyšší množství organického uhlíku oproti půdám v suchých a chladných oblastech.

V půdách je rozlišován volný, stabilní a aktivní organický uhlík. Volný uhlík není vázán na žádné minerály ani nereaguje s minerálními agregáty, zatímco stabilní uhlík je navázán v humusových látkách, v huminových a fulvinových kyselinách. Labilní uhlík neboli aktivní uhlík je obsažen v lehce rozložitelných sloučeninách, proto může být snadno oxidovatelný v důsledku mikrobiálního rozkladu, což vede k uvolnění živin a ke snížení obsahu humusu v půdě.[9][14][16][18]

Ke kvantifikaci organického uhlíku se využívají parametry jako  $C_{org}$  (organické uhlíkové složení) nebo  $C_{ox}$  (oxidace organického uhlíku), které poskytují informaci o množství a distribuci organického uhlíku v půdě. Parametr  $C_{org}$  vyjadřuje množství organického uhlíku obsaženého v půdě, často vyjádřené jako hmotnostní nebo objemový podíl, zatímco parametr  $C_{ox}$  zahrnuje i oxidované formy organického uhlíku. Analýza humusu po stránce kvantitativní i kvalitativní je založena na množství oxidovatelného uhlíku, jehož hodnota se vynásobí koeficientem 1,724 jelikož uhlík zastupuje 58 % složení humusu. Množství humusu v ČR se pohybuje od 1 do 7 % a nejčastěji od 2 do 3 % v ornici. Ke kvalitnějšímu popisu lze využít i jiné parametry, jako je například poměr huminových kyselin a fulvokyselin (HK:FK) či poměr uhlíku a dusíku (C:N). V poslední době se pozornost upírá ke stanovení obsahu glomalinu, což je glykoprotein produkovaný houbami žijícími uvnitř kořenů v půdě.[9][13][14][19]

### **2.2.5 Analýza přístupných živin**

Živiny pro rostliny v půdě se nachází ve formě půdního roztoku, jsou výměně vázané na povrchu minerálních a organických koloidů, v jílových minerálech či v organické hmotě. Jak lze vidět na obrázku 3, autotrofní organismy vyrábí organické sloučeniny, které v kombinaci s minerálními látkami tvoří biomasu, jež je konzumována heterotrofními organismy a následně rozkládaná a mineralizovaná zpět na minerální živiny, například dusík, fosfor, draslík, hořčík, vápník atd. Zmíněné prvky se nazývají biogenní a jsou nezbytné pro růst, vývoj a fungování organismu. Každý z prvků hraje v půdním ekosystému zcela unikátní roli a jejich dostupnost a správné vyvážení je klíčové pro růst a vývoj rostliny.[9][13][14][20]



Obrázek 3: Procesy syntézy a rozkladu látek v koloběhu prvků.[9]

Fosfor (P) v půdách lze nalézt ve formě anorganické, kde tvoří sloučeniny s vápníkem ve formě fosfátu a málo rozpustných apatitů, s čímž souvisí nepřístupnost takto vázaného P pro rostliny. Dále jej lze nalézt v jednodušších sloučeninách monofosfátů, ze kterých je fosfor pro rostliny nejsnadněji přístupný. Zdroje fosforu v organických sloučeninách nacházíme například v inositolfosfátech, nukleových kyselinách a ve fosfolipidech. Celkový obsah fosforu v půdách se pohybuje kolem 0,08 %. Obecně lze říct, že mladší půdy, které vznikly z bazických hornin a jsou málo zvětralé, mají tendenci obsahovat vyšší hladiny fosforu. Naopak u starších půd, které jsou silně zvětralé a obsahují větší podíl písku, je pozorován nižší obsah fosforu. Tento prvek je v přírodě nezbytný pro tvorbu nukleových kyselin a fosfolipidů, což je zásadní pro buněčnou strukturu a metabolismus rostlin. Jeho nedostatek významně omezuje růst a vývoj rostlin.

Průměrný obsah draslíku (K) v půdě se pohybuje kolem 1,3 % a opět závisí na složení půdy, míře zvětrání, matečné hornině a na jílových minerálech. Nachází se v živcích a slídách, které jsou poměrně rezistentní ke zvětrávání, a proto je rostlinám prvek v této formě nepřístupný. Snadno přístupný draslík lze nalézt v půdních roztocích nebo jako výměnný draslík adsorbovaný na koloidních površích. Tento prvek je v přírodě důležitý, jelikož ovlivňuje syntézu chlorofylu, regulaci vodního hospodářství rostlin a přenos živin. Nedostatek draslíku vede k neúrodnosti půdy, snížení odolnosti rostlin vůči stresu a příjmu  $\text{NH}_4^+$ , čímž je narušena enzymatická syntéza některých organických kyselin.

Vápník (Ca) a hořčík (Mg) se zpravidla nachází společně v krystalových mřížkách minerálů, ve formě výměnné i ve formě solí. Zdrojem prvků jsou obvykle uhličitany ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ), jejichž vysoký obsah lze nalézt v rendzinách a černozemích (půdní

typy). Vápnění pomocí dolomitického vápence (minerály kalcitu a dolomitu) či páleným vápnem (CaO) je jedna z cest, jak zvýšit obsah Ca a Mg v půdách. Vápník se v českých půdách vyskytuje od desetin procent až po 30 hmotnostních procent, avšak obvykle se hodnoty pohybují v rozmezí 0,2–6 %. Mg je nezbytný pro tvorbu chlorofylu, který je základním pigmentem zapojeným do fotosyntézy, dále aktivuje enzymatické pochody a ovlivňuje metabolismus sacharidů, lipidů a nukleových kyselin (NK). Jeho nedostatkem je způsobeno žloutnutí listů a snížená fotosyntetická aktivita, což negativně ovlivňuje výnos a kvalitu plodin. Vápník hraje důležitou roli při tvorbě struktury půdy a je nezbytný pro tvorbu buněčných stěn rostlin. Jeho nedostatkem je způsoben nepravidelný růst kořenů a deformace plodů.

Analýza Mehlich III je jednou z metod používaných k určení obsahu živin a minerálních složek v půdě. Princip analýzy spočívá v extrakci rozpustných solí a minerálů z půdního vzorku pomocí slabého roztoku kyseliny chlorovodíkové, která napomáhá uvolňovat ionty živin a minerálů vázané v půdní matici. Extrahované ionty jsou následně analyzovány pomocí různých analytických metod, jako je UV-VIS spektrometrie, atomová absorpční spektroskopie, plynová chromatografie nebo iontová chromatografie. Výhody Mehlichu III zahrnují relativně jednoduchý postup extrakce a relativně nízké náklady na provedení analýzy, zároveň tato metoda umožňuje získat informace o rozpustných složkách v půdě, které jsou snadno dostupné pro rostliny a mají přímý vliv na jejich růst a vývoj.[9][14][18][21]

Analyzovat a monitorovat přístupnost výše zmíněných živin v půdě je nezbytné pro efektivní plánování hnojení, péči o půdu, dosažení optimálního výnosu a kvality plodin, důležité je tedy z hlediska ekonomického i ekologického.[9][14]

### 2.3 Atomová absorpční spektrometrie

Atomová absorpční spektrometrie (AAS) je analytická kvantitativní i kvalitativní metoda pro stanovení více než 60 prvků, převážně kovů a přechodných kovů v rozmezí koncentračních hodnot od 1  $\mu\text{g/l}$  až po desetiny  $\text{g/l}$ . V experimentální části je tato metoda využita pro analýzu vápníku, hořčíku a draslíku v půdě. AAS je založena na absorpci fotonu o dané energii atomy analyzovaného prvku v plynném stavu. Za předpokladu, že vlnová délka odpovídá energetickému rozdílu hladin, dochází k excitaci valenčního elektronu ze základní energetické hladiny na hladinu energeticky bohatší s dobou trvání vybuzeného stavu zhruba  $10^{-8}$  s. Většina atomů za teplot používaných při atomizaci v AAS je v základním stavu, proto lze v absorpčních spektrech pozorovat pouze přechody ze základního stavu do stavů excitovaných. Rozdíly energií mezi jednotlivými elektronovými stavy atomu jsou charakteristické pro každý prvek. Díky úbytku primárního záření lze vypočítat koncentraci volných atomů prvku, který záření absorboval. Atomový absorpční spektrometr je sestaven ze zdroje záření, atomizátoru, monochromátoru a detektoru.[22][24][68]

Jak bylo dříve zmíněno, atom absorbuje záření o charakteristických vlnových délkách. Nejčastěji používanými zdroji záření v AAS jsou výbojka s dutou katodou a xenonová výbojka. Výbojka s dutou katodou je složena ze skleněné trubice naplněné inertním plynem (neon, argon), obsahující wolframovou anodu a válcovou kovovou katodu, jež je vyrobena ze stanovovaného kovu. Lze sestavit i více prvkové výbojky, kde je katoda složena z dvou a více různých kovů. Xenonová výbojka je baňka z křemenného skla s wolframovými elektrodami naplněna xenonem. Její výhodou je, že pokrývá ultrafialovou (UV) i viditelnou (VIS) oblast spektra a je schopna víceprvkového měření.[22][68]

Ve všech atomových spektroskopických metodách je nutné atomizovat vzorek, což znamená převést jej na atomy nebo ionty v plynné fázi. Vzorky se mohou nacházet ve formě kapalného, plynného ale také pevného skupenství. Dle způsobu zavádění vzorku lze rozdělit atomizátory do dvou skupin. Prvním příkladem atomizátorů pracujících kontinuálně, do kterých je vzorek dávkován stálým nepřerušovaným tokem, je například plamenový atomizátor, různé druhy vyhřívaných křemenných trubic či plazmové zdroje. Elektrotermický atomizátor se řadí do druhé skupiny, jelikož pracuje v diskretních cyklech (dávkách), ve kterých je vzorek zaváděn automatickým dávkovačem, pipetou či dávkovací jehlou.[23][68]

Další komponentou přístroje je monochromátor, jenž slouží k výběru vhodných vlnových délek. Difrakční mřížka je jednou z klíčových součástí monochromátoru. Rozkládá světlo procházející vstupní štěrbinou na jednotlivé vlnové délky. Odrazem od reflexního povrchu mřížky se různé vlnové délky světla odchyľují pod různými úhly. Pomocí otáčení mřížky dochází k zaostření na výstupní štěrbinu, za kterou je umístěn detektor záření. K identifikování propuštěného záření, které je přeměněno a zpracováno na měřitelnou elektrickou veličinu, se využívají fotonásobiče, křemíkové polovodičové diody a fotovodivostní detektory.[23][68]

Atomová absorpční spektrometrie je významná analytická metoda pro stanovení stopových množství prvků v různých materiálech hlavně díky selektivnímu stanovení jednotlivých prvků v analytu. AAS je schopna detekovat nízké koncentrace prvků v řádů ppb (parts per bilion) i ppt (parts per trilion). Metoda je relativně jednoduchá a spolehlivá, což umožňuje rychlé získávání výsledků. Také ji lze použít pro širokou škálu prvků, což z ní činí všestrannou analytickou metodu.[24][68]

## 2.4 UV-VIS spektrometrie

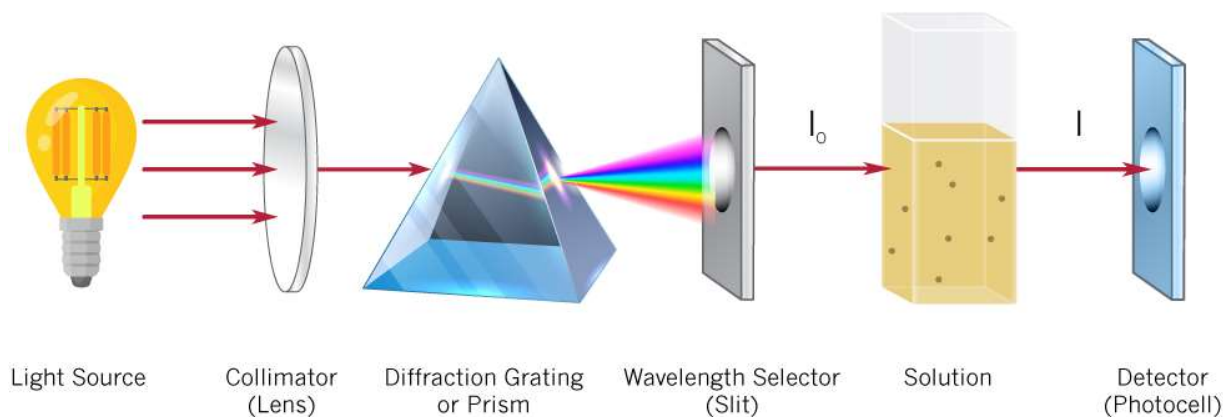
Spektrometrie v ultrafialové a viditelné oblasti je optická spektrální metoda využívaná pro kvalitativní i kvantitativní analýzu anorganických, organických i biologických látek. Metoda je založena na pozorování a měření interakce elektromagnetického záření s hmotou, jež může být buď absorbováno (pohlcováno) hmotou nebo emitováno (vyzařováno). Výstupem měření je absorpční spektrum neboli závislost absorbance analytu na vlnové délce.[25][68]

Absorpční spektrometrie v UV–VIS oblasti se zabývá zářením v rozsahu vlnových délek 200 až 800 nm. Atomy a molekuly vzorku se za normálních podmínek vyskytují v základním stavu. Při absorpci záření dochází k výměně energie mezi fotony a hmotou, což vede k excitaci valenčních elektronů v molekulách vzorku a jejich přesunu do vyšších energetických hladin. Elektrony setrvávají v excitovaném stavu velmi krátkou dobu (v rámci nanosekund) a následně se vrací zpět na základní hladinu, což se nazývá deexcitace. Tyto interakce spojené s přechody jsou závislé na energii využitého záření. Analyzovaná látka absorbuje záření o určité frekvenci, které je pro danou látku specifické. Z důvodu absorpce dojde ke zeslabení zářivého toku vycházejícího ze zdroje, kterým je často wolframová žárovka pro viditelnou oblast nebo deuteriová výbojka pro UV oblast. Pokles je závislý na koncentraci zkoumané látky ve vzorku a je možné jej kvantitativně popsat Bouguer–Lambert–Beerovým zákonem (BLB zákon). Absorbované záření UV–VIS může být doprovázeno rozptylem záření na částicích, makromolekulách či koloidních micelách.[26][68]

Celý systém je složen z několika komponent, které lze vidět na obrázku 4. Jak již bylo dříve zmíněno, prvním je zdroj stabilního záření, následovaný prvkem, jež vybírá (selektuje) úzký pás vlnových délek. Příkladem je optický hranol či monochromátor, jehož součástí je difrakční



mřížka, která rozkládá paprsek světla na jednotlivé vlnové délky a pomocí rotací prochází výstupní štěrbinou zvolený soubor vlnových délek. Dále systém obsahuje jednu nebo dvě kyvety (podle uspořádání zařízení). Čtvrtou komponentou je detektor záření, který přeměňuje dopadající fotony na měřitelný elektrický signál (napětí, proud). Obvykle používanými detektory v UV–VIS spektrometrii jsou fotonásobiče a CCD detektory. Poslední částí je jednotka umožňující zpracování elektrického signálu a sběr dat.[27][68]



Obrázek 4: Schéma UV–VIS spektrometru složen ze zdroje záření (Light Source), kolimátoru (reflexní zaměřovač, Colimator), difrakční mřížky (Diffraction Grating), selektoru vlnové délky (Wavelength Selector), vzorku (Solution) a detektoru (Detector).[28]

UV–VIS spektrometrie nachází široké využití v laboratoři díky svým vlastnostem. Jedná se o kvantitativní metodu, což bylo využito v této práci. V experimentální části byl měřen obsah fosforu v půdě díky metodě, která je relativně snadná, citlivá, nedestruktivní, rychlá s okamžitě dostupnými výsledky, což umožňuje efektivní monitorování procesů a rutinní analýzy. Pro analýzu pomocí UV–VIS spektrometrie je obvykle potřeba jen malé množství vzorku, což je jedna z dalších výhod metody.[25][68]

## 2.5 Plazma

Plazma bývá označováno jako čtvrté skupenství hmoty. Jedním z prvních vědců, kteří tento termín použili, byl Irving Langmuir, který tímto pojmem popsal stav plynu, ve kterém se nacházejí ionty a elektrony, vytvořené v důsledku elektrického výboje. V dnešní době se jako plazma označuje kvazineutrální ionizovaný plyn, jehož částice vykazují kolektivní chování. Je složeno ze tří typů částic, a to z neutrálních molekul, záporně nabitých částic (elektrony a anionty) a kladně nabitých částic (kationty). Pomocí volných nosičů náboje je schopné reagovat s elektrickým a magnetickým polem. Pojem kolektivní chování plazmatu znamená, že jednotlivé nabitě částice se vzájemně ovlivňují a interagují s okolními nabitými částicemi. Kvazineutralita popisuje efekt, kdy se plazma navenek jeví neutrálně, což je způsobeno stejným množstvím záporně a kladně nabitých částic v makroskopickém objemu.[29][30]

Mezi základní parametry, které charakterizují a umožňují popis plazmatu, se řadí například Debyeova délka, stupeň ionizace plazmatu, teplota, hustota nabitých částic, hustota plynu (tlak) či plazmová frekvence. Debyeova délka udává vzdálenost, do které jsou náboje v plazmatu

vnímány jako nestíněné. Vzájemné interakce dvou elektricky nabitých částic v plazmatu závisí na vzdálenosti, ve které se tyto částice vůči sobě nachází. V případě, kdy jsou dostatečně blízko u sebe, bude interakce probíhat podle Coulombova zákona, avšak v plazmatu jsou přítomny volné nosiče nábojů, jež Coulombické interakce stíní v případě větší vzdálenosti.[31][32]

Jak bylo dříve zmíněno, plazma lze rozdělit dle stupně ionizace na slabě a silně ionizované. V případě slabě ionizovaného plazmatu převládá koncentrace neutrálních částic nad nabitými částicemi. Pro zachování ideality plazmatu je uváděna hodnota řádově 1–10 %. Nabité částice se zde sráží především s molekulami plynu. U slabě ionizovaného plazmatu je energie vzájemného působení částic dána polarizačními silami, kdy se jedná o síly krátkého dosahu, načež potenciální energie klesá se vzdáleností částic  $r$  jako  $r^{-4}$ . Naopak v silně ionizovaném plazmatu převládá koncentrace nabitých částic nad neutrálními molekulami. Proto zde dominují srážky nabitých částic. Charakter silového působení mezi jednotlivými částicemi je daný Coulombickými silami. Jedná se o síly, které mají daleký dosah a potenciální energie klesá se vzdáleností  $r$  jako  $r^{-1}$ . [30]

Dále rozlišujeme plazma podle střední energie částic (teploty) na vysokoteplotní a nízkoteplotní plazma. Jedná se spíše o konvenci, jelikož nelze stanovit objektivní hranici teploty. Obecně je plazma označována za vysokoteplotní, je-li střední energie nabitých částic vyšší než 100 eV, což odpovídá teplotě okolo 1 MK. U nízkoteplotního plazmatu je střední energie elektronů vyšší než energie větších nabitých částic, Zpravidla se jedná o jednotky až desítky eV, což přísluší teplotě elektronů  $10^4$ – $10^5$  K. Teplota těžkých částic se pohybuje až o dva řády níž (pouhé stovky K), což umožňuje aplikovat nízkoteplotní plazma i v teplotně citlivých procesech.[30][33]

### 2.5.1 Vznik plazmatu

Pro vznik plazmatu je nutné dodat velké množství energie, které lze získat například působením silného elektrického pole, ionizujícím zařízením, fotoionizací, nebo mechanickou energií. Při generaci plazmatu pomocí elektrického výboje je aplikováno elektrické pole, čímž dochází ke zrychlení částic v systému, tedy i k zvýšení počtu pružných a nepružných srážek mezi molekulami. Při zvýšení energie dochází k překročení vazebné energie mezi atomy, nastává disociace molekul, následované vyražením elektronů z oběžných drah atomů a molekul. Pokud tyto elektrony mají dostatečnou energii, dochází při nepružných srážkách s ostatními molekulami plynu k uvolnění dalších elektronů, čímž vzniká ionizační lavina. Při fotoionizaci důsledkem absorpce fotonu atomem nebo molekulou dochází k ionizaci, přičemž energie fotonu musí být stejná nebo vyšší než ionizační energie dané molekuly či atomu. K ionizaci může docházet i v důsledku zvýšení teploty zahříváním, avšak jedná se o náročný proces, jelikož je nutné docílit desítek tisíc Kelvinů.[30][34]–[36]

V laboratorních podmínkách je využíváno ke generaci plazmatu několik druhů plazmových reaktorů a zdrojů vysokého napětí, které může být stejnosměrné či střídavé v širokém rozsahu frekvencí od nízkofrekvenčního přes vysokofrekvenční až po mikrovlnné, v režimu kontinuálním nebo pulzním. Plazmové výboje se liší způsobem vybuzení, použitým tlakem, vlastnostmi plynu, již zmíněným aplikovaným napětím, tvarem elektrod či podmínkami pracovního prostředí.[30][36][37]

### 2.5.2 Výboje iniciované ve vzduchu

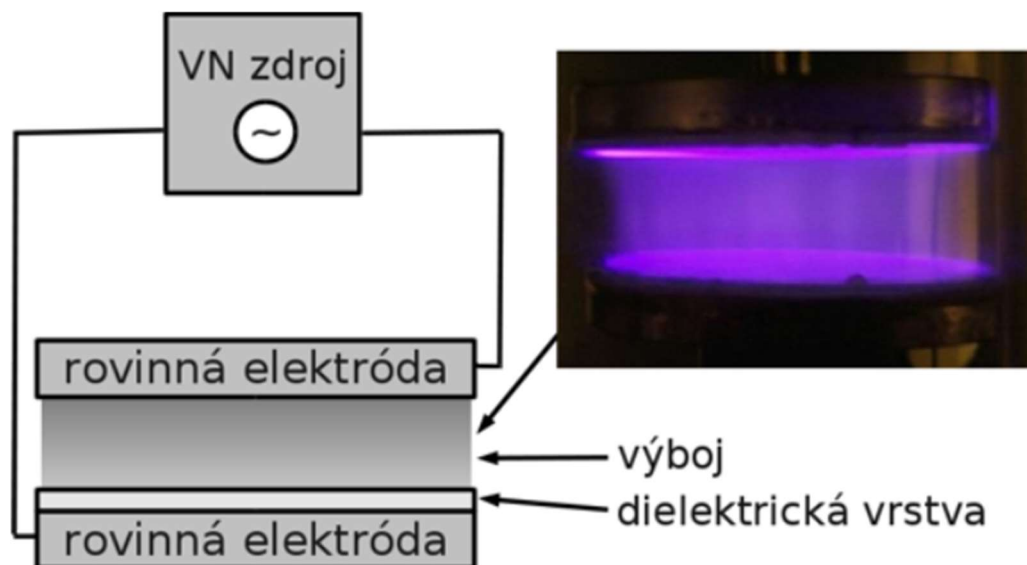
Samotný výboj ve vzduchu zahrnuje složité interakce mezi elektrickým polem a částicemi ve vzduchu, který je tvořen neutrálními molekulami, a neobsahuje volné nosiče náboje. Plazma reaguje s okolními látkami a materiály, což vede k vytváření reaktivních částic kyslíku a dusíku, rozkladu škodlivých látek nebo k tvorbě UV záření a tepla.[38]

#### **Dielektrický bariérový výboj**

Dielektrický bariérový výboj (DBD – Dielectric Barrier Discharges) se řadí mezi neizotermické výboje za atmosférického tlaku, který je generován mezi dvojicí vodivých elektrod přiložením vysokého střídavého napětí. Elektrody jsou odděleny jednou či více dielektrickými přepážkami umístěnými mezi elektrodami, jež jsou nejčastěji vyrobeny z kovu. Lze se setkat s konfigurací, kde jedna nebo obě elektrody mohou být tvořeny elektricky vodivou kapalinou (tzv. povrchově vodivý vzorek). Dielektrikum může být vyrobeno ze skla, křemene, keramiky, různých polymerů, oxidu hlinitého nebo slídy. Využití vysokého napětí umožňuje výrobu intenzivního elektrického pole, které ionizuje plyn. DBD je jedním ze systémů sloužících ke generaci ozónu, který vzniká v důsledku ionizace plynu, kdy dochází i ke generaci elektronů, metastabilních látek, reaktivních druhů kyslíku včetně atomového kyslíku a hydroxylových radikálů. Vlastnosti výboje jsou ovlivněny geometrickou konfigurací elektrod a dielektrika, které se liší materiálovými vlastnostmi, jako je morfologie povrchu, porozita, dielektrické vlastnosti, chemické složení a čistota vrstvy. Záleží také na použitém pracovním plynu, velikosti a frekvenci budícího napětí. Na základě výše zmíněných vlastností lze dielektrické bariérové výboje rozdělit na objemové, povrchové a koplanární.[46]–[48]

Objemový dielektrický bariérový výboj je tvořen paralelními rovinnými anebo válcovitými elektrodami, pokrytými dielektrickou vrstvou, mezi nimiž je mezera s výbojem. Elektrodivý systém povrchového bariérového výboje, který je zobrazen na obrázku 5, se skládá ze dvou elektrod. První planární elektroda je pokryta dielektrikem, kdežto druhá elektroda je umístěna z druhé strany dielektrika a může mít různé tvary, často se jedná o pásek, váleček nebo kruh.

Existuje mnoho oblastí, kde je využití dielektrického bariérového výboje výhodné. Příkladem může být plazmové čištění a leptání povrchů, mikrobiální inaktivace, generování UV záření pro sterilizaci a dezinfekci v oblasti medicíny i zemědělství. Tyto příklady ukazují rozmanité využití DBD v různých odvětvích a ilustrují jeho široký potenciál v mnoha aplikacích.[47][48]



Obrázek 5: Schématické znázornění dielektrického bariérového výboje a plošný DBB v praxi.[29]

### Mikrovlnný výboj

Mikrovlnné výboje jsou elektrické výboje generované elektromagnetickými vlnami, které spadají do oblasti mikrovln a proto mají frekvenci přesahující 300 MHz. Plazma vybudena mikrovlnným výbojem obsahuje vyšší množství ionizovaných částic v porovnání s plazmatem získaným jednosměrným nebo vysokofrekvenčním výbojem, protože jeho teplota je desetkrát vyšší. Jako zdroj elektromagnetického pole se obvykle používá magnetron, který generuje vlny o frekvenci 2,45 GHz. Podle konstrukce lze rozdělit systém na 3 typy. První možností je plazma generovaná v rezonanční dutině, kde dochází k zesílení vlny pomocí rezonance a vystupující ven skrz malý otvor ve formě dohasínajícího výboje (post-discharge, afterglow). V druhém typu je plazma tvořena na rozhraní vodiče a dielektrika (vzduch, sklo). Mikrovlny vstupují do rezonanční dutiny, kde tvoří stojatou vlnu, z níž některé vlny se šíří podél dielektrika a vyrábí povrchovou vlnu šířící se po povrchu plazmatu. Posledním typem jsou pochodňové (fakulové) výboje, kde mikrovlnné plazma je vygenerováno na hrotu centrální kovové elektrody.[49][50]

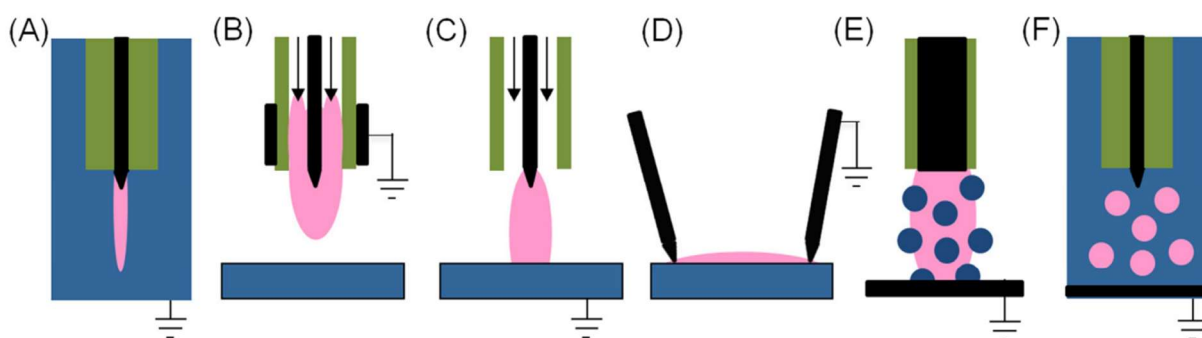
### 2.5.3 Výboje iniciované v kapalině

Významnou vlastností plazmatu je jeho schopnost generovat vysoké množství reaktivních částic, včetně elektronů, iontů, radikálů a fotonů. Kapaliny obvykle vykazují vyšší hustotu než plyny, což má za následek častější srážky a umožňuje plazmatu efektivně přenášet tyto částice do vody, důsledkem toho vzniká široká škála reakcí. Při aplikaci elektrického pole ve vodném prostředí dochází k uspořádání molekul vody podle elektrického dipólového momentu, což tvoří elektrickou dvojvrstvou blízko elektrody. Nastává tak nehomogenita hustoty prostředí kolem elektrody, s největším gradientem elektrického pole u jejího hrotu či ústí elektrody. Dalším důležitým faktorem kapalného prostředí je jeho elektrická vodivost. V situaci, že je příliš nízká, nedojde k zapálení výboje z důvodu nedostatku reaktivních částic. Vyšší vodivost roztoku vede k vyššímu protékajícímu proudu a napětí. Z výše zmíněných informací vyplývá, že během hoření výboje se elektrická vodivost kapaliny zvyšuje díky generaci aktivních částic a tepla.[39]–[42]

Tyto vlastnosti kapalin omezují možnosti generování elektrického výboje, avšak existuje široká škála zařízení s různými konfiguracemi pro generaci plazmatu, které se používají. Příkladem může být použití různých typů výbojů, jako jsou korónové, obloukové, bariérové či štěrbinové s různým uspořádáním elektrod (hrot–rovina, hrot–hrot, koaxiální uspořádání, pin–hole).[39][40]

### Interakce výboje s kapalinou

Klíčový je též typ interakce, protože ovlivňuje vlastnosti a účinnost plazmatu. Podle místa interakce výboje s kapalinou lze systémy dělit do tří hlavních kategorií. Systém s elektrickým výbojem nad kapalinou je založen na impulsním výboji reaktoru generující zmiňovaný výboj v plynné fázi nad vodní hladinou. Druhou možností je přímé zavádění elektrického výboje do kapaliny prostřednictvím tzv. korónování, známého také jako korónový výboj. Jedná se o výboj generovaný přímo v kapalině, kdy obě elektrody jsou umístěny pod hladinou vody. Elektrický výboj navíc provází rázové vlny, silné elektrické heterogenní pole a ultrafialové záření. Poslední místo interakce výboje s kapalinou je prostřednictvím elektrického výboje v bublinách plynu zaváděného do kapaliny. Elektrický výboj je zapálen v bublině plynu, která je obklopena kapalinou a slouží jako elektroda. Pro generaci tohoto typu výboje lze využít různých konfigurací, jako jsou bublající systémy, kapilární nebo membránové systémy a další. Výše zmíněné příklady rozdílných konfigurací elektrod lze vidět na obrázku 6.[43][44]



Obrázek 6: Schéma výbojů využívaných při interakci plazma–kapalina: (A) výboj v kapalině, (B) plazma v plynné fázi bez kontaktu s kapalinou, (C) plynné plazma s tekutou elektrodou, (D) povrchový výboj, (E) plazma v plynné fázi s rozptýlenou kapalnou fází (aerosol), (F) výboje v bublinách.[39]

Interakce plazmatu s kapalinou se rozšířila do různých oblastí včetně analytické chemie, environmentálních aplikací (úprava a dezinfekce vody), rozkladů organických látek, syntéz materiálů (včetně nanočástic) i chemických syntéz ( $H_2O_2$ ,  $H_2$ ), využití nachází také nejen při sterilizaci v medicínském odvětví, ale také v zemědělské aplikaci (plazmatem aktivovaná voda).[39]

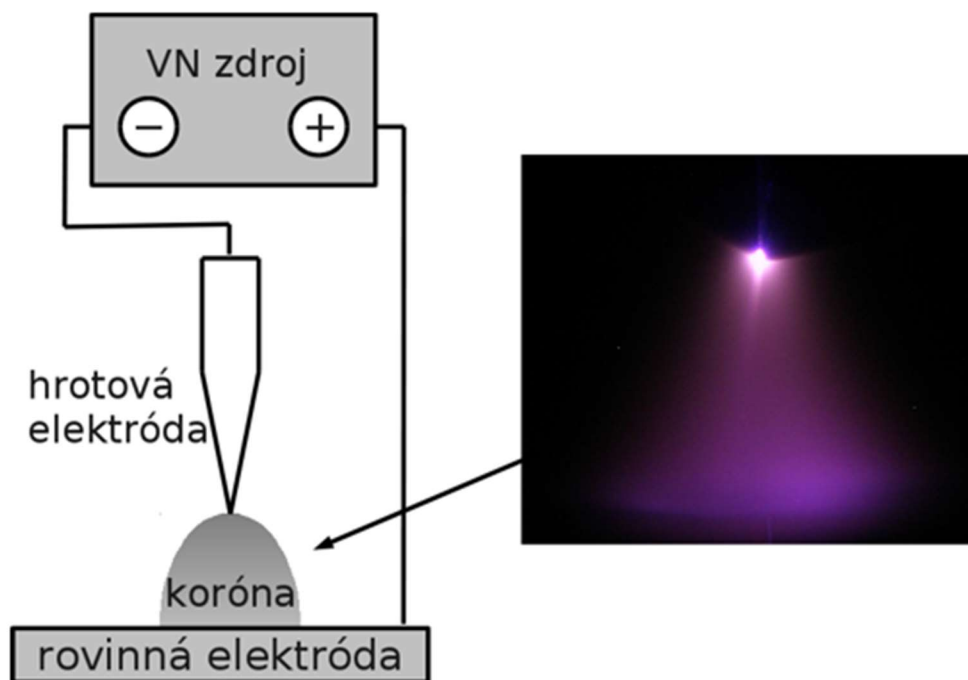
## 2.6 Metody ošetření cibule

V konvekčním zemědělství je standardně před výsadbou sazečka mořena různými chemickými látkami, mimo jiné i roztoky s fungicidními účinky. Jedná se o chemickou ochranu rostlin před hnilobou, houbovými chorobami, či plísněmi.[64] Ošetření může mít také za následek stimulaci kořenového růstu, zlepšení odolnosti vůči stresu či podporu rychlejšího růstu. Avšak obvykle používané látky nejsou příliš šetrné k přírodě, proto se výzkumy zabývají ekologicky šetrnými

úpravami. Cibule v laboratoři byly před výsadbou ošetřeny pomocí plazmatu za účelem zvýšení výnosnosti. Konkrétně byl využit korónový výboj a plazmatem aktivovaná voda.[51]–[53]

### 2.6.1 Korónový výboj

Vznik korónového výboje probíhá v nehomogenním elektrickém poli mezi dvěma elektrodami při tlaku nad 1 kPa, nebo elektrodou (anodou) a vodním povrchem (katodou). Elektroda, obvykle anoda, je navržena s malým poloměrem zakřivení (hrot, tenký drát, špička anebo jehla). Díky této geometrii vzniká elektrické pole s vysokou intenzitou kolem korónující elektrody, což vede k místnímu průrazu. Pouze v okolí elektrody dochází k oddělení elektronů od molekul a k disociaci plynu. Tato oblast velmi disociovaného plynu se označuje jako korónující či ionizační vrstva, kterou lze spatřit jako jemně svítící oblast obklopenou tmavým kruhem, neboli vnější oblastí, kde se ionizace nevyskytuje (lze vidět na obrázku 7). Korónový výboj může probíhat v kontinuálním i pulsním režimu, přičemž elektrony získávají vysokou energii, což vede ke generaci nízkoteplotního plazmatu. Typ koróny, zda kladná nebo záporná, je rozlišován podle elektrody s malým poloměrem zakřivení. V situaci, že obě elektrody mají malý poloměr zakřivení, hovoříme o bipolární koróně.[54][55]



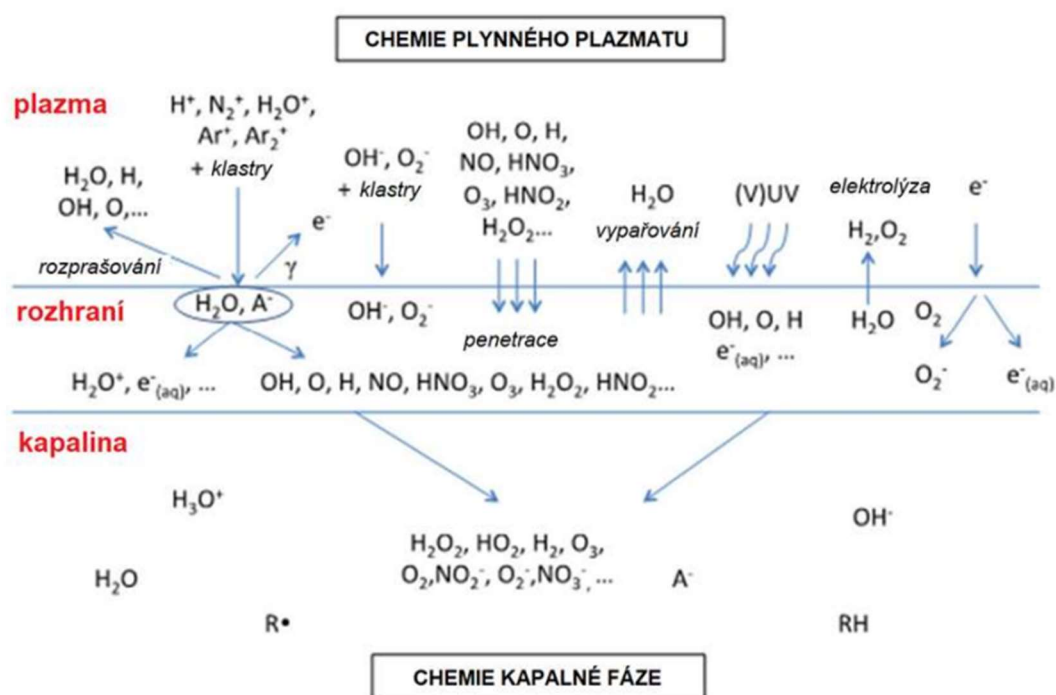
Obrázek 7: Schématické zapojení negativního korónového výboje a foto svítící oblasti korony.[29]

Výhodou korónového systému je možnost relativně snadno konstruovat systém s více hroty, nebo možnost vytvoření tzv. korónového kruhu, který umožňuje opracování větších ploch popřípadě kontinuální proces. Korónový výboj byl již dlouho znám námořníkům během jejich plaveb na lodích, avšak oni tento jev označovali jako Eliášův oheň. Projevoval se jako světélkující hrot stěžně před bouřkou, protože elektrický náboj ve vzduchu vytvářel dostatečně silné elektrické pole. V moderních aplikacích se tento typ výboje obvykle využívá v těžko dostupných prostorech malých rozměrů, v xerografii (technologie kopírování a tisku), v medicíně například k odstranění kožních lézí či ke sterilizaci, v průmyslových procesech je využíván k nanášení práškových materiálů, využití nachází také při čištění vzduchu nebo

k dezinfekci půdy a vody v zemědělství. Toto jsou jen některé příklady z mnoha možných aplikací korónového výboje, který je využíván v široké škále technologických oblastí.[29][54][56][57]

### 2.6.2 Plazmatem aktivovaná voda

Voda, která byla vystavena účinkům nízkoteplotního plazmatu, se obvykle nazývá plazmatem aktivovaná, ve zkrácené formě PAW (plasma activated water). Při kontaktu plazmatu s kapalinou dochází k složitým procesům zahrnujících chemii plynné fáze, přesun částic přes různé fáze, přenos hmoty a tepla, mezifázové reakce a chemii kapalně fáze. Tyto reakce vedou ke vzniku celé řady biochemicky reaktivních částic kyslíku a dusíku, zkráceně RONS (reactive oxygen and nitrogen species). Ty je možné rozdělit do dvou skupin podle jejich doby života na částice s krátkou dobou života (short live species), kam se řadí radikálové částice, příkladem může být radikál oxidu dusnatého ( $\text{NO}\cdot$ ), hydroxylový radikál ( $\cdot\text{OH}$ ), či superoxidový aniontový radikál ( $\cdot\text{O}_2^-$ ), dále pak velmi reaktivní formy kyslíku, jako je například atomární ( $\text{O}$ ) a singletový kyslík ( $^1\text{O}_2$ ), dusíkové ionty ( $\text{N}_2^+$ ) a excitované molekuly dusíku ( $\text{N}_2^*$ ). V situaci, kdy krátkodobé částice přijdou do kontaktu s kapalinou dochází v důsledku jejich nestability a vysoké reaktivity k tvorbě částic s dlouhou dobou života (long live species), mezi které se řadí peroxid vodíku ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), dusitanový ( $\text{NO}_2^-$ ) a dusičnanový ( $\text{NO}_3^-$ ) aniont, ozón ( $\text{O}_3$ ), peroxodusitanový aniont ( $\text{ONOO}^-$ ) či kyselina peroxodusitá ( $\text{ONOOH}$ ). Koncentrace vznikajících částic v plazmatem aktivované vodě závisí na typu reaktoru, konfiguraci elektrod, na výběru pracovního plynu a doby vystavení kapaliny působení výboje.[39][58]–[60]

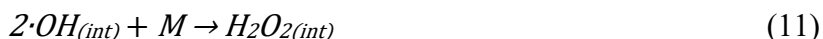


Obrázek 8: Chemické reakce při kontaktu plazmatu s kapalinou.[39]

Jak lze vidět na obrázku 8, okolí výboje obsahuje neutrální částice, například  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{O}_3$ , nebo  $\text{H}_2\text{O}_2$ , které jsou produkovány velkým počtem chemických reakcí, jejichž příklady znázorňují rovnice (1)–(8).[62]



V plazmatem aktivované vodě se může peroxid vodíku ( $H_2O_2$ ) vyskytovat díky přenosu z plynné fáze plazmatu nebo i přímou produkcí v kapalině pomocí rekombinace hydroxylových radikálů, které mají funkci prekurzoru, jak je znázorněno v rovnicích (9)–(11).[39] Použité označení v rovnicích znamená (g) plynná fáze, (aq) vodný roztok a (int) na rozhraní.



Vzhledem k množství různých zařízení a systémů produkujících plazmatem aktivovanou vodu je klíčové přesně stanovit její fyzikálně–chemické vlastnosti, nejčastěji se charakterizuje pH, vodivost, oxidačně–redukční potenciál či koncentrace peroxidu vodíku, dusitanových a dusičnanových aniontů. Reaktivní částice a ionty přítomné v PAW mají za následek nízkou hodnotu pH, jelikož jsou schopné do vodného roztoku uvolňovat vodíkové ionty. Ke kyselému charakteru roztoku také přispívá absorpce plazmaticky generovaných dusičnanů a dusitanů. RONS způsobují vyšší elektrickou vodivost a zvýšení oxidačně–redukčního potenciálu (ORP), jež vyjadřuje schopnost roztoku oxidovat nebo redukovat jiné látky. Pro stanovení koncentrace peroxidu vodíku se používají různé metody, včetně jodometrické a manganometrické titrace. V laboratoři je nejčastěji měřen spektrometricky za využití titanového činidla, které je pro  $H_2O_2$  selektivní. Stanovení přítomnosti dusitanových a dusičnanových iontů je založeno na Griessově reakci, při které dochází k diazotaci kyseliny sulfanilové za vzniku diazoniové soli, která následně reaguje s dalšími činidly. Výsledný fialový roztok azobarviva lze stanovit spektrofotometricky.[39][43][44][61]

Jednou z hlavních výhod PAW je její šetrnost k životnímu prostředí a lidskému zdraví. Oproti chemickým dezinfekčním prostředkům neobsahuje žádné agresivní chemikálie, které by způsobily narušení povrchu, nebo kontaminovaly vodu a půdu. Plazmatem aktivovaná voda se rozšířila do mnoha odvětví, včetně potravinářského průmyslu, zemědělství i zdravotnictví. V potravinářském průmyslu slouží jako účinný prostředek k dezinfekci potravin či povrchů zařízení.[61] K terapii rakoviny, k ošetření kůže za účelem hojení ran, či k ničení bakterií a virů je využívána v biomedicínských aplikacích.[44][45] Dále se PAW ukázala jako účinný prostředek k dezinfekci semen, u kterých je významné riziko kontaminace různými patogeny, před jejich výsadbou. Též ji lze aplikovat na listy rostlin prostřednictvím postřiku nebo zavlažování, což pomáhá v boji proti chorobám a škůdcům, nebo ji aplikovat přímo na půdu a podpořit tak klíčivost rostlin.[44][61] S rostoucím povědomím o udržitelném zemědělství je plazmatem aktivovaná voda vnímána jako klíčový nástroj k dosažení takovýchto cílů.[43]



## 2.7 Kvalitativní analýza

Plynová chromatografie (Gas Chromatography, GC) je analytická separační metoda, která stanovuje plyny, kapaliny i látky pevného skupenství s bodem varu do cca 400 °C. Systém je složen z pohyblivé mobilní fáze a stacionární fáze. Mobilní fáze obsahuje nosný inertní plyn, nejčastěji se jedná o argon či helium. Stacionární fáze, obvykle adsorbent nebo nosič se zakotvenou kapalnou fází, zůstává nepohyblivá. Při separaci látek vždy jeden fyzikálně-chemický děj převládá, díky čemuž lze rozlišovat adsorpční či rozdělovací chromatografii. V současné době jsou z velké části využívány kolony kapilární oproti náplňovým kolonám, jelikož mají větší separační schopnosti, a i proto jsou upřednostněny v tandemovém zapojení plynového chromatografu s hmotnostní spektrometrií (GC-MS). Plynová chromatografie se vyznačuje jak největší variabilitou detekčních možností, tak i detektory s největší citlivostí a selektivitou mezi všemi separačními metodami. Jedná se o jednu z nejpoužívanějších technik kvantitativní a kvalitativní analýzy. Podrobnější informace o GC, GC-MS, i o mikroextrakci pevnou fází (SPME) lze nalézt v mé bakalářské práci.[63][68]

## 2.8 Kvantitativní analýza

Hmotnostní spektrometrie (Mass Spectrometry, MS) se řadí mezi analytické separační metody využívající pohyb iontů plynného vzorku v elektromagnetickém poli. Základním principem této techniky je vytvoření iontů z anorganických nebo organických sloučenin pomocí vhodných metod. Ionty vznikají procesem zvaným ionizace, kdy neutrální částice analytu (molekula, atom, radikál) jsou přeměněny na ionty dodáním energie nebo přenesením náboje na základě protonové či elektronové afinity. Metody ionizace v MS zahrnují elektronovou ionizaci, chemickou ionizaci, ionizaci elektrosprejem či techniku MALDI (laserová desorpce a ionizace analytu za účasti matrice). Hmotnostní spektroskopie je všestranná, rychlá a citlivá kvalitativní i kvantitativní metoda sloužící k určení hmotnosti různých látek. Lze ji využívat v tandemových technikách, například s plynovou chromatografií (GC-MS).

V praktické části byla použita metoda PTR-TOF-MS. Protonová ionizace (Proton Transfer Reaction, PTR) se řadí mezi měkké ionizační techniky a je založena na přenosu protonu z primárně ionizované molekuly vody ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) na stanovovanou látku a její následné detekci. Chemická ionizace snižuje možnou fragmentaci a složitost spekter. Průletový analyzátor (Time Of Flight, TOF) pracuje na principu časového rozdělení iontů s rozdílným  $m/z$  na základě odlišné doby letu z iontového zdroje na detektor. Jedná se o nejjednodušší hmotnostní analyzátor, který je oblíben pro analýzu látek VOC (těkavá organická látka), jelikož ze své podstaty měří všechny poměry hmotnosti k náboji současně. Detailnější informace o hmotnostní spektrometrii i PTR-TOF-MS lze nalézt v mé bakalářské práci.[63][68]

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části práce byly ošetřeny cibulky plazmatem (korónový výboj, plazmatem aktivovaná voda) a následně vysazeny na různých lokalitách. Sklizené cibule byly převedeny na kapalný vzorek, který byl dále analyzován pomocí hmotnostní spektroskopie s reaktivní ionizací (PTR–TOF–MS) a tandemové techniky plynové chromatografie s hmotnostní spektroskopií (GC–MS). Sadba cibule proběhla v letech 2021, 2022, 2023. Po dobu každého roku byla zároveň odebrána půda před sadbou i po sklizni a charakterizována v laboratoři. Proběhlo vyhodnocení zrnitostního složení půdy, výměnné půdní reakce, obsahu organického uhlíku a v neposlední řadě analýza přístupných živin.

Pro vyhodnocení dat v diplomové práci bylo vybráno 5 lokalit z celkových 22 s úpravou B1 a B2, jak lze vidět v tabulce 3. Písmeno „B“ znázorňuje kombinaci úpravy sadby (tabulka 12). Číslo u úpravy vypovídá o velikosti vysazené cibulky v roce 2021. Cibulky s označením 1 vážily zhruba 4,7 g a s označením 2 byly lehčí, vážily cca 2,5 g. V roce 2022 se svou hmotností cibulky pohybovaly okolo 2,5 g a v roce 2023 průměrně vážily 1,2 g.

#### 3.1 Příprava a analýza půdních vzorků

Zemina byla odebrána z pěti různých míst (poblíž rohů a ze středu plochy) na pěstební ploše, promíchána a následně byla umístěna na suché místo, aby se přirozeně vysušila na vzduchu. V laboratoři byly ze směšného vzorku odstraněny nežádoucí příměsi, jako jsou rostlinné zbytky, kamínky, peří, skořápky od vajíček a uhlí. Čisté vzorky půdy byly rozmělněny v hmoždíři. Posledním krokem bylo nutné získat jemnozrný materiál o velikosti menší než 2 mm, čehož bylo docíleno pomocí kovového síta s velikostí ok 2 mm, čímž vznikla jemnozem (kompletní použité náčiní lze vidět na obrázku 9). Ta byla uskladněna do PET pytlíku, ze kterého se následně odebíralo potřebné množství pro konkrétní analýzy.



Obrázek 9: Použité náčiní pro přípravu jemnozemě v laboratoři (síta, lžíce, kartáč, hmoždíř).

### 3.1.1 Zrnitostní složení půdy

V prvním kroku byl vysušený pyknometr naplněn destilovanou vodou a temperován v lázni o teplotě 20 °C. Po 20 minutách byl pyknometr zazátkován, zvážen, následně byla voda vylita a pyknometr byl umístěn do sušárny. Do plechových misek bylo naváženo 23 g půdy, následně byly vloženy do sušárny při 105 °C. Po 60 minutách byla půda připravena pro stanovení měrné hmotnosti.

Pro stanovení měrné hmotnosti bylo naváženo 10 g jemnozeme do porcelánové misky (pro jeden vzorek proběhlo dvojí opakování), která byla zalita destilovanou vodou a za občasného míchání skleněnou tyčinkou byla směs vařena 10 minut. Poté byla směs odebrána z plotýnky a ponechána na vzduchu. Po ochlazení byla směs kvantitativně převedena do vysušeného pyknometru (obrázek 10), vložena do lázně, vytemperována, zazátkována a zvážena.



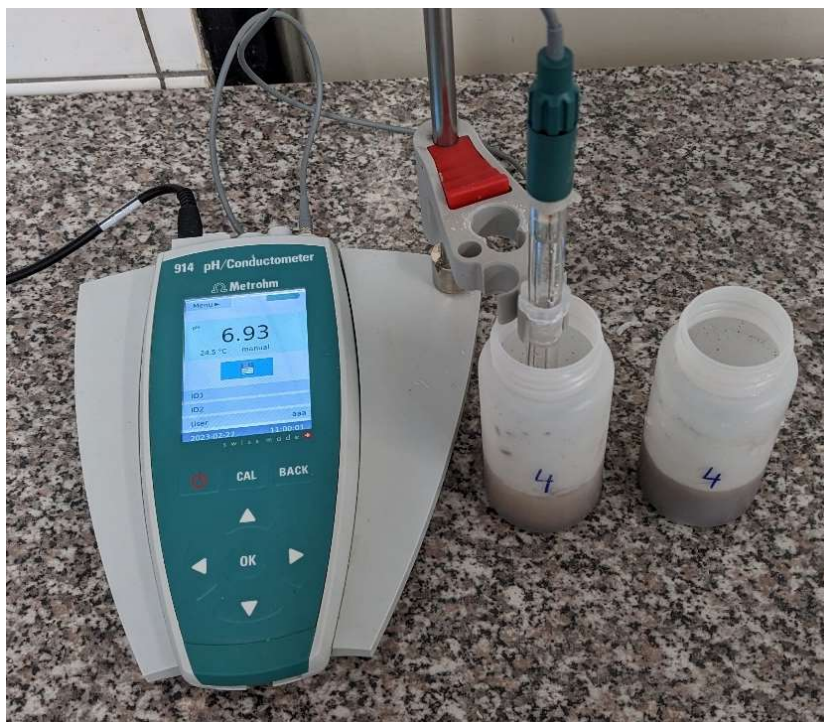
Obrázek 10: Kvantitativní převedení vzorku do pyknometru.

Pro stanovení zrnitostního složení půdy byla využita pipetovací metoda. Do kádinky bylo naváženo 10 g jemnozeme, přidáno 10 ml dispergačního činidla (hexametafosforečnan sodný) a přilito 10 ml destilované vody. Po 24 hodinách byla suspenze přivedena k varu, následně byla zředěna a nalita do sedimentačního válce přes síto s průměrem ok 0,25 mm. Válec byl doplněn po rysku (1000 ml) destilovanou vodou o teplotě 20 °C. Částice zachycené sítím byly kvantitativně převedeny do předem zvážené porcelánové misky a vloženy na pískovou lázeň, kde proběhlo odpaření vody. Následně byl vzorek sušen 1 hodinu v sušárně o teplotě 105 °C. Vysušený a vychladnutý vzorek byl zvážen na analytických vahách, čímž byla získána hmotnost první frakce. Suspenze v sedimentačním válci byla míchána míchadlem po

dobu jedné minuty a poté bylo provedeno pipetování 25 ml suspenze po dobu vypočtených časů podle Stokesova vzorce (vstupuje hodnota měrné hmotnosti). Odebrané vzorky byly vypouštěny do porcelánové misky. První pipetace byla provedena z hloubky 25 cm (frakce obsahující částice o velikosti menší než 0,05 mm), druhá byla provedena z hloubky 10 cm (částice o velikosti menší než 0,01 mm). Částice menší než 0,002 mm byly odebrány v hloubce 5 cm a čtvrtá pipetace z hloubky 7 cm (částice menší než 0,001 mm). V posledním kroku byly vzorky vysušeny, zváženy a příslušné hmotnosti frakcí zapsány.

### 3.1.2 Výměnná půdní reakce

Z každého vzorku půdy bylo do 50 ml kádínek naváženo 10 g jemnozeme ve dvou opakováních. Poté bylo ke vzorkům přilito 10 ml 0,01 molárního chloridu vápenatého. Roztok byl důkladně promíchán skleněnou tyčinkou a kádinky byly umístěny na třepačku po dobu jedné hodiny. V následujícím kroku bylo nutné nechat suspenzi sedimentovat (minimálně jednu hodinu). Měření pH bylo provedeno potenciometricky pomocí kombinované elektrody do relativního ustálení hodnot (obrázek 11). Měření bylo nezbytné provést nejpozději do 4 hodin od zalití půdy.



Obrázek 11: Laboratorní měření pH s kombinovanou elektrodou a vzorkem ve dvou opakování.

### 3.1.3 Organický uhlík

Jemnozeme byla rozetřena v třecí misce a přeseťá přes síto s oky o velikosti 0,25 mm. Do Erlenmeyrových baňky bylo naváženo 0,20 g půdy, ke které bylo přilito pomocí byrety 10 ml 96% kyseliny sírové a 10 ml dichromanu draselného. Obsah baňky byl opatrně krouživými pohyby promíchán (proběhla bouřlivá reakce při spalování a oxidaci organické hmoty) a ponechán po dobu 12 hodin odležet. Následně byl vzorek zředěn 100 ml destilované vody a sedmi kapkami indikátoru o-fenantrolinu. Výsledný roztok byl titrován 0,5 M roztokem Mohrovy soli z původní zelené barvy do hnědočervené. Identický postup byl zvolen pro slepý vzorek (bez půdy).

### 3.1.4 Analýza přístupných živin

Analýza byla provedena pomocí činidla Mehlich III, které bylo složeno z 0,2 mol/l kyseliny octové, 0,015 mol/l fluoridu amonného, 0,013 mol/l kyseliny dusičné, 0,25 mol/l dusičnanu amonného a 0,001 mol/l kyseliny ethylendiamintetraoctové (EDTA). Žlutozelené směsné činidlo pro analýzu fosforu bylo připraveno z 50 ml 14% kyseliny sírové, 20 ml kyseliny askorbové, 20 ml 3% molybdenanu amonného a 10 ml vinanu antimonylo-draselného.

Byla připravena plastová nádoba o objemu 250 ml, do které bylo naváženo 10 g jemnozemě. Půda byla zalita 100 ml činidla Mehlich III. Nádoba byla uzavřena a umístěna na 10 minut do třepačky. Poté vzniklá směs byla přefiltrována přes filtrační papír (modrá, typ 390), čímž vznikl kapalný vzorek, který byl dále analyzován (obrázek 12). Všechna měření byla provedena ve dvou opakování.



Obrázek 12: Sestavená filtrační aparatura – dva vzorky ve dvou opakování a blank.

Obsah fosforu byl měřen kolorimetricky, přičemž fosfor zreagoval se směsným činidlem a vytvořil modré zbarvení, jež je úměrné obsahu fosforu ve vzorku. Před samotným měřením byl připraven roztok odpipetováním 1 ml filtrátu a 5 ml směsného činidla do 50 ml skleněné baňky, která byla doplněna po rysku destilovanou vodou. Baňky byly ponechány 30 minut v klidu a poté byly roztoky i se slepým vzorkem (roztok se všemi činidly bez stanovované látky) proměřeny pomocí UV–VIS spektrometru UNICAM 8625. Pro vyhodnocení výsledků bylo nutné připravit a proměřit kalibrační křivku pomocí standardních roztoků.

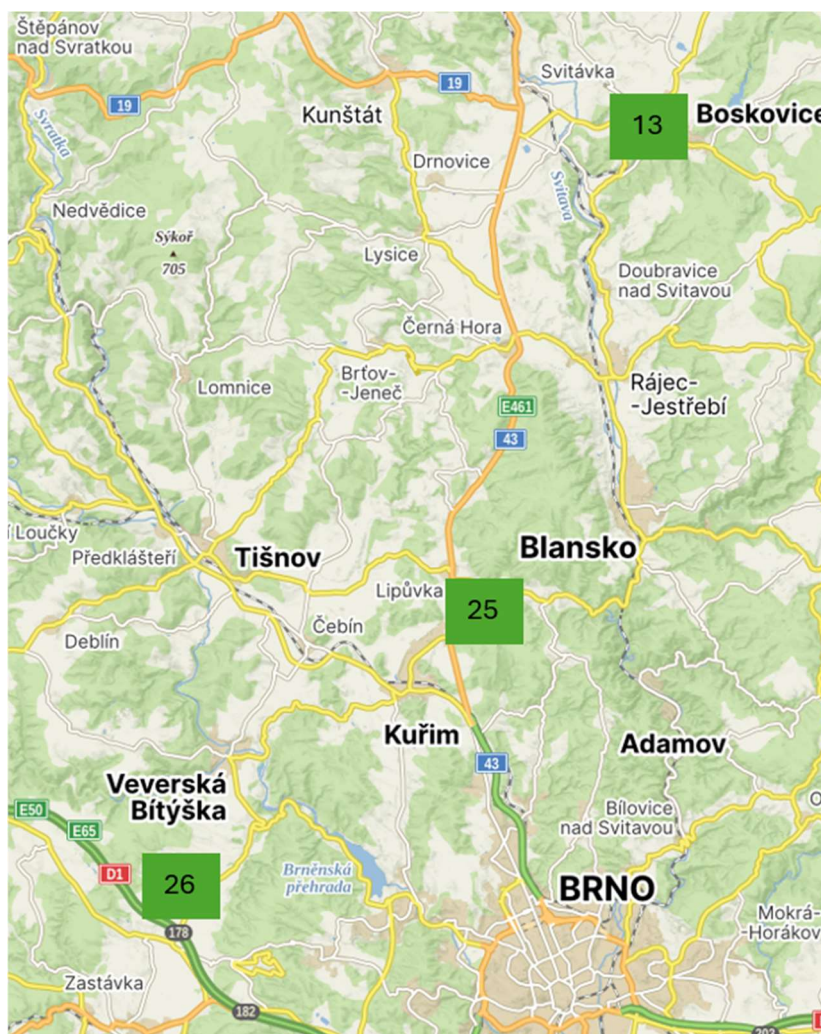
Koncentrace vápníku, hořčíku a draslíku byla analyzována pomocí atomové absorpční spektrometrie, konkrétně pomocí přístroje ContrAA 700 (výrobce Analytik Jena). V 50 ml baňce byl smíchán 1 ml filtrátu s 2,5 ml 2% chloridu lantanitého a baňka byla doplněna destilovanou vodou po rysku. Tento roztok byl proměřen spolu s kalibračním roztokem (známá koncentrace Ca a Mg). Pro analýzu draslíku byl do 50 ml baňky nalit 1 ml filtrátu a doplněn Mehlichem III po rysku. Obsah draslíku byl vyhodnocen porovnáním absorbance vzorku s předem připravenou kalibrační řadou.

### 3.2 Vyhodnocení půdních vzorků

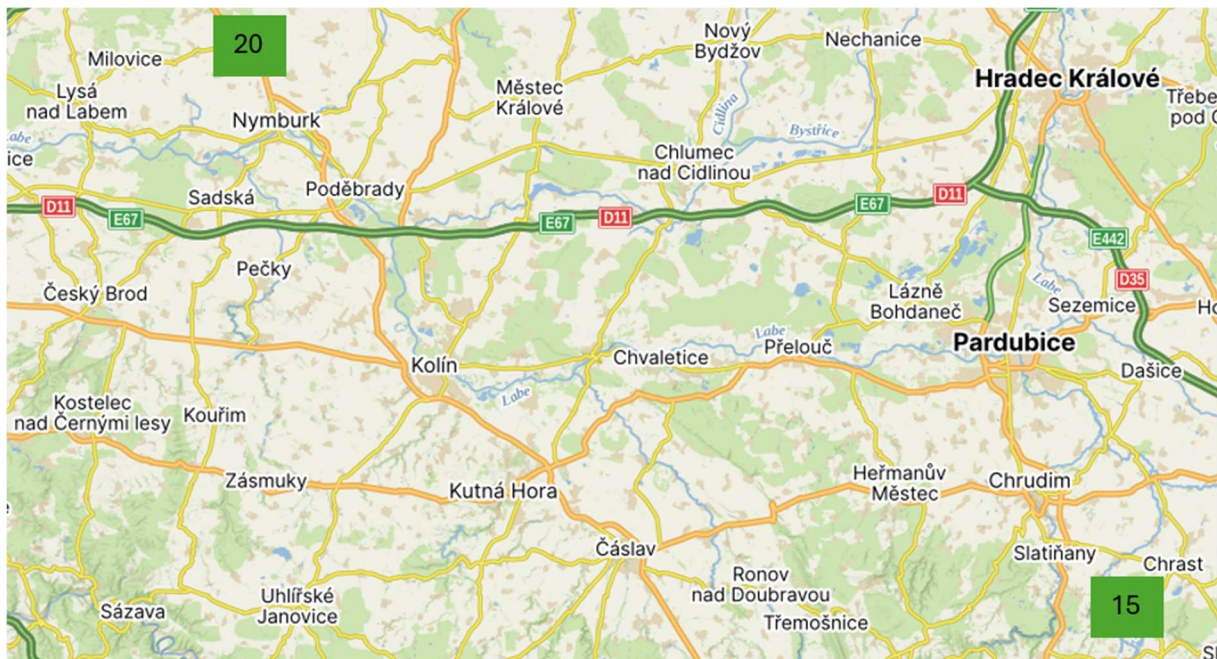
Každá lokalita má své specifické vlastnosti půdy, které mají zásadní dopad na růst a vývoj rostlin. Pro lepší porozumění podmínek, které se nachází v daných oblastech, byly provedeny důkladné půdní rozbory. Bylo změřeno a vyhodnoceno zrnitostní složení půdy, výměnná půdní reakce, obsah organického uhlíku a v neposlední řadě proběhla analýza přístupných živin.

#### 3.2.1 Umístění lokalit

V diplomové práci byl zpracován materiál z pěti lokalit rozmístěných po České republice. Přehledný seznam míst lze nalézt v kapitole 3.2.2 Zrnitostní složení, následně pak v tabulce 3. Vzorky pocházející z lokality 13 byly zasazeny v Boskovicích. Cibule z lokality 25 byly pěstovány v Lipůvce a z lokality 26 byly vysazeny ve Veverských Knínicích. Všechny tři lokality se nachází nedaleko Brna (do 35 km vzdušnou čarou), což je vyznačeno na obrázku 13. Krchleby (lokality 20) se nachází nedaleko Nymburku a zhruba 45 km od Prahy. Poslední hodnocenou lokalitu 15 Horku lze nalézt nedaleko Chrudimi, tedy v blízkosti Pardubic (obrázek 14).



Obrázek 13: Mapa s vyznačenými lokalitami 13, 25 a 26.



Obrázek 14: Mapa s vyznačenými lokalitami 15 a 20.

### 3.2.2 Zrnitostní složení půdy

Pro pěstování cibule je důležitý výběr vhodných půdně klimatických podmínek. Nejlépe se jí daří na lehkých až středně těžkých (písčitohlinitých) půdách. Je vhodné využívat stanoviště s lehčími, propustnějšími půdami, jelikož na těžkých, vlhkých a příliš teplých půdách (20 °C) je vyšší riziko výskytu fusariové hniloby cibule. Těžké nepropustné půdy zároveň obsahují vyšší vlhkost, což podporuje rozvoj bakteriálních hnilob, bílé hniloby a vývoj larev drátovců. Příliš těžké jílovité půdy jsou pro pěstování nevhodné nejen z důvodů nemoci, ale také v nich cibule hůře dozrává.[64][65]

Na základě odebraných půdních vzorků před výsadbou v roce 2021, před výsadbou a po sklizni v roce 2022 a jejich následné analýze podle zrnitostního složení byly vyhodnoceny půdní druhy. Následně ze slovního ohodnocení půdního druhu byla klasifikována půda (tabulka 3). Půdní druh byl stanoven na základě obsahu částic o velikosti <0,01 mm a vyhodnocen pomocí tabulky 1. Pěstování plodin má znatelný vliv na půdní druh v horizontu 5–10 let při velmi silné erozi, proto se velikost zrnitostních frakcí v takto krátkém horizontu (2 roky) významně nemění. V roce 2022 byly vzorky měřeny před výsadbou a po sklizni z důvodu kontroly postupu v rámci laboratoře (snížení možné laboratorní chyby).

Lokalita v Boskovicích a v Krchlebech zcela splňuje podmínky dle půdního druhu pro pěstování cibule. Středně těžká půda, konkrétně hlinitá, se nacházela v Lipůvce a ve Veverských Knínících, což svým zrnitostním složením již může negativně ovlivnit pěstební proces. Pozemek v Horce u Chrudimi dle analýzy obsahuje těžkou půdu, která zadržuje vlhkost, což podporuje náchylnost k plísním a chorobám.

Tabulka 3: Výsledky zrnitostního rozboru pro stanovení půdního druhu a klasifikace půdy s příslušnými lokalitami.

Lokalita	Označení s variantou úpravy	<0,01 [%] 2021 před	<0,01 [%] 2022 před	<0,01 [%] 2022 po	Půdní druh	Klasifikace půdy
Boskovice	13B1	17	19	–	Hlinitopísčítá	Lehká
Horka u Chrudimi	15B2	56	52	53	Jílovitohlinitá	Těžká
Krchleby	20B2	23	25	25	Písčitohlinitá	Středně těžká
Lipůvka	25B1	37	42	43	Hlinitá	Středně těžká
Veverské Knínice	26B1	34	35	36	Hlinitá	Středně těžká

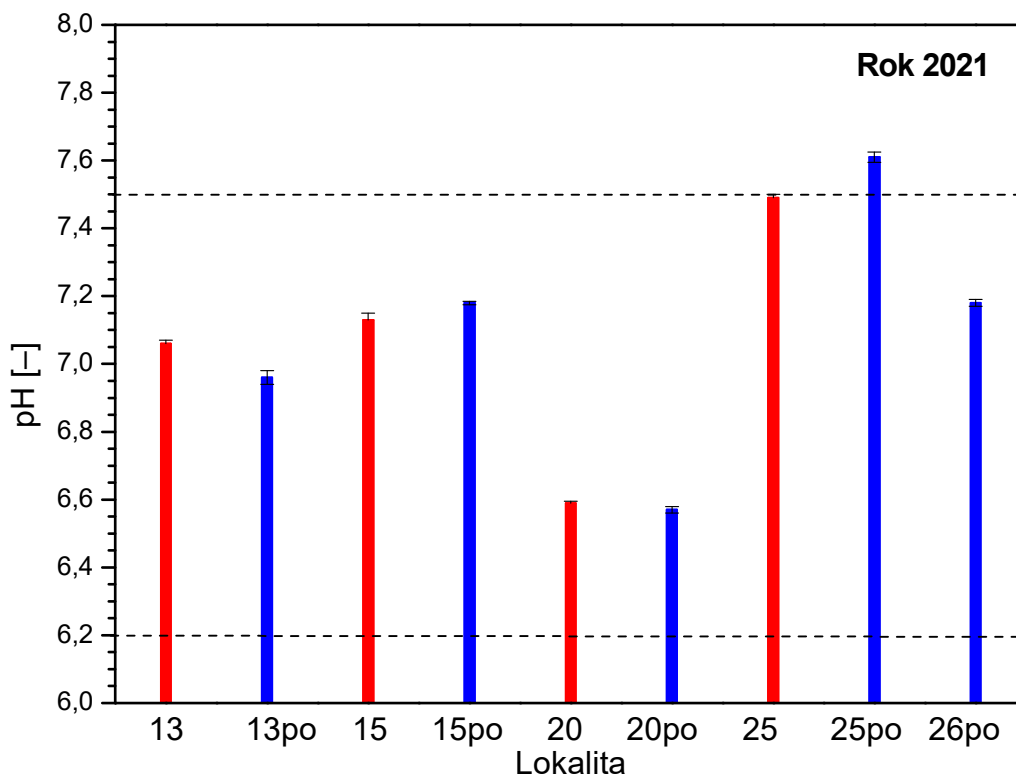
### 3.2.3 Výměnná půdní reakce

Cibule preferuje mírně kyselé až neutrální pH. Půdu je vhodné pravidelně vápnit a udržovat hodnotu pH v rozmezí 6,2–7,5 (v grafech znázorněno přerušovanou čarou), což má význam zejména pro omezení výskytu bílé hniloby cibulovin a pro vhodné vstřebávání živin.[64] Z naměřených hodnot pH pro každou lokalitu byly vypočteny průměrné hodnoty, které byly rozřazeny do kategorií dle tabulky 4. Jak lze vidět na obrázku 15, všechny lokality v roce 2021 napříč roku splňují vhodné pH podmínky pro pěstování cibule. Jedinou výjimkou je Lipůvka (25) po sklizni, která se se svou hodnotou 7,61 mírně odchýlila od vhodných podmínek pro pěstování. U lokality 26 před sadbou nebyla dodána půda, proto zde nejsou uvedeny hodnoty. Naměřená data v roce 2022 (obrázek 16) se pohybují v rozmezí pH 6,59–7,41, což plně vyhovuje pro sadbu.

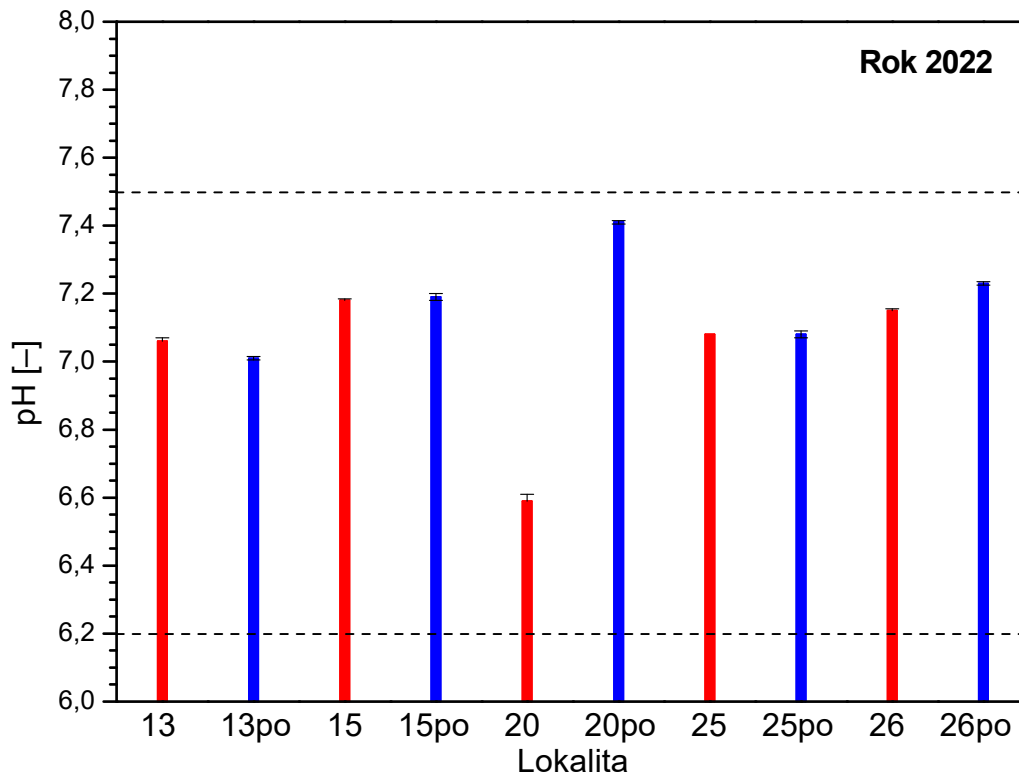
Tabulka 4: Rozdělení půd dle výměnné reakce.[14]

pH (CaCl <sub>2</sub> )	Kategorie pH
nad 7,7	Silně alkalická
7,3–7,7	Alkalická
6,6–7,2	Neutrální
5,6–6,5	Slabě kyselá
5,1–5,5	Kyselá
4,6–5,0	Silně kyselá
pod 4,5	Extrémně kyselá





Obrázek 15: Výměnná půdní reakce v měřených lokalitách v roce 2021 před sadbou a po sklizni (přerušovanou čarou znázorněny ideální hodnoty pH pro pěstbu cibule).



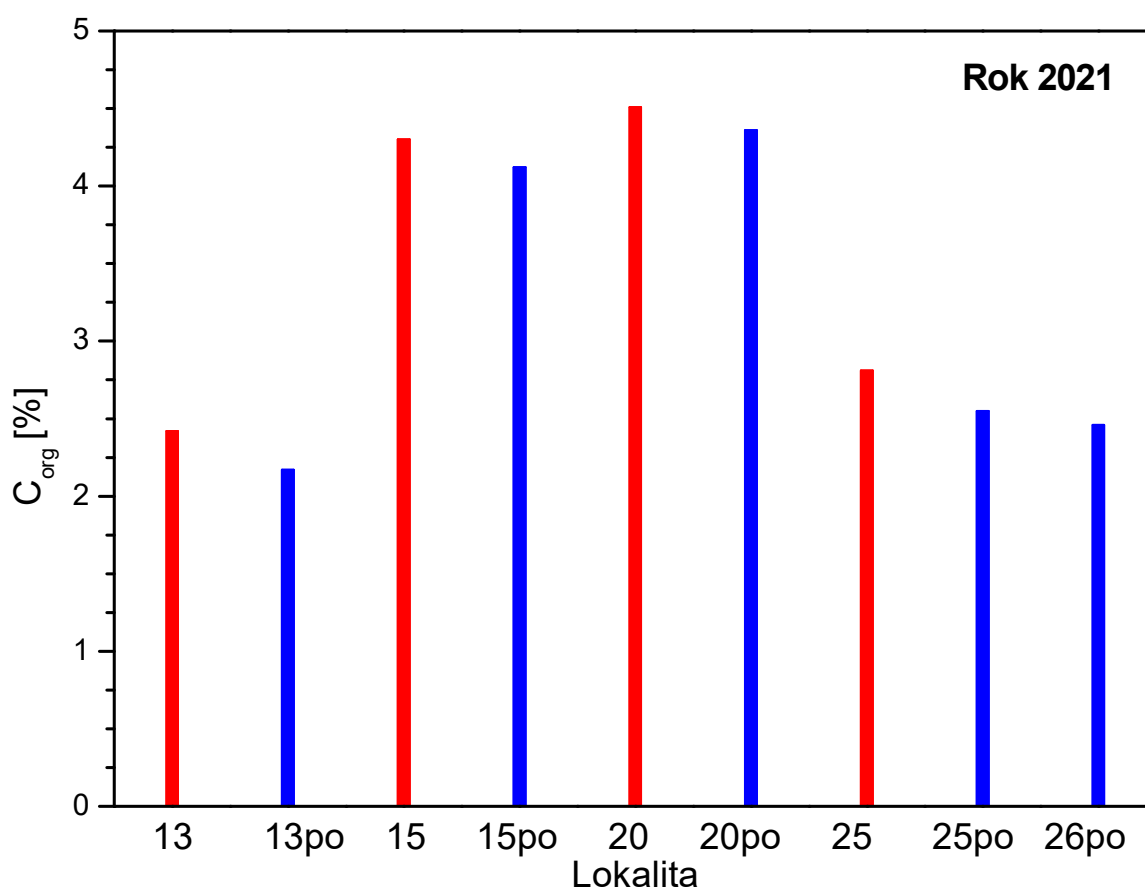
Obrázek 16: Výměnná půdní reakce v měřených lokalitách v roce 2022 před sadbou a po sklizni (přerušovanou čarou znázorněny ideální hodnoty pH pro pěstbu cibule).

### 3.2.4 Organický uhlík

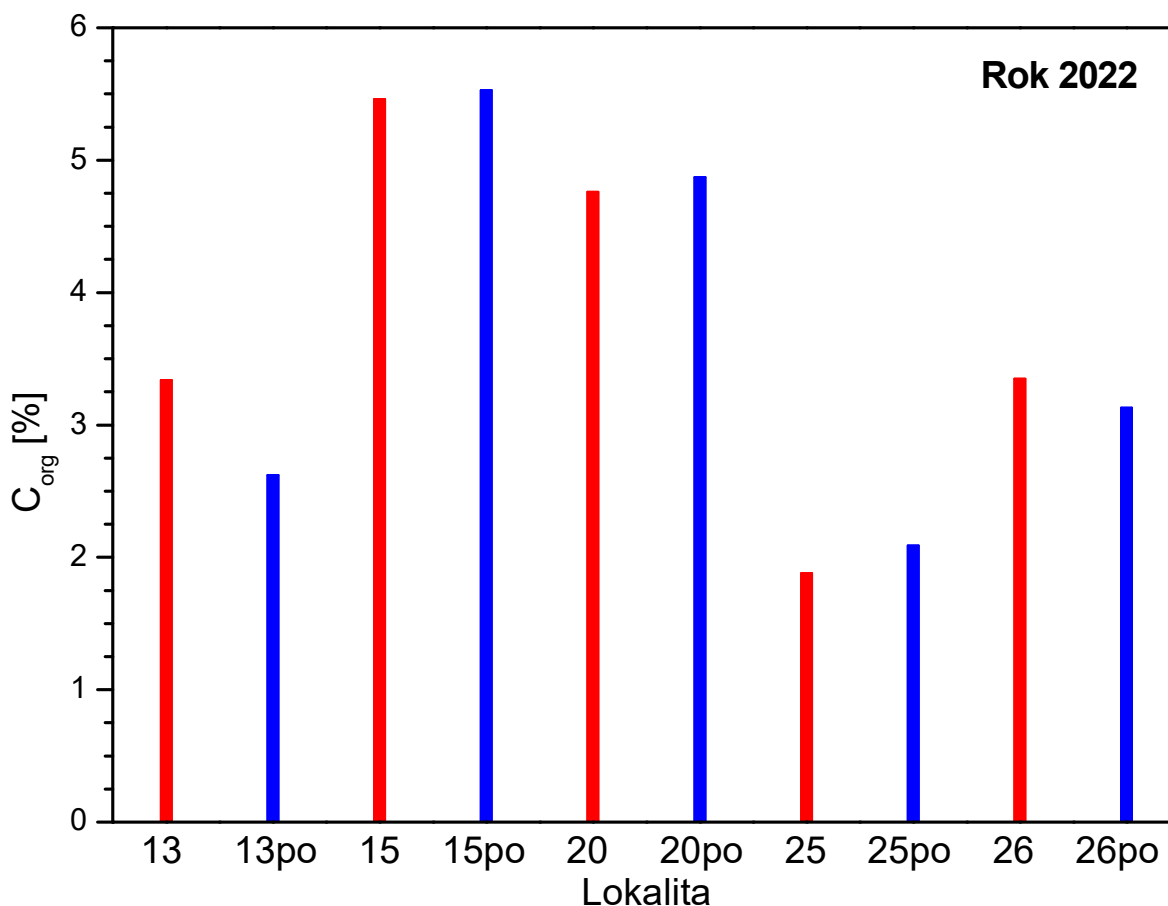
Cibule vyžaduje propustnou půdu bohatou na humus, proto je nutné ji dostatečně organicky hnojit.[64] Obsah organického uhlíku u všech měřených lokalit v letech 2021 a 2022 před sadbou i po sklizni odpovídal silně humózním půdám, pouze s výjimkou Lipůvky (25), která napříč let splňovala středně humózní půdu a Veverských Knínic (26), kde v roce 2021 po sklizni byl naměřen obsah  $C_{org}$  2,46 %, což odpovídá středně humózní půdě (hodnota v roce 2021 před sadbou nebyla naměřena). Vybrané lokality zcela splňovaly obsah humusu pro pěstování cibule, což lze vidět na obrázku 17 a 18.

Tabulka 5: Hodnocení obsahu humusu a organického uhlíku v půdě (upraveno).[16][19]

Půdy	Obsah humusu v půdě [% <sub>hm</sub> ]		Obsah $C_{org}$ v půdě [%]	
	Lehké	Střední a těžké	Lehké	Střední a těžké
<b>Bezhumózní</b>	0	0	0	0
<b>Slabě humózní</b>	Pod 1	Pod 2	Pod 0,58	Pod 1,16
<b>Středně humózní</b>	1–2	2–5	0,58–1,16	1,16–2,9
<b>Silně humózní</b>	Nad 2	Nad 5	Nad 1,16	Nad 2,9



Obrázek 17: Obsah organického uhlíku v měřených lokalitách v roce 2021 před a po sklizni.



Obrázek 18: Obsah organického uhlíku v měřených lokalitách v roce 2022 před a po sklizni.

### 3.2.5 Analýza přístupných živin

Harmonická výživa přispívá ke správnému růstu a vývoji rostlin a ovlivňuje tak přirozenou schopnost odolávat infekčnímu tlaku patogenů. Proto je vhodné pravidelně provádět agrochemický rozbor reprezentativního vzorku půdy na obsah živin.[64] Draslík a fosfor přímo neovlivňují velikost sklizených cibulí, ale podílí se na jejich tvorbě. V půdách vyskytujících se v České republice bývá nedostatek draslíku, což vyvolává podobné defekty, které způsobuje například i přehnojení dusíkem. Cibule jsou následně měkké, s řídkým pletivem a málo kvalitní slupkou.[66] Naměřené hodnoty přístupných živin (P, K, Ca, Mg) obsažené v půdních vzorcích byly rozděleny do kategorií dle ÚKZÚZ (tabulka 6 a 7) a hodnoceny slovně.

Tabulka 6: Hodnocení obsahu hořčíku a fosforu.[67]

Obsah	Obsah Mg [mg/kg]			Obsah P [mg/kg]
	Lehká	Střední	Těžká	
Nízký	Do 80	Do 105	Do 120	Do 50
Vyhovující	81–135	106–160	121–220	51–80
Dobrý	136–200	161–265	221–330	81–115
Vysoký	201–285	266–330	331–460	116–185
Velmi vysoký	Nad 285	Nad 330	Nad 460	Nad 185

Tabulka 7: Hodnocení obsahu draslíku a vápníku.[67]

Obsah	Obsah K [mg/kg]			Obsah Ca [mg/kg]		
	Lehká	Střední	Těžká	Lehká	Střední	Těžká
<b>Nízký</b>	Do 100	Do 105	Do 170	Do 1000	Do 1000	Do 1700
<b>Vyhovující</b>	101–160	106–170	171–260	1001–1800	1001–2000	1701–3000
<b>Dobrý</b>	161–275	171–310	261–350	1801–2800	2001–3300	3001–4200
<b>Vysoký</b>	276–380	311–420	351–510	2801–3700	3301–5400	4201–6600
<b>Velmi vysoký</b>	Nad 380	Nad 420	Nad 510	Nad 3700	Nad 5400	Nad 6600

V roce 2021 před výsadbou i po sklizni všechny lokality obsahovaly velmi vysoký nebo vysoký obsah živin pro pěstování, což lze vidět v tabulce 8 a 9. Výjimkou byly pouze Boskovice (13) po sklizni, které splňovaly dle slovního ohodnocení obsah draslíku jako dobrý. Půda z Veverských Knínic (26) byla hodnocena pouze po sklizni, jelikož před sadbou nebyla odebrána.

Tabulka 8: Obsah přístupných živin v měřených lokalitách v roce 2021 před sadbou.

Lokalita	Obsah 2021 před [mg/kg]			
	P	K	Ca	Mg
<b>13</b>	420	343	3986	226
<b>15</b>	412	458	12002	641
<b>20</b>	794	663	7893	403
<b>25</b>	532	1780	11400	897

Tabulka 9: Obsah přístupných živin v měřených lokalitách v roce 2021 po sklizni.

Lokalita	Obsah 2021 po [mg/kg]			
	P	K	Ca	Mg
<b>13</b>	398	261	4217	237
<b>15</b>	400	425	11012	560
<b>20</b>	705	682	7593	400
<b>25</b>	499	1929	11206	867
<b>26</b>	464	538	7388	507

Data z roku 2022 před sadbou (tabulka 10) většinou splňovala živiny pro ohodnocení velmi vysoké nebo vysoké. Pouze v Boskovicích byl draslík zařazen jako dobrý a v Horce u Chrudimi (15) splňoval vápník ohodnocení dobrý a hořčík vyhovující. V tabulce 11 lze nalézt hodnoty z roku 2022 po sklizni, kde všechny lokality kromě Lipůvky (25) mají velmi vysoký nebo vysoký obsah živin. Významný pokles z velmi vysokého obsahu před sadbou nastal u fosforu na nízký, vápníku a hořčíku na vyhovující a draslíku na dobrý.

Tabulka 10: Obsah přístupných živin v měřených lokalitách v roce 2022 před sadbou.

Lokalita	Obsah 2022 před [mg/kg]			
	P	K	Ca	Mg
13	324	210	8174	440
15	466	554	3730	208
20	1056	725	7392	484
25	526	1517	10002	696
26	721	551	7625	609

Tabulka 11: Obsah přístupných živin v měřených lokalitách v roce 2022 po sklizni.

Lokalita	Obsah 2022 po [mg/kg]			
	P	K	Ca	Mg
13	466	982	7199	439
15	287	366	8055	376
20	531	1669	10282	717
25	39	223	1257	124
26	730	557	7925	596

### 3.3 Ošetření cibulek

V roce 2021 byly vysazeny cibule odrůdy Sturon, které byly dodavatelem ošetřeny pomocí prostředků Topsin M Ultra a Rudis. Jelikož cibulky nebyly stejnoměrné, rozdělily se na variantu A (4,7 g) a variantu B (2,5g). V roce 2022 a 2023 byly zakoupeny neošetřené Sturon cibulky, které v roce 2022 se svou hmotností pohybovaly okolo 2,5 g a v roce 2023 průměrně vážily 1,2 g. Po všechny tři roky byla dodavatelem Nizozemská firma Plant naktuinbouw. Před výsadbou proběhly čtyři způsoby ošetření, které jsou vypsány v tabulce 12. Poslední varianta nebyla nijak upravena, jednalo se o kontrolní vzorek. Každá varianta úpravy se vysazovala ve čtyřech opakováních po deseti cibulích, proto jedna sada vzorků jedné úpravy a z jedné lokality obsahovala 40 cibulí.

Tabulka 12: Kombinace ošetření cibulek s označením B.

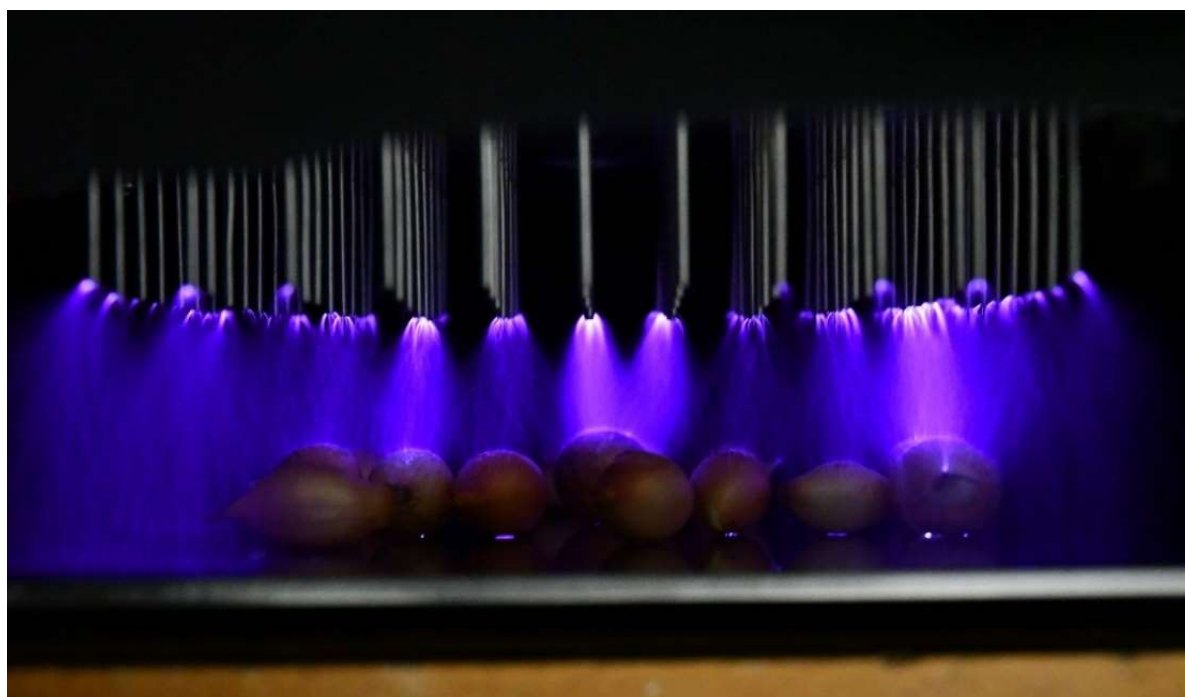
Varianta	Způsob úpravy
1	Reference
2	Korona 2x 10 sekund
3	Korona 2x 40 sekund
4	Destilovaná voda 24 hodin
5	PAW 24 hodin

#### 3.3.1 Ošetření pomocí korónového výboje

Na úpravu cibulek byl využit multihrotový systém, který lze vidět na obrázku 19. Sestava byla tvořena bipolárním pulzním zdrojem napětí komerčním označením DH 1010 a výrobcem Kamea, několika hrotovými nerezovými elektrodami nabitými kladně a plošnou nerezovou elektrodou, jež byla uzemněna. Hodnoty proudu bylo možné ovlivňovat mezielektrodovou

vzdáleností, avšak v zájmu zachování stejných podmínek pro experiment, byla tato vzdálenost stanovena a ponechána na 5 cm (nejmenší vzdálenost, kdy výboj nepřecházel do jiskry).

V prvním kroku byly přesně nastaveny parametry korónového výboje (napětí na primárním zdroji 200 V, frekvence 500 Hz a střída 0,0054). Po nastavení přístroje byly cibulky umístěny na plošnou elektrodu a proběhlo spuštění korónového výboje. Ošetření pomocí plazmatu proběhlo ve dvou opakováních, nejdřív z jedné strany a poté z druhé strany, po dobu 10 nebo 40 sekund (varianta ošetření 2 a 3, jak lze přehledně vidět v tabulce 12). Proces byl pečlivě sledován, aby nedošlo k žádnému nepředvídatelnému poškození cibulek. Postup byl opakován pro získání dostatečného množství cibulek, které byly následně zasazeny v příslušných lokalitách.



*Obrázek 19: Úprava cibulek pomocí korónového výboje.*

### **3.3.2 Ošetření pomocí PAW**

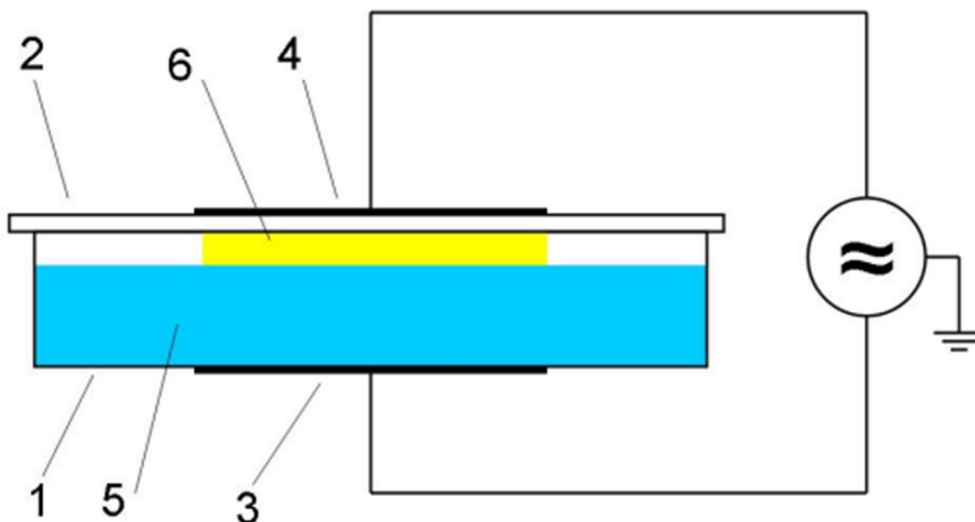
Pro přípravu plazmatem aktivované vody byl použit systém s dielektrickým bariérovým výbojem (DBD). Systém, jež je zobrazen na obrázku 20, se skládal ze spodní části Petriho misky s grafitovou vnější elektrodou vyrobenou pomocí grafitového laku. Druhá elektroda, umístěná na vrchní části Petriho misky, byla vyrobena z keramické desky z oxidu hlinitého s horní stříbrnou elektrodou PVD (physical vapour deposition, nanášení odpařením z pevné fáze) o stejných rozměrech jako grafitová elektroda. Obě elektrody byly připojeny k napájecímu zdroji, který byl symetricky konstruovaný, proto žádná elektroda nebyla uzemněná. Zdroj pracoval při frekvenci 11 kHz a amplituda napětí byla nastavena na 16 kV. Celková dodaná energie z elektrické sítě byla  $(36 \pm 2)$  W.

Pomocí odměrného válce bylo nalito 75 ml destilované vody do Petriho misky upevněné ke zdroji DBD. Výboj byl aplikován v 15 sekundových intervalech v osmi opakováních. Díky tomuto množství vody vznikla 3,2 mm vzduchová mezera mezi vodou a vrchní elektrodou, což lze vidět na obrázku 21. Mezi jednotlivými ošetřeními byl systém otevřen, aby proběhlo

odvětrání vzniklých plynů a přivedení čerstvého vzduchu. Postup byl několikrát opakován pro získání dostatečného množství plazmatem aktivované vody. Vzhledem k omezenému objemu plazmového reaktoru byla připravená PAW homogenizována smícháním všech dávek dohromady. Následně byla PET lahev naplněna cibulkami až po hrdlo, dolita plazmatem aktivovanou vodou a zavíčkována. Toto ošetření proběhlo po dobu 24 hodin. Druhý den byly cibulky vyjmuty a ihned zasazeny v příslušných lokalitách.



Obrázek 20: Laboratorní sestava pro přípravu PAW: 1 – nastavení času, 2 – zdroj, 3 – Petriho misky s elektrodami.



Obrázek 21: Schéma výroby PAW: 1 – Petriho miska, 2 – plát z oxidu hlinitého, 3 – grafitová elektroda, 4 – stříbrná elektroda, 5 – PAW, 6 – plazmová zóna.[44]

### 3.3.3 Ošetření pomocí destilované vody

Ošetření proběhlo obdobně, jako u výše zmíněné plazmatem aktivované vody. PET lahev byla naplněna cibulkami, dolita předem připravenou destilovanou vodou, uzavřena a ponechána 24 hodin odstát. Následně byly cibulky vyjmuty a zasazeny v příslušných lokalitách.

## 3.4 Příprava a analýza cibule

Sklizené, předem zvážené, číselně a písemně označené cibule byly dopraveny do laboratoře a následně převedeny na kapalný vzorek. Měření připraveného vzorku proběhlo pomocí dvou analytických metod. První kvalitativní metodou byla použita plynová chromatografie v kombinaci s hmotnostní spektroskopií (GC–MS). Druhou kvantitativní metodou byla hmotnostní spektroskopie s protonovou ionizací a analyzátozem doby letu (PTR–TOF–MS). Podrobnější zpracování níže zmíněných postupů lze nalézt v mé bakalářské práci.[63]

Předem zvážená cibule byla očištěna a rozkrojena vertikálně ve středu. Do tabulky se zaznamenal počet slupek. Ze středu byl získán plátek o tloušťce cca 4 mm, který byl vložen do kapsy z netkané textilie a zataven. Pytlík byl vložen do polyethylenového sáčku, který byl uzavřen tak, aby v něm bylo co nejméně vzduchu. Takto připravený plátek cibule byl podrcen pomocí válečku. Následně byla kapalina vymačkána do PET sáčku, ze kterého byl odpipetován 1 ml vzorku mikropipetou do zkumavky a ta byla hned uzavřena parafilmem.

### 3.4.1 Kvalitativní analýza

Pro kvalitativní analýzu těkavých látek v cibuli, byla použita plynová chromatografie v kombinaci s hmotnostní spektroskopií (GC–MS Pegasus IVD (Leco)). Před začátkem měření byla zkontrolována správná kalibrace přístroje. Parafilm na zkumavce se vzorkem byl propíchnut kovovou jehlou obsahující křemenné vlákno o průměru 65  $\mu\text{m}$ , na kterém byl nanesen sorbent polydimethylsiloxanu a divinylbenzenu (PDMS/DVB). Barevné komerční označení SPME vlákna s těmito parametry je modré. Adsorpce plynného vzorku probíhala 15 minut. Následně bylo jehlou propíchnuto septum injektoru plynového chromatografu, kde došlo k tepelné desorpci analytů do nosného plynu. Vzorek byl separován v kapilární koloně s označením Rxi–5Sil MS a detekován hmotnostním spektrometrem. Chromatogramy byly zpracovány v programu chromaTOF (Leco), který vykreslil příslušné píky k jednotlivým těkavým složkám vzorku. Ty byly následně porovnány s knihovnou spekter NIST 2.2.

### 3.4.2 Kvantitativní analýza

Pro kvantitativní analýzu těkavých látek v cibuli, byla použita analytická metoda hmotnostní spektroskopie s protonovou ionizací a analyzátozem doby letu (Hmotnostní spektrometr Ionicon PTR–TOF–MS). V první řadě byla pomocí počítače zkontrolována správná kalibrace přístroje a byl spuštěn záznam hmotnostního spektrometru. Ze začátku bylo 30 sekund měřeno pozadí bez vzorku, následně se nasávaly plynné vonné látky ze zkumavky s kapalným vzorkem a po 90 sekundách byla zkumavka odebrána. V posledním kroku proběhla relaxace spektrometru po dobu 60 sekund. Následně bylo zaznamenávání spektra ukončeno a naměřená data byla uložena do předem vytvořené složky v počítači. Každá sada obsahovala maximálně 20 připravených vzorků ve zkumavce. Všechna naměřená hmotnostní spektra byla zpracována pomocí programu PTR–MS Viewer 3, kde bylo nutné data zkalibrovat a vyexportovat koncentrace pro všechny hmotnosti do textového souboru, se kterým se dále pracovalo.



## 4 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 4.1 Výnosy cibule

Vypěstované cibule byly po sklizni zváženy a hodnoty byly zapsány do tabulky. Průměrné hmotnosti byly získány vždy maximálně z pěti cibulí pro danou variantu ošetření a z konkrétní lokality v letech 2021, 2022 a 2023, což lze přehledně vidět v tabulce 13, 15 a 17. Byly vypočítány procentuální odchylky průměrných hmotností ošetřených cibulí oproti referenčním cibulím, tedy variantě 1, jež před sadbou nebyla dodatečně ošetřena. Tyto hodnoty napříč lety lze nalézt v tabulce 14, 16 a 18.

V roce 2021 byly vypěstovány největší cibule napříč ošetřením na lokalitě 26. Jejich průměrná hmotnost výrazně převyšuje ostatní lokality. U cibulí ošetřených plazmatem aktivovanou vodou (varianta 5) z lokality 13 lze upozorovat nejvyšší odchylku výnosu. Měly 34% nárůst výnosu oproti neošetřeným cibulím. Naproti tomu u lokality 26, právě ošetření pomocí PAW mělo nejhorší výnos. Cibule ošetřené plazmatem aktivovanou vodou měly 31% nižší výnos, než byla reference.

Tabulka 13: Průměrné hmotnostní výnosy cibulí v roce 2021.

Lokalita 2021	Varianta ošetření cibulek				
	Reference	Korona 10 s	Korona 40 s	Destilovaná	PAW
	Průměrná hmotnost [g]				
13B1	40	37	40	41	53
15B2	48	36	59	62	46
20B2	85	96	104	102	105
25B1	95	95	92	95	104
26B1	220	190	167	205	151

Tabulka 14: Procentuální odchylky výnosů oproti referenčním cibulím (varianta 1) v roce 2021.

Lokalita 2021	Varianta ošetření cibulek				
	Reference	Korona 10 s	Korona 40 s	Destilovaná	PAW
	Odchylka oproti referenci [%]				
13B1	0	-6	1	2	34
15B2	0	-24	24	30	-4
20B2	0	13	22	20	24
25B1	0	-1	-3	0	9
26B1	0	-14	-24	-7	-31

V níže přiložené tabulce 15 jsou uvedeny průměrné hmotnosti cibule sklizených v roce 2022. Svou velikostí opět dominovaly cibule vypěstované na lokalitě 26. Největší pozitivní odchylka výnosu byla vypočtena u vzorků z lokality 15 získaných ze sadby, jež byla ošetřena 2x korónovým výbojem po dobu 10 sekund (varianta 2), ale také u cibulí získaných z lokality 25. Ty byly upraveny pomocí plazmatem aktivované vody (varianta 5). Výnos činil o 17 % vyšší nárůst oproti neošetřeným cibulím. U sadby ošetřené destilovanou vodou a sklizené na lokalitě 13 se vyskytl nižší výnos (o 15 %), než byl získán z referenčních cibulí.

Tabulka 15: Průměrné hmotnostní výnosy cibulí v roce 2022.

Lokalita 2022	Varianta ošetření cibulek				
	Reference	Korona 10 s	Korona 40 s	Destilovaná	PAW
	Průměrná hmotnost [g]				
13	86	84	75	73	82
15	58	67	63	63	62
20	52	55	54	53	54
25	67	74	72	71	78
26	142	130	127	133	151

Tabulka 16: Procentuální odchylky výnosů oproti referenčním cibulím (varianta 1) v roce 2022.

Lokalita 2022	Varianta ošetření cibulek				
	Reference	Korona 10 s	Korona 40 s	Destilovaná	PAW
	Odchylka oproti referenci [%]				
13	0	-2	-12	-15	-5
15	0	17	10	9	8
20	0	6	4	0	4
25	0	11	8	6	17
26	0	-8	-11	-6	7

Z tabulky 17 je patrné, že nejmenší cibule v roce 2023 byly sklizeny na lokalitě 15 a opět u lokality 26 byly naměřeny největší cibule napříč ošetřením. Výraznou anomálií v hodnotách je 41% větší výnos cibulí ošetřených destilovanou vodou (varianta 4) a vypěstovaných na lokalitě 25 oproti referenci. Nejhorší výnos lze nalézt u sadby ošetřené pomocí korónového výboje po dobu 10 sekund (varianta 2). Z tabulky 18 je patrné, že na lokalitě 15 byl pozorován u této varianty ošetření 29% nižší výnos.

Tabulka 17: Průměrné hmotnostní výnosy cibulí v roce 2023.

Lokalita 2023	Varianta ošetření cibulek				
	Reference	Korona 10 s	Korona 40 s	Destilovaná	PAW
	Průměrná hmotnost [g]				
13	59	54	64	65	62
15	16	11	21	17	17
20	32	35	31	34	34
25	37	37	39	53	45
26	155	119	139	122	115

Tabulka 18: Procentuální odchylky výnosů oproti referenčním cibulím (varianta 1) v roce 2023.

Lokalita 2023	Varianta ošetření cibulek				
	Reference	Korona 10 s	Korona 40 s	Destilovaná	PAW
	Odchylka oproti referenci [%]				
13	0	-9	8	9	5
15	0	-29	31	7	10
20	0	9	-5	4	6
25	0	-1	3	41	20
26	0	-23	-10	-21	-26

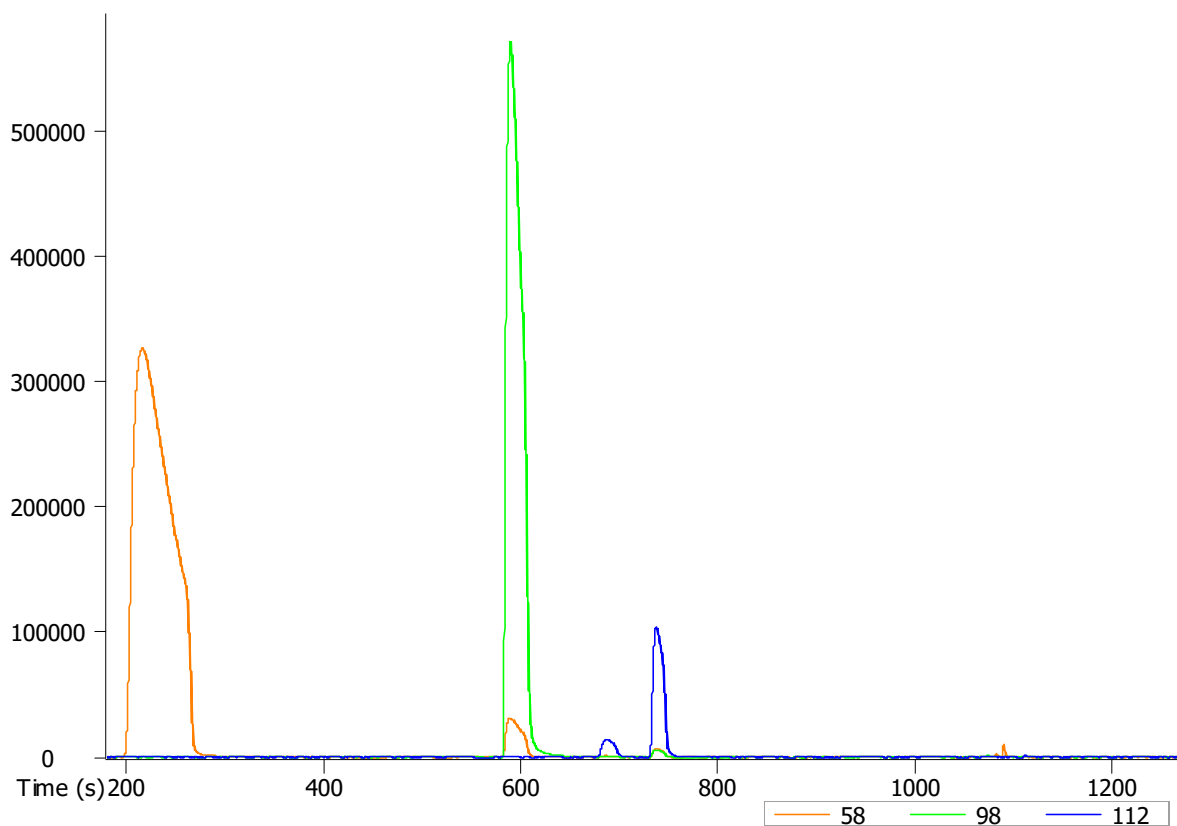
Shrnutí procentuálních odchylek výnosů oproti referenčním cibulím lze vidět v tabulce 19. Negativní vliv ošetření sadby lze výrazně vidět u cibulí, které byly ošetřeny 2x korónovým výbojem po dobu 10 sekund, tedy druhá varianta úpravy. Nejvyšší výnosy opakovaně ze všech probíraných lokalit v této práci za tři roky byly získány ze sadeb ošetřených destilovanou vodou (varianta 4) a také z cibulí ošetřených plazmatem aktivovanou vodou (varianta 5). U vzorků ošetřených pátou variantou v součtu v jednotlivých letech se neprojevil nižší výnos oproti referenčním cibulím (záporná hodnota).

Tabulka 19: Procentuální odchylky výnosů oproti referenčním cibulím (varianta 1) napříč lety (průměrné hodnoty).

Rok	Varianta ošetření cibulek				
	Reference	Korona 10 s	Korona 40 s	Destilovaná	PAW
	Odchylka oproti referenci [%]				
2021	0	-11	7	15	11
2022	0	8	0	-2	10
2023	0	-18	9	13	5
<b>Celkem</b>	0	-21	16	26	26

## 4.2 Kvalitativní analýza látek pomocí GC–MS

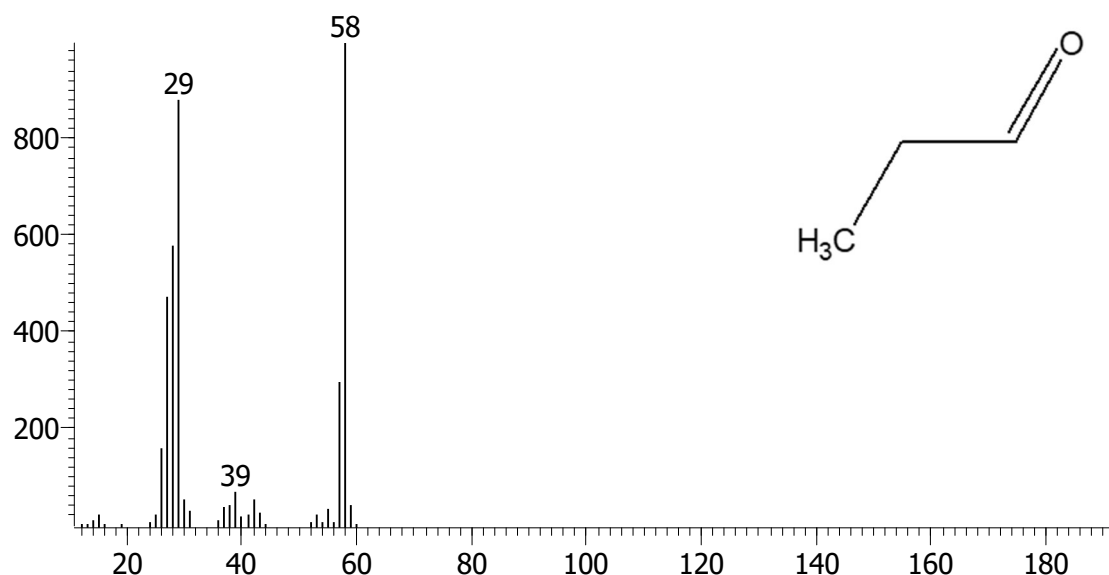
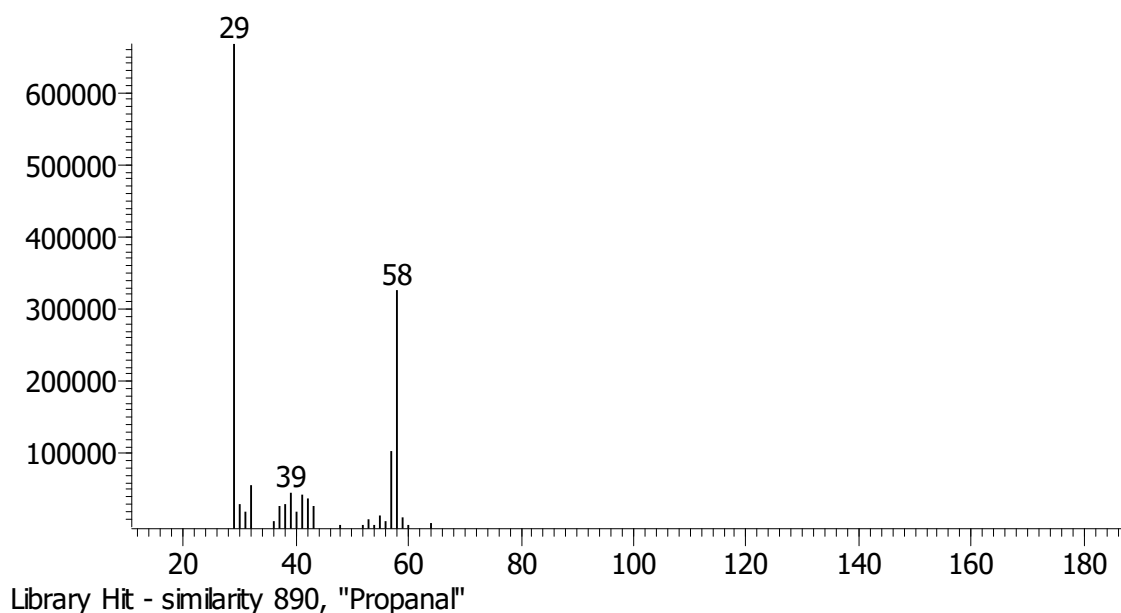
Stanovení vonných látek bylo provedeno pomocí mikroextrakce pevnou fází (SPME) a následnou analýzou pomocí plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC–MS). Chromatogramy byly zpracovány v programu chromaTOF (Leco), který vykreslil příslušné píky k jednotlivým těkavým složkám vzorku. Ty byly identifikovány na základě jejich retenčních časů a shody detekovaných spekter (vybraných píků) se spektry v knihovně NIST 2.2.[69] Z nich byly vybrány tři sloučeniny v šesti vzorcích cibulek. Podobnost spekter (shoda) s knihovnou byla vždy vyšší než 80 %. Na obrázku 22 lze vidět chromatogram s vykreslenými píky identifikovaných látek v příslušných retenčních časech. První označený pík (žlutý) odpovídá propanalu s molární hmotností 58. Zelený pík při 600 sekundách přísluší 2–methyl–pentenal (Mr. 98) a poslední modrý pík značí 2,4–dimethyl–thiophen.



Obrázek 22: Chromatogram s píky příslušných analyzovaných látek (barevná legenda obsahuje Mr).

Shoda naměřených spekter s knihovnou spekter byla vždy s několika různými látkami s určitou podobností. Jednotlivé látky byly identifikovány na základě procházení spekter z knihovny s naměřenými spektry, což lze vidět níže na hmotnostních spektrech pro jednotlivé sloučeniny. Vyhodnocení proběhlo i v souladu s mou bakalářskou prací, kde identifikace proběhla na jednom vzorku porovnáním s knihovnou a s pomocí řešerše článků zabývajících se vonnými látkami v cibuli.[63] Na obrázku 23 lze vidět naměřené píky látky s molární hmotností 58 a pod ním se nachází hmotnostní spektrum z knihovny spekter pro propanal. Píky s molární hmotností 29 a 39 jsou fragmenty látky.

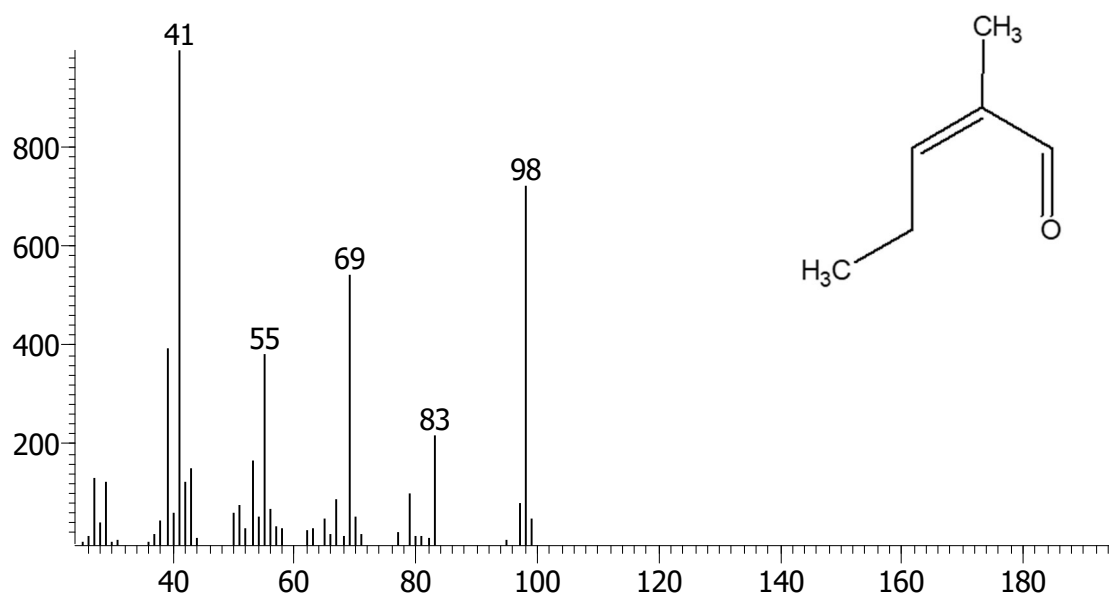
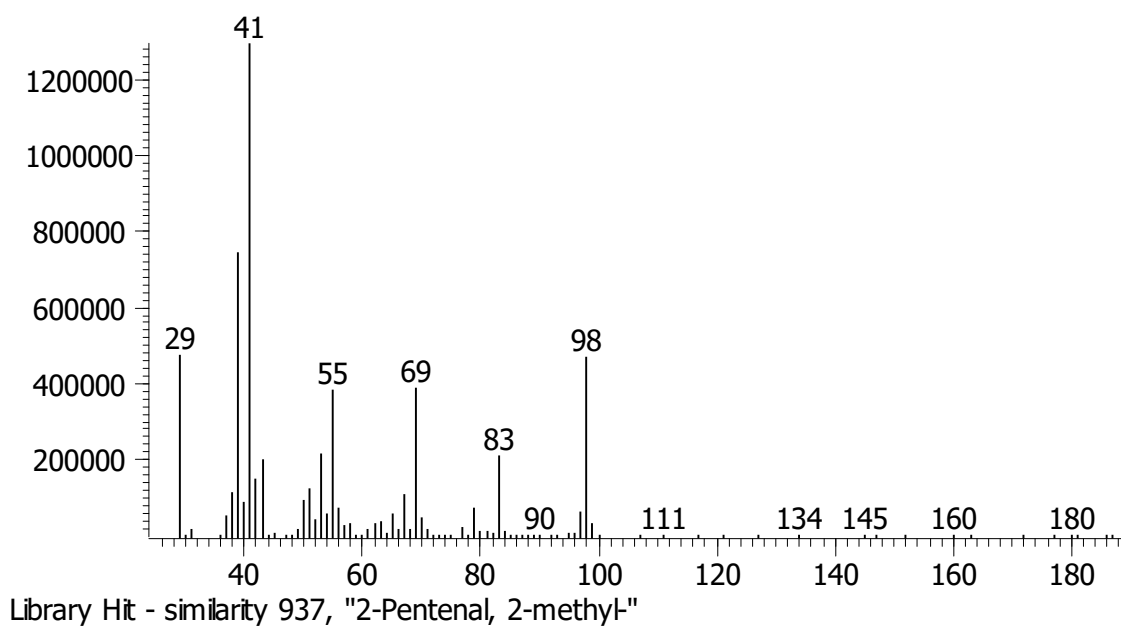
Peak True - sample "2024\_01\_30\_vz2:1", peak 2, at Spec # 560



Obrázek 23: Naměřené hmotnostní spektrum (nahore) a spektrum z NIST (dole) pro propanal.

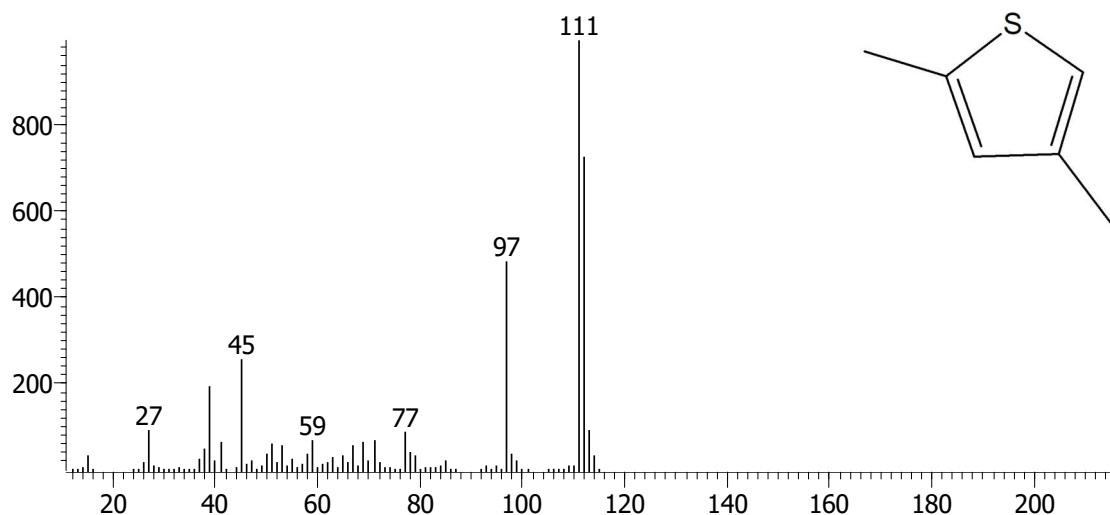
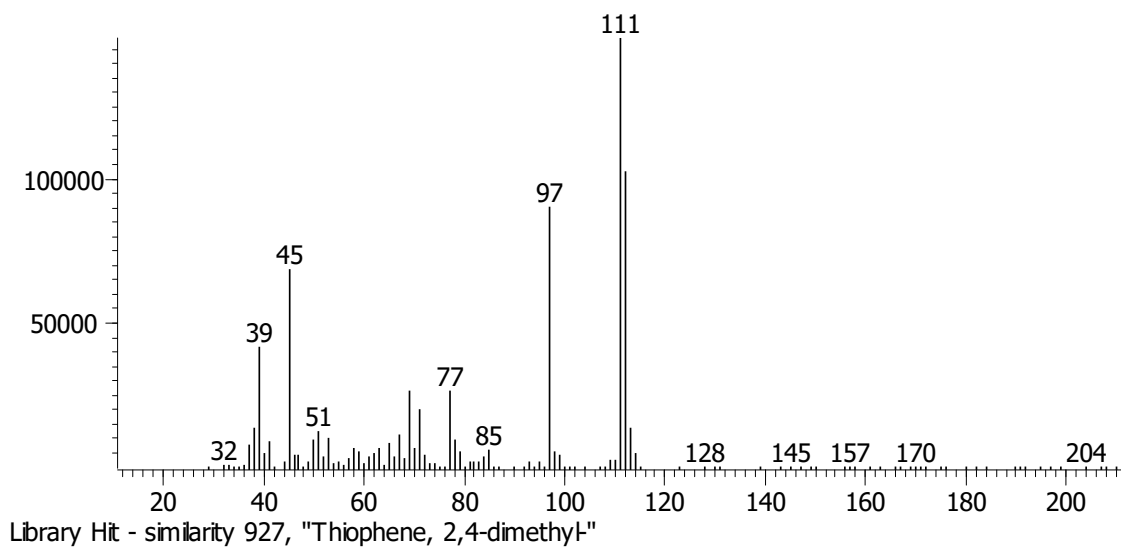
Na obrázku 24 lze vidět spektrum 2-methyl-2-pentalu. Píky s molární hmotností menší než 98 jsou fragmenty organické látky a výskyt hodnot s molární hmotností 111 a víc je výskyt šumu. Chromatogram identifikované látky 2,4-dimethyl-thiofen (molární hmotnost 112) lze nalézt na obrázku 25. Pomocí porovnání spekter se může jednat i o látku 3,4-dimethyl-thiophen či 2,5-dimethyl-thiophen. Rozhodnutí, o jaký izomer se jedná, bylo provedeno na základě odborných článků.[70][71] Laboratorně by bylo možné zjistit konkrétní izomer například po proměření standardu dané látky a porovnání.

Peak True - sample "2024\_01\_30\_vz2:1", peak 15, at Spec # 6147



Obrázek 24: Naměřené hmotnostní spektrum (nahore) a spektrum z NIST (dole) pro 2-methyl-2-pental.

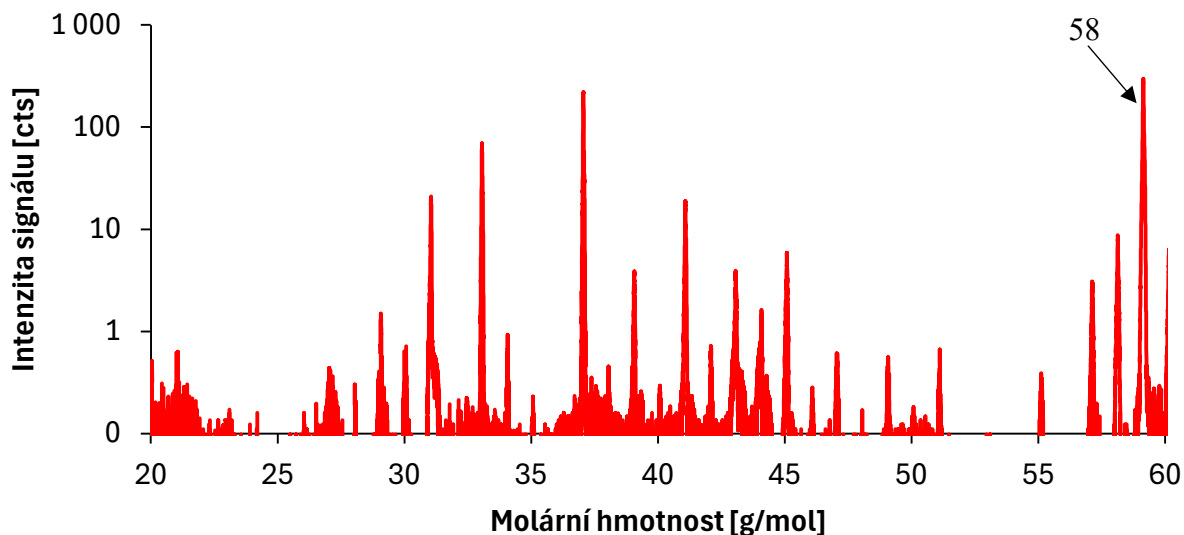
Peak True - sample "2024\_01\_30\_vz2:1", peak 21, at Spec # 8376



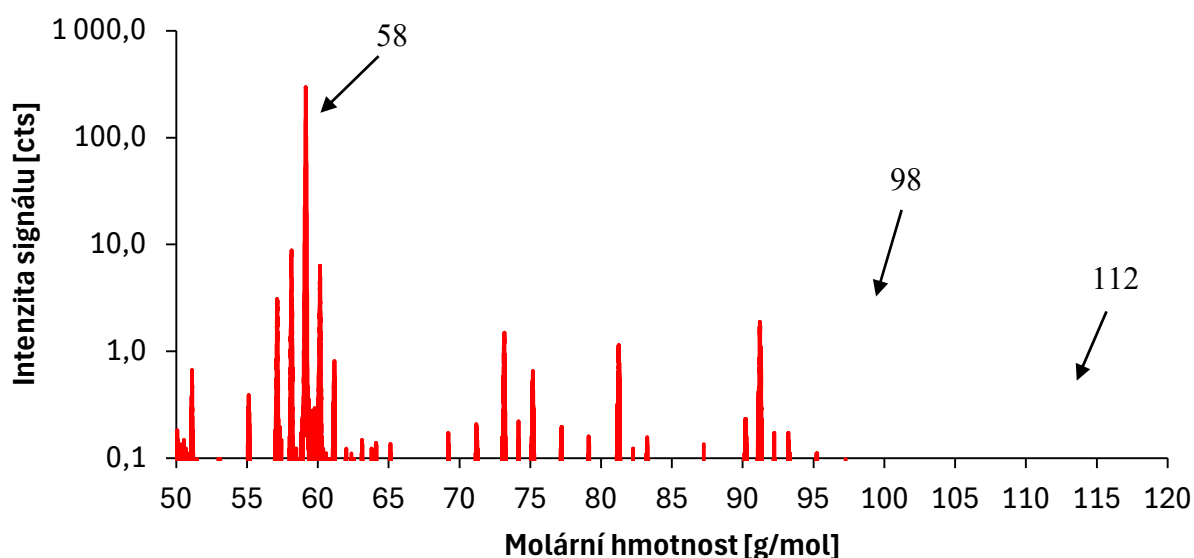
Obrázek 25: Naměřené hmotnostní spektrum (nahore) a spektrum z NIST (dole) pro 2,4-dimethylthiophen.

### 4.3 Kvantitativní analýza látek pomocí PTR-TOF-MS

Na obrázku 26 a 27 lze vidět hmotnostní spektrum (závislost intenzity signálu z hmotnostního spektrometru na protonované hodnoty molární hmotnosti látek obsažených ve vzorku). Hodnoty jsou již po odečtu pozadí pro vzorek cibule, která před sadbou byla ošetřena čtvrtou variantou úpravy, z lokality 15 v roce 2023. Píky identifikovaných látek pomocí plynové chromatografie jsou označeny v grafech příslušnou molární hmotností.



Obrázek 26: Hmotnostní spektrum pro hmotnost 20–60, rok 2023 lokalita 15, varianta 4.



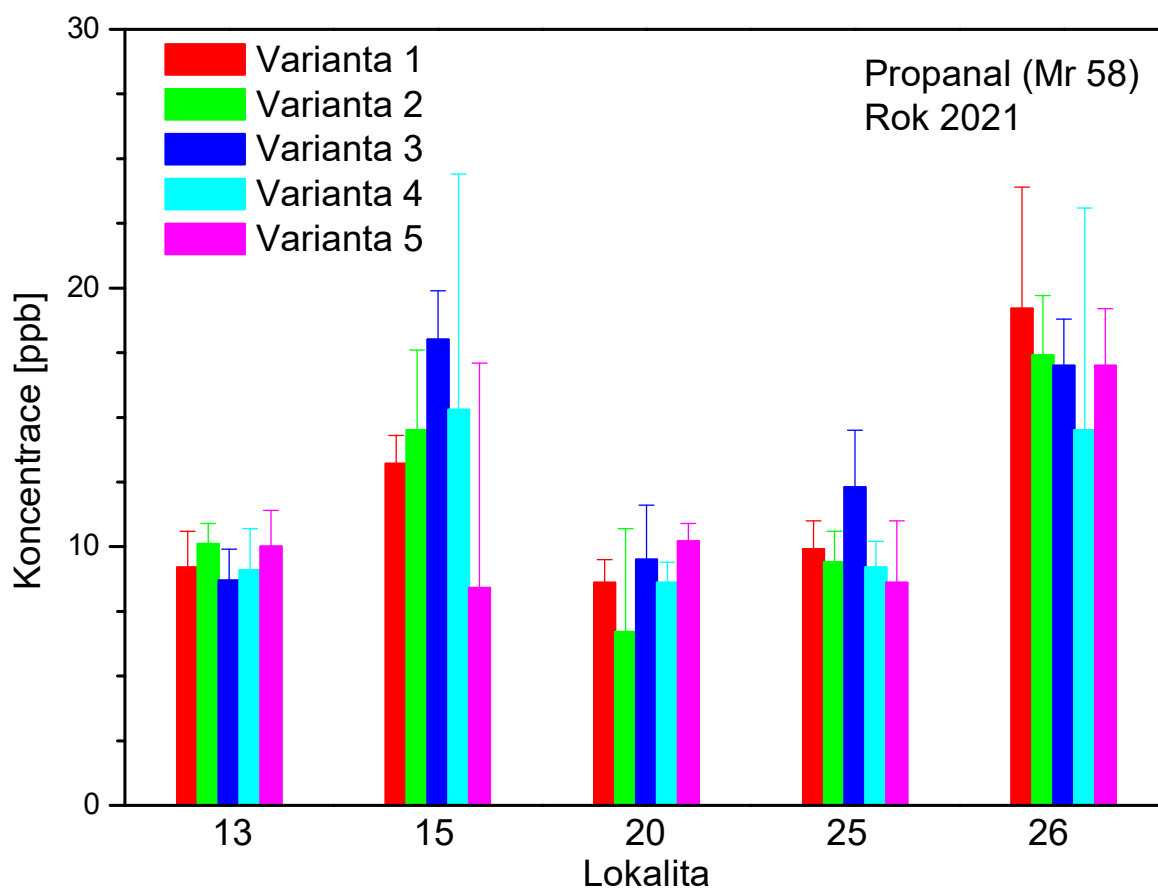
Obrázek 27: Hmotnostní spektrum pro hmotnost 50–120, rok 2023 lokalita 15, varianta 4.

Na základě dat získaných hmotnostní spektrometrií byly sestaveny grafy (obrázek 28 až 36), které zobrazují průměrnou koncentraci vzorku každé varianty úpravy. Průměrné koncentrace byly vypočteny většinou ze 4 vzorků, jelikož některé cibule byly nahnilé či úplně zkažené. V kapitole 3.3 Ošetření cibulek v tabulce 12 jsou detailněji rozepsané jednotlivé úpravy cibulek před její sadbou. Tyto varianty úprav jsou barevně odlišeny dle legendy v levém horním rohu. Každý graf znázorňuje průměrnou koncentraci vonné látky o příslušné molární hmotnosti, jež je uvedena v pravém horním rohu i s rokem sadby. Číselně označené lokality na ose x odpovídají místům, kde probíhalo pěstování (tabulka 3).



## Propanal v roce 2021

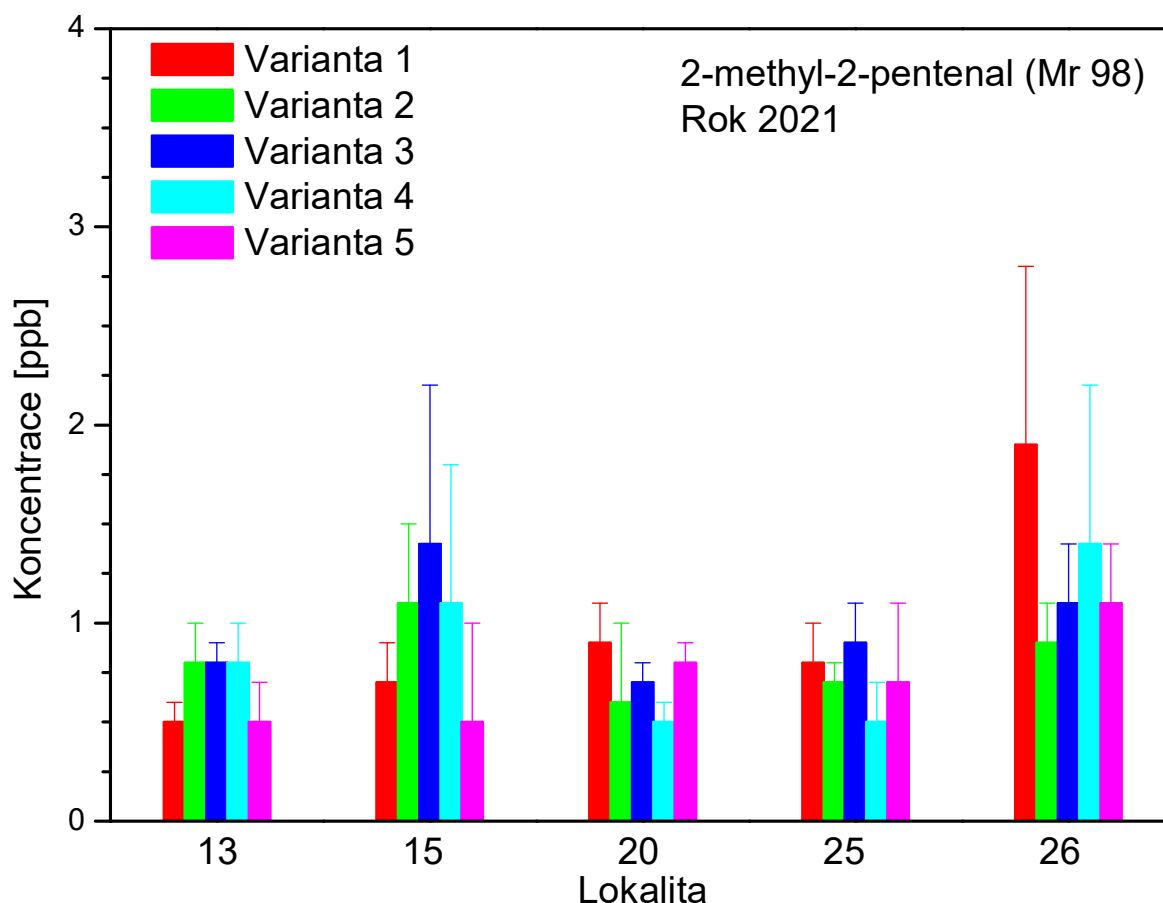
Na níže uvedeném grafu (obrázek 28) je možné vidět průměrné koncentrace látky propanalu ve vzorcích seskupené dle jednotlivých lokalit. Nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorcích z lokality 13 odpovídá variantě 2. Nejnižší koncentrace náleží cibulkám ošetřených 2x korónovým výbojem po dobu 10 sekund (varianta 3). Naopak u lokality 15 a 25 právě sadba ošetřená třetí variantou měla nejvyšší koncentraci propanalu. Nejnižší koncentrace byla naměřena u vzorků pocházející z úpravy varianty 5, neboli u cibulí ošetřených plazmatem aktivovanou vodou. Jak lze vidět níže na obrázku, u lokality 20 byla naměřena nejnižší hodnota u vzorků získaných z ošetření 2x korónovým výbojem po dobu 10 sekund a nejvyšší naopak u pátého ošetření. Referenční cibulky (varianta 1) z lokality 26 měly nejvyšší koncentraci a vzorky pocházející z ošetření pomocí destilované vody (varianta 4) měly nejnižší koncentraci.



Obrázek 28: Průměrné koncentrace propanalu ve vzorcích z roku 2021.

## 2-methyl-2-pentenal v roce 2021

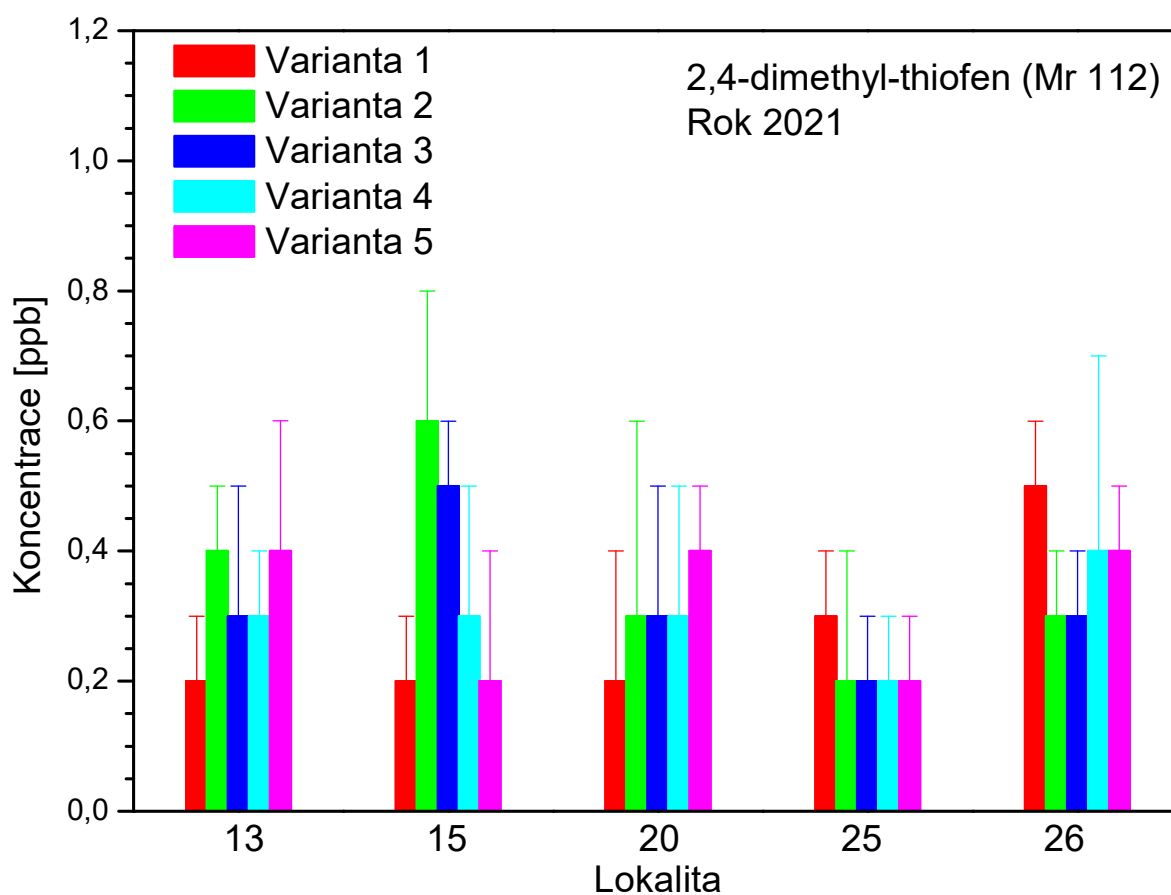
Organická látka o molární hmotnosti 98 byla identifikována jako 2-methyl-2-pentenal. Na obrázku 29 lze vidět její průměrné koncentrační zastoupení v cibulích vypěstovaných na různých lokalitách. Cibule vypěstované na lokalitě 13 ošetřeny druhou, třetí a čtvrtou variantou obsahovaly nejvyšší koncentraci, tudíž cibule ošetřeny první a pátou variantou měly nejnižší koncentraci. Nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorcích z lokality 20 odpovídá variantě 3, kdy cibulky před vysazením byly ošetřeny 2x korónovým výbojem po dobu 40 sekund. Nejnižší koncentrace náleží páté variantě, tedy ošetření plazmatem aktivovanou vodou. Referenční cibule (varianta 1) měly nejvyšší koncentraci aromatické látky z celé lokality 20 a nejnižší koncentrace byla naměřena u ošetření pomocí destilované vody (varianta 4), stejně jako u lokality 25. U této lokality vzorky získané ze třetí úpravy obsahovaly nejnižší data. Nejvyšší koncentraci analyzované organické sloučeniny obsahovaly cibulky, které nebyly dodatečně nijak ošetřeny. Nejnižší koncentrace náleží typu úpravy varianty 2, čili ošetření 2x pomocí korónového výboje po dobu 10 sekund.



Obrázek 29: Průměrné koncentrace 2-methyl-2-pentenal ve vzorcích z roku 2021.

## 2,4-dimethyl-thiofen v roce 2021

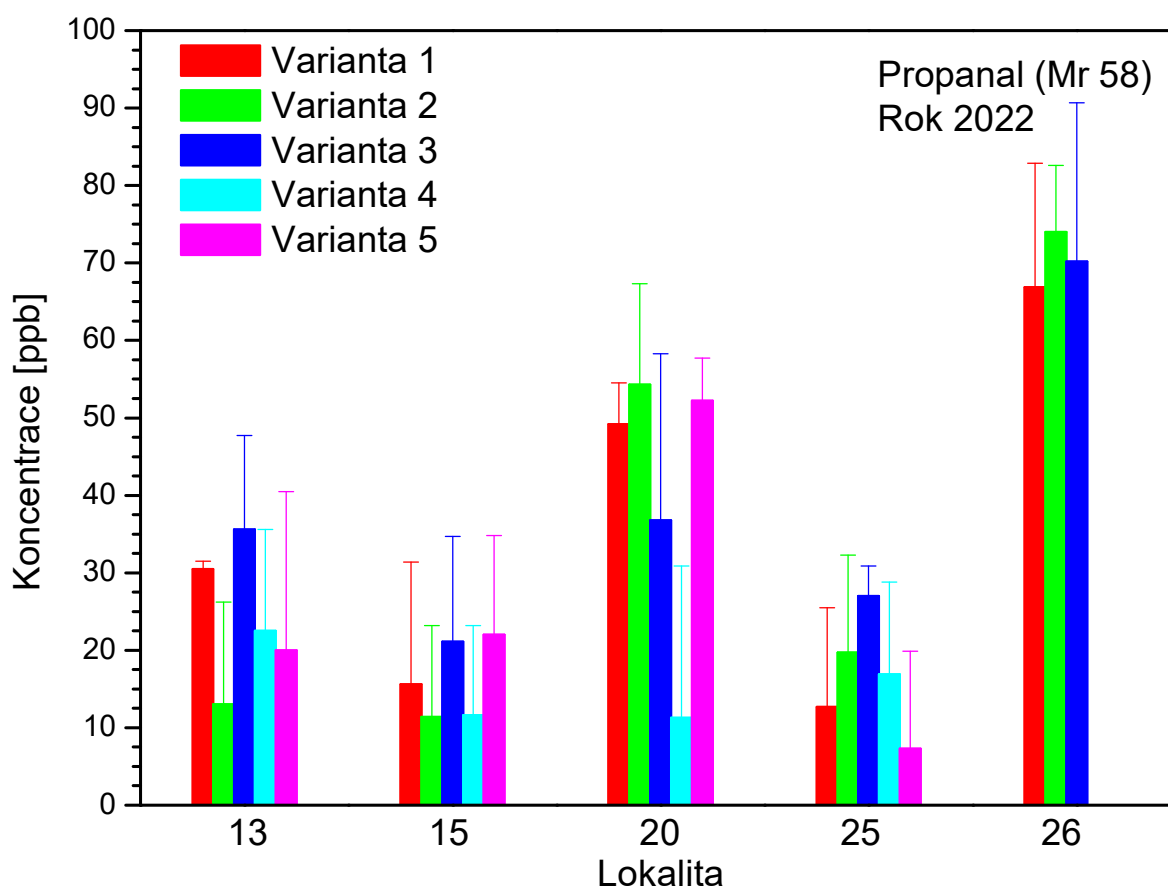
Poslední vonnou látkou, u níž byla zkoumána její koncentrace ve vypěstovaných cibulích, je organická sloučenina s molární hmotností 112, která byla identifikována jako 2,4-dimethyl-thiofen. Nejvyšší koncentrace této těkavé látky ve vzorcích z lokality 13 odpovídá variantě 1, kdy sadba nebyla nijak ošetřena, jednalo se o referenční vzorky. Nejnižší koncentrace náleží typu úpravy varianty 2 a 5. U lokality 15 byla úspěšná druhá varianta ošetření, čili vzorky získané z vypěstovaných cibulí, jež byly ošetřeny 2x po dobu 10 sekund korónovým výbojem. Nejnižší koncentrace byla změřena u vzorků pocházející z úprav variant 1 a 5. Nejvyšší koncentrace zkoumané vonné sloučeniny ve vzorcích z lokality 20, 25 odpovídá referenčním cibulím (varianta 1). Nejnižší koncentrace u lokality 20 příslušelo cibulím, jež byly před sadbou na 24 hodin naloženy do PAW. U lokality 25 lze vidět nejnižší koncentraci 2-methyl-2-pentenalu u zbylých čtyř variant úprav (2, 3, 4, 5). Druhá a třetí varianta úprav u lokality 26 odpovídala nejnižší koncentraci.



Obrázek 30: Průměrné koncentrace 2,4-dimethyl-thiofen ve vzorcích z roku 2021.

## Propanal v roce 2022

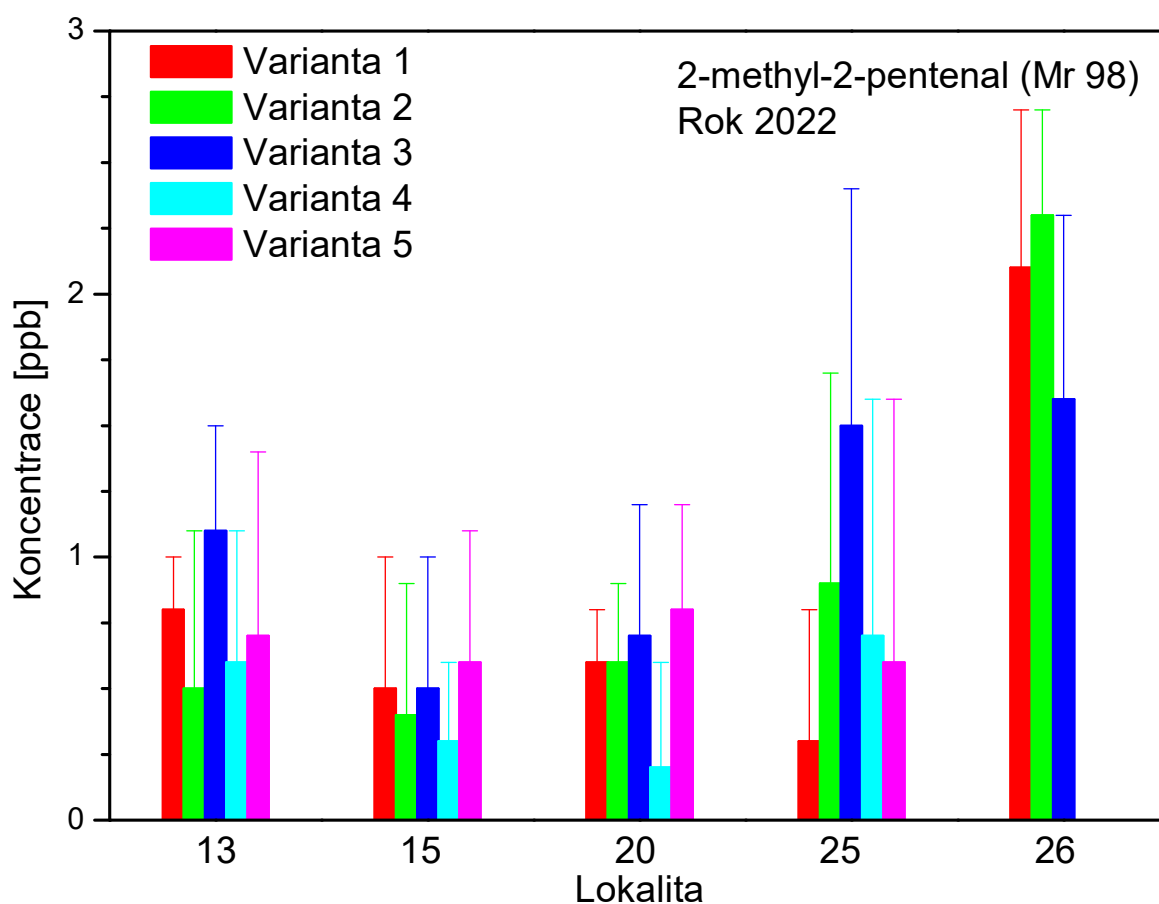
Na obrázku 31 lze vidět, že cibule z lokality 26 mají výrazně vyšší koncentrace propanalu pro první tři varianty ošetření oproti ostatním lokalitám z roku 2022. Nejvyšší koncentrace vonné látky u lokality 26 byla naměřena u druhé varianty a nejnižší koncentrace odpovídá variantě 1, tedy referenčním cibulkám, které nebyly nijak upraveny. Cibule ošetřené plazmatem aktivovanou vodou a destilovanou vodou pro tuto lokalitu nebyly dodané. Nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorcích z lokality 13 odpovídá variantě tři, kdy cibulky před vysazením byly ošetřeny 2x po dobu 40 sekund korónovým výbojem. Nejnižší koncentrace náleží druhé variantě. Naopak u lokality 20 lze vidět pozitivní náznak u druhé varianty ošetření. Nejnižší koncentrace byla naměřena u vzorků pocházející z úpravy varianty 4, čili vzorky získané z vypěstovaných cibulí, jež byly po dobu 24 hodin naloženy do destilované vody. Nejnižší koncentrace vonných látek z úpravy 4 bylo naměřeno i u lokality 15, kde byla skoro stejná hodnota koncentrace naměřena i u varianty 2. U této lokality byla změřena nejvyšší koncentrace zkoumané látky v páté variantě. Naopak u lokality 25, pátá varianta vyšla s nejnižší koncentrací propanalu. Vonné látky z cibulek ošetřených třetí variantou obsahovaly nejvyšší koncentraci pro danou lokalitu.



Obrázek 31: Průměrné koncentrace propanalu ve vzorcích z roku 2022.

## 2-methyl-2-pentenal v roce 2022

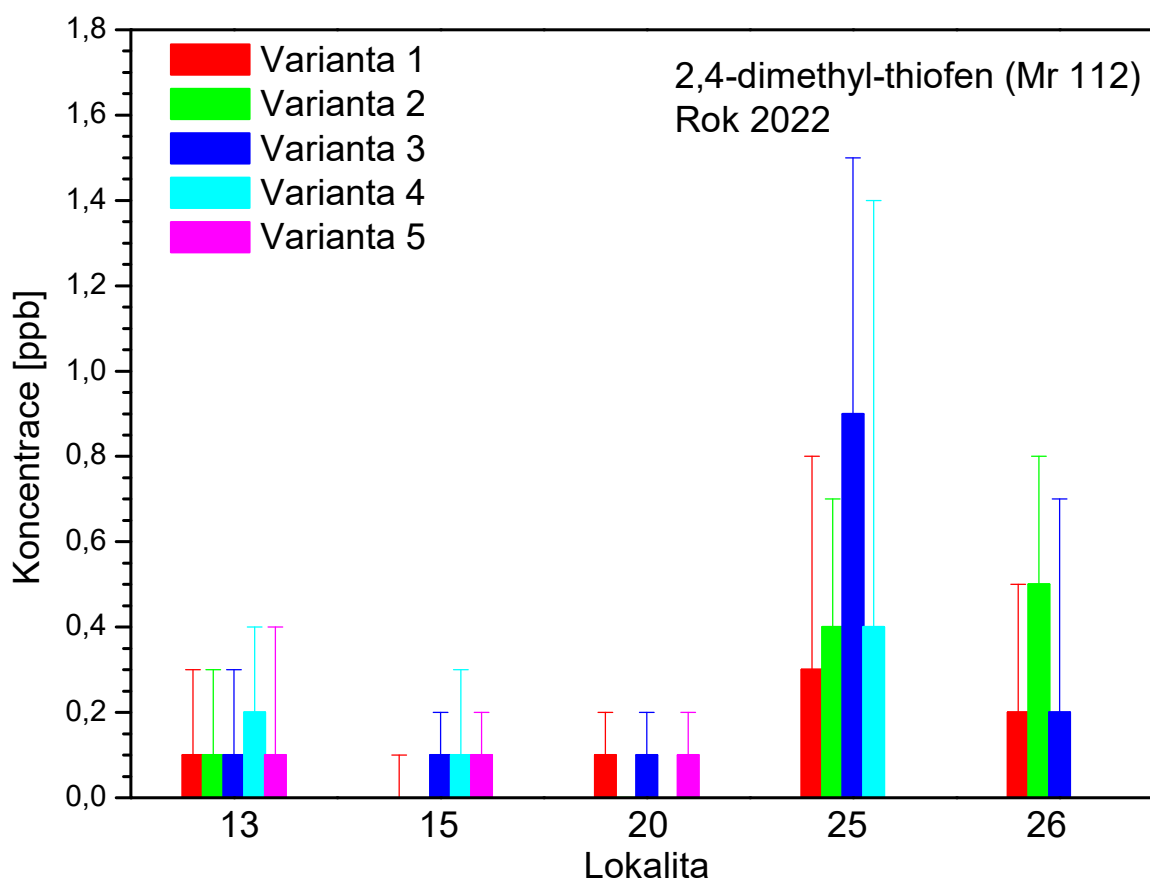
Nejvyšší koncentrace 2-methyl-2-pentenalu ve vzorcích odpovídá variantě 2 u lokality 26, což lze vidět na obrázku 32. Jedná se i o nejvyšší koncentraci napříč lokalit pro rok 2022. Sadba upravena destilovanou vodou a PAW pro lokalitu 26 nebyla dodána. Nejnižší koncentrace u tohoto místa náleží typu úpravy varianty 3, kdy sadba byla vystavena 2x po dobu 40 sekund korónovému výboji. Přesně naopak je tomu u lokality 13. Nejvyšší koncentrace byla změřena u třetí varianty a nejnižší obsah sloučeniny náleží druhé variantě, kdy proběhlo pouze deseti sekundové ošetření korónovým výbojem ve dvou opakování. Nejvyšší koncentrace analyzované vonné látky ve vzorcích z lokality 15 přísluší cibulkám, jež byly upraveny variantou 5, kdy cibulky byly namočený v PAW po dobu 24 hodin. Nejnižší koncentrace odpovídá variantě 4, tedy cibulkám naloženým po dobu 24 hodin v destilované vodě. Stejně tomu je i u následující lokality 20. U lokality 25 byla výrazně úspěšná třetí varianta. Nejnižší koncentrace 2-methyl-2-pentenalu byla naměřena u vzorků pocházející z první varianty úpravy čili se jednalo o referenci.



Obrázek 32: Průměrné koncentrace 2-methyl-2-pentenalu ve vzorcích z roku 2022.

### 2,4-dimethyl-thiofen v roce 2022

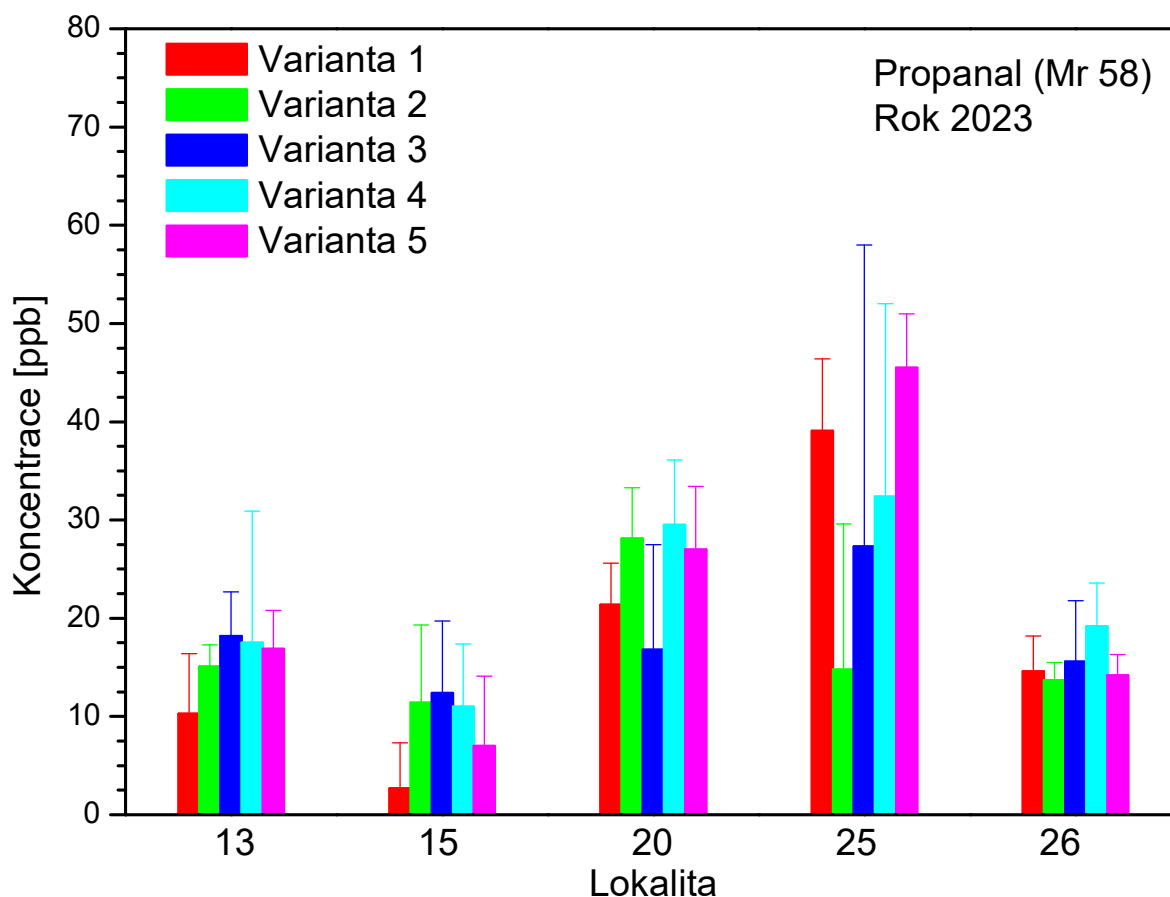
Z obrázku 33 je patrné, že u lokalit 13, 15 a 20 nedochází k velkým koncentračním změnám. Viditelně nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorcích pochází z lokality 25 třetí úpravy, kdy cibulky před vysazením byly ošetřeny pomocí korónového výboje po dobu 40 sekund. Data ze sadby upravené plazmatem aktivovanou vodou byly pod mezí detekce. Nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorku z lokality 13 odpovídá variantě 4, čili vypěstovaným cibulím, jež byly před sadbou naloženy do destilované vody po dobu 24 hodin. Nejnižší koncentrace odpovídá zbylým čtyřem úpravám. Nejvyšší koncentrace 2,4-dimethyl-thiofenu u lokality 15 byla u úprav 3, 4 a 5 stejná a nejnižší koncentrace byla naměřena u varianty 1 a 2 (koncentrace byly mimo mez detekce). Jak lze vidět na obrázku 33, naměřená průměrná koncentrační data pro cibulky z lokality 20 upraveny první, třetí a pátou variantou jsou identická. Hodnoty z druhého a čtvrtého ošetření byly příliš nízká. U lokality 26 byla úspěšná druhá varianta ošetření, čili vzorky získané z vypěstovaných cibulí, jež byly 2x po dobu 10 sekund vystaveny korónovému výboji. Naopak oproti lokalitě 25 byla naměřena nejnižší koncentrace u vzorku pocházejícího z úpravy 3 a 1 (reference). Opět u lokality 26 chybí hodnoty pro čtvrtou a pátou variantu úpravy.



Obrázek 33: Průměrné koncentrace 2,4-dimethyl-thiofen ve vzorcích z roku 2022.

### Propanal v roce 2023

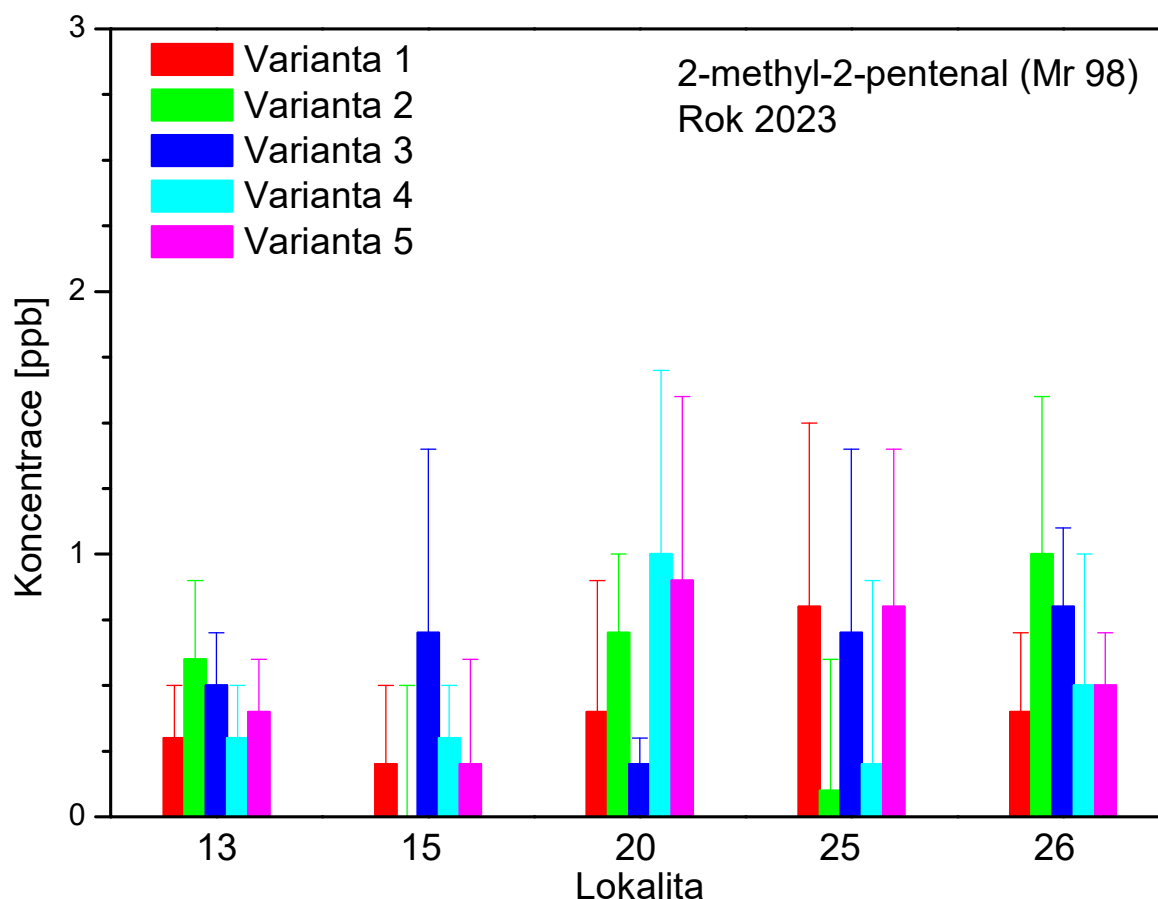
Graf odpovídající koncentračnímu zastoupení propanalu ve vzorcích znázorňuje obrázek 34. Lze na něm vidět, že nejvyšší koncentrace této těkavé látky ve vzorcích z lokality 13 odpovídá variantě 3, kdy cibulky před vysazením byly ošetřeny pomocí korónového výboje po dobu 40 sekund. Nejnižší koncentrace náleží typu úpravy varianty 1, přesněji se jednalo o referenční cibule, které nebyly dodatečně ošetřeny. Následující lokalita 15 odpovídá koncentračními výsledky lokality 13. Nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorcích z lokality 20 přísluší cibulkám, jež byly naložené po dobu 24 hodin v destilované vodě (varianta 4) a nejnižší koncentrace naopak odpovídá variantě 3. U lokality 25 byla úspěšná pátá varianta ošetření, čili vzorky získané z vypěstovaných cibulí, jež byly ošetřeny plazmatem aktivovanou vodou (PAW). Nejnižší koncentrace byla neměřena u vzorků pocházející z úpravy varianty 2, tedy cibulkám ošetřeným korónovým výbojem po dobu deseti sekund. U cibulí z lokality 26, jež byly ošetřeny destilovanou vodou, lze vidět mírně vyšší koncentraci propanalu než u ostatních ošetření. Stejně jako u lokality 25 tak i u lokality 26 byla naměřena nejnižší průměrná koncentrace vonných látek u sadby ošetřené druhou variantou.



Obrázek 34: Průměrné koncentrace propanalu ve vzorcích z roku 2023.

## 2-methyl-2-pentenal v roce 2023

Na níže uvedeném grafu (obrázek 35) jsou vyneseny průměrné hodnoty koncentrace vonné látky o molární hmotnosti 98. Cibule z lokality 13 a úpravy 2 mají nejvyšší průměrnou koncentraci 2-methyl-2-pentenal. Nejnižší koncentrace přísluší variantě 1 (referenční neošetřená cibule) a úpravě 4, tedy cibulkám naložené po dobu 24 hodin v destilované vodě. U vzorků z cibulí z lokality 15 lze vidět, že nejvyšší koncentrace byla změřena u cibulí upravených korónovým výbojem po dobu 40 sekund (úprava 3). Oproti lokalitě 13, byla data z druhé varianty nejnižší (již mimo mez detekci). Nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorcích z lokality 20 odpovídá variantě 4. Naopak nejnižší koncentrace byla změřena u varianty 3. U lokality 25 lze viditelně sponzorovat výrazně nízkou koncentraci 2-methyl-2-pentenal u druhého ošetření, čili u vzorků získaných z vypěstovaných cibulí, jež byly 2x po dobu 10 sekund vystaveny korónovému výboji. Nejvyšší koncentrace byla naměřena u vzorků pocházejících z úpravy varianty 1 (reference) a 5. Cibulky před výsadbou naložené v plazmatem aktivované vodě na 24 hodin odpovídají páté úpravě. Zatímco u lokality 15 a 25 byly koncentrace vzorků z druhého ošetření nejnižší, u lokality 13 a 26 byly hodnoty nejvyšší. Referenční cibulky (varianta 1) vypěstovaných na lokalitě 26 měly nejnižší koncentraci vonných látek.

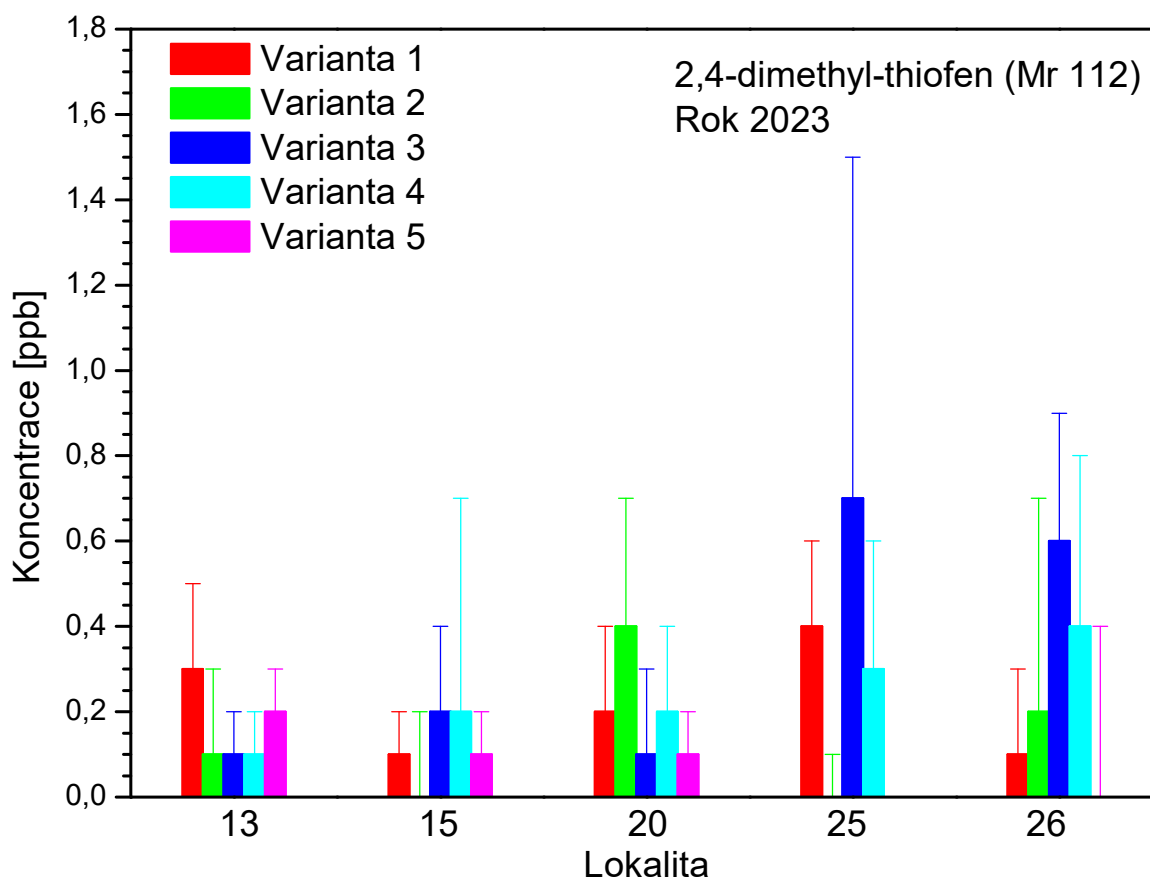


Obrázek 35: Průměrné koncentrace 2-methyl-2-pentenal ve vzorcích z roku 2023.



### 2,4–dimethyl–thiofen v roce 2023

Vonná látka 2,4–dimethyl–thiofen o molární hmotnosti 112 již nevykazuje až tak velké koncentrační změny jako například propanal, což lze vidět na obrázku 36. Nejvyšší koncentrace u lokality 13 náleží první variantě, tedy referenčním cibulím. Nejnižší koncentrace zkoumané vonné látky ve vzorcích odpovídá současně variantě 2, 3 i 4. U lokality 15 lze vidět jen nepatrné koncentrační rozdíly. Třetí a čtvrtá varianta úpravy vykazovala vyšší obsah 2,4–dimethyl–thiofenu než u ostatních úprav. Koncentrace z cibulí ošetřených korónovým výbojem po dobu 10 sekund obsahovaly koncentraci, která byla mimo mez detekce. Tato koncentrace byla dosažena i u sadby ošetřené plazmatem aktivovanou vodou na lokalitě 26. U této lokality byla naměřena nejvyšší koncentrace zkoumané vonné látky u cibulek ošetřených korónovým výbojem po dobu 40 sekund (varianta 3). Stejně tomu bylo i u lokality 25, kde ale nejvyšší obsah látek byl u druhé a páté úpravy, jelikož byly znovu mimo mez detekce. Díky variantě 2 je nejvyšší koncentrace analyzované látky v cibulkách vypěstovaných v lokalitě 20 a nejnižší koncentrace odpovídá třetí a páté variantě (PAW).



Obrázek 36: Průměrné koncentrace 2,4–dimethyl–thiofenu ve vzorcích z roku 2023.

Zpracované výsledky analýzy z hmotnostní spektroskopie jsou uvedeny níže v tabulce 20. Vzorky různých variant (tedy různých úprav sadby), jež měly nejvyšší koncentraci zkoumané vonné látky v příslušné lokalitě, jsou označeny zelenou barvou a číslem lokality. Červené číslo lokality je vypsáno v odpovídajícím řádku sloučeniny a sloupci, jež náleží typu varianty úpravy vzorku. Takto jsou zvýrazněny nejvyšší koncentrace v daných lokalitách. U vonné látky 2,4–

dimethyl–tiofen (molární hmotnost 112) má nižší význam hledat jasnou závislost v koncentračních rozdílech způsobené variantou úpravy sadby, jelikož rozdíly koncentrací nejsou příliš vysoké. Obsah látek se pohybuje v nízkých koncentracích (0–1 ppb), tedy koncentracích mimo detekci měření, případně pod detekčním limitem použitého přístroje. Jak si lze výše v textu povšimnout, nejvyšší a nejnižší hodnota koncentrace v lokalitě náleží několika variantám vzorků.

Tabulka 20: Výsledky analýzy z hmotnostní spektrometrie (vysvětlení značení dat je výš v textu).

Hmotnost	Rok 2021									
	Varianta ošetření cibulek									
	1. varianta		2. varianta		3. varianta		4. varianta		5. varianta	
58	26		13	20	15 25	13		26	20	15 25
98	20 26	13	13	26	13 15 25		13	20 25		13 15
112	13 20 25 26	15	15	13 25 26		25 26		25		13 15 20 25
Hmotnost	Rok 2022									
	Varianta ošetření cibulek									
	1. varianta		2. varianta		3. varianta		4. varianta		5. varianta	
58		26	20 26	13 15	13 25			15 20	15	25
98		25	26	13	13 25	26		15 20	15 20	
112	20	13 15 25 26	26	13 15 20	15 20 25	13 26	13 15	20	15 20	13 25
Hmotnost	Rok 2023									
	Varianta ošetření cibulek									
	1. varianta		2. varianta		3. varianta		4. varianta		5. varianta	
58		13 15		25 26	13 15	20	20 26		25	
98	25	13 26	13 26	15 25	15	20	20	13	25	
112	13		20	13 15 25	15 25 26	13 20	15	13		20 25 26

Souhrnné hodnocení napříč lokalitami je vidět v tabulce 21 a 22. Zelené číslo představuje počet vzorků s nejvyšší koncentrací analyzované vonné látky. Červené číslo značí počet vzorků, jež měly nejnižší koncentraci zkoumané sloučeniny.

V tabulce 21 jsou shrnuty hodnoty pro všechny molární hmotnosti a lokality diskutované v této práci. Cibule ošetřené 2x korónovým výbojem po dobu čtyřiceti sekund (3. varianta) měly opakovaně (18krát) nejvyšší koncentraci a také se jednalo o vzorky s nejmenším zastoupením nejnižší koncentrace (10krát). Nejčastější výskyt (18krát) nejnižší koncentrace byl u druhého ošetření, čili u cibulí ošetřených pomocí 2x korónového výboje po dobu deseti sekund.

*Tabulka 21: Souhrnné výsledky pro všechny analýzy MS, všechny tři hmotnosti (vysvětlení k datům je v textu).*

Rok	1. varianta		2. varianta		3. varianta		4. varianta		5. varianta	
2021	7	2	3	5	5	3	1	4	1	8
2022	1	6	4	6	7	3	2	5	5	3
2023	2	4	3	7	6	4	4	2	2	3
Celkem	10	12	10	18	18	10	7	11	8	14

Vybrané výsledky vyskytnuté pouze u látek o molární hmotnosti 58 (Propanal) a 98 (2-methyl-2-pentenal) jsou shrnuty v tabulce 22. Zde je patrné, že vystavení cibulek 2x po dobu čtyřiceti sekund korónovému výboji (varianta 3) mělo opakovaně (12krát) pozitivní vliv na koncentraci těkavých sloučenin ve vzorku. Při porovnání opakovanosti nejvyšší (4krát) a nejnižší (8krát) koncentrace, lze vidět náznak negativního vlivu naložení cibulek na 24 hodin do destilované vody (4. varianta).

*Tabulka 22: Souhrnné výsledky analýzy MS, hmotnost 58 a 98 (vysvětlení k datům je v textu).*

Rok	1. varianta		2. varianta		3. varianta		4. varianta		5. varianta	
2021	3	1	2	2	5	1	1	3	1	4
2022	0	2	3	3	4	1	0	4	3	1
2023	1	4	2	4	3	2	3	1	2	0
Celkem	4	7	7	9	12	4	4	8	6	5

## 5 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo studium vlivu přímé a nepřímé aplikace plazmatu na cibuli sazečku. Úvod se věnoval seznámení s využívanými alternativami úprav zemědělským plodin a motivací, proč se věnovat alternativám konvenčního zemědělství. Byla zde nastíněna šetná varianta úprav pomocí plazmatu. Teoretická část se zabývala půdou, plazmatem, kvantitativními a kvalitativními metodami stanovení těkavých látek. První část se důkladně věnovala půdě a jejím způsobům charakterizace, ke které byla využita i atomová absorpční spektrometrie a UV–VIS spektrometrie. Druhá část se věnovala popisu a vzniku plazmatu. Dále pojednávala o konkrétním ošetření sadby, příkladem korónovým výbojem a plazmatem aktivovanou vodou (PAW). Poslední část se zabývala principem hmotnostní spektrometrie (MS), pomocí které lze určit koncentrace jednotlivých látek a plynovou chromatografií (GC), díky které lze identifikovat organické látky porovnáním výstupních dat s knihovnou spekter.

Druhou částí diplomové práce byla experimentální část, která probíhala po dobu tří let. V metodice experimentu byla popsána příprava a analýza půdních vzorků, které byly v této kapitole i vyhodnoceny. Byly zde také popsány postupy ošetření cibulek pomocí korónového výboje a plazmatem aktivovanou vodou před sadbou, zaznačení lokalit, kde byly pěstovány a i sklizeny. Následně se věnovala extrakci šťávy ze vzorku, postupu měření pomocí MS a GC–MS a finálnímu zpracování dat.

Pro lepší porozumění podmínek, ve kterých byly pěstovány cibule prezentovaný v této práci, byly provedeny půdní rozbory. Lokalita v Boskovicích (13) a v Krchlebech (20) zcela splňuje podmínky dle půdního druhu pro pěstování cibule. Středně těžká půda se nacházela v Lipůvce (25) a ve Veverských Knínicích (26), což svým zrnitostním složením může negativně ovlivnit pěstební proces. Pozemek v Horce u Chrudimi (15) dle analýzy obsahuje těžkou půdu, která zadržuje vlhkost, což podporuje náchylnost k plísním. Cibule preferuje mírně kyselé až neutrální pH, což všechny analyzované lokality v roce 2021 před sadbou i po sklizni splňovaly. Jedinou výjimkou je Lipůvka (25) po sklizni, která se minimálně odchýlila od vhodných podmínek. Naměřená data v roce 2022 se pohybují v rozmezí pH 6,59–7,41, což plně vyhovuje pro sadbu. Obsah organického uhlíku u všech měřených lokalit v letech 2021 a 2022 před sadbou a po sklizni byl dostatečný pro pěstování cibule. Z pohledu obsahu živin (P, K, Ca, Mg) lokality v roce 2021 i 2022 před sadbou i po sklizni vyhovovaly pěstbě. Analyzovanou anomálií v roce 2022 byl významný pokles živin u Lipůvky (25). Před sadbou byl obsah živin velmi vysoký. Po sklizni klesl obsah fosforu na nízký, vápníku a hořčíku na vyhovující a draslíku na dobrý.

Výnosy cibule a vyhodnocení dat získaných z kvalitativní a kvantitativní analýzy byly zpracovány ve třetí části práce, jedná se o výsledky a diskuze. Svou velikostí po dobu tří let dominovaly cibule vypěstované ve Veverských Knínicích (26). Nejvyšší výnosy opakovaně ze všech probíraných lokalit v této práci za tři roky byly získány ze sadeb ošetřených destilovanou vodou (varianta 4) a také z cibulí ošetřených plazmatem aktivovanou vodou (varianta 5). Výnosy činily 26% nárůst oproti referenčním cibulím, tedy sadbě, jež nebyla dodatečně ošetřena. Negativní vliv ošetření sadby se projevil u cibulí, které byly ošetřeny 2x korónovým výbojem po dobu 10 sekund, tedy druhá varianta úpravy.

Pomocí dat získaných z kvalitativní analýzy látek pomocí tandemové techniky GC–MS byly identifikovány vonné sloučeniny ve vzorku. Z nich byly vybrány tři charakteristické látky

v šesti vzorcích cibulí. Vyhodnocení proběhlo v souladu s metodikou popsanou v mé bakalářské práci.[63] Významným analyzovaným aldehydem v cibuli byl identifikován propanal s molární hmotností 58. Další sloučeninou s aldehydicou skupinou ( $-CHO$ ) nacházející se ve vzorku je 2-methyl-2-pentenal, jehož molární hmotnost je 98. Poslední vybranou sloučeninou je sirná látka 2,4-dimethyl-thiofen s molární hmotností 112.

Na základě dat získaných po dobu tří let z hmotnostní spektrometrie byly sestrojeny grafy pro jednotlivé těkavé sloučeniny a vyhodnoceny koncentrační rozdíly v rámci vybraných pěti lokalit na území České republiky. Z výsledků uvedených v tabulce 22 lze vidět, že vystavení cibulek 2x korónovému výboji po dobu čtyřiceti sekund (varianta 3) mělo opakovaně pozitivní vliv na koncentraci těkavých sloučenin ve vzorku. Při porovnání opakovanosti nejvyšší a nejnižší koncentrace, lze vidět mírný náznak negativního vlivu naložení cibulek na 24 hodin do destilované vody (varianta 4). Vyloženě negativní vliv ošetření na výsledné koncentrace těkavých látek nelze pozorovat. Je nutné myslet na to, že výsledky v diplomové práci jsou interpretovány pro malý, vybraný počet vzorků cibulí. Pro jasnější závěry by bylo nutné místo 4 cibulí pro jednu variantu úpravy měřit nejlépe pro 1000 cibulí. Pro splnění těchto podmínek by bylo nutné provést mnohem větší experiment. Z důvodu omezeného počtu cibulí pro jednu variantu ošetření lze vidět, že nejistoty měření jsou celkem vysoké.

Jak bylo dříve zmíněno, bylo by zapotřebí provést větší polní pokus. Například vysadit početnější sadbu pouze na dvou lokalitách vhodných pro pěstování. Lze také pracovat s mnohem více sloučeninami identifikovaných látek pomocí GC-MS. U cibule se sledovala její hmotnost (výnos). Dále by se mohlo pracovat s počtem slupek, které cibule měla při sklizni. Další důležitou vlastností je vliv ošetření na uskladněné cibule. Tento parametr se velmi omezeně sledoval v mé bakalářské práci ze sadby získané v roce 2021. Závěrem mé diplomové práce lze říci, že ošetření sadby cibule plazmatem má pozitivní vliv na výnos i obsah vonných látek v cibuli. Je ale důležité pro experiment sledovat i půdní a povětrnostní podmínky.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

EKO	Ekologicky šetrné výrobky
BIO	Bez přidaných chemických látek
pH	Vodíkový exponent (Potential of hydrogen)
VMP	Výměnná kapacita půdy
ČR	Česká republika
ÚZKUZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
NK	Nukleová kyselina
AAS	Atomová absorpční spektrometrie
UV	Ultrafialové záření (Ultra violet)
VIS	Viditelné záření (Visible)
IR	Infračervené záření (Infrared)
BLB	Bouguer–Lambert–Beerův zákon
CCD	Zařízení s vázanými náboji (Charge–coupled device)
DBD	Dielektrický bariérový výboj (Dielectric Barrier Discharges)
PAW	Plazmatem aktivovaná voda (Plasma activated water)
RONS	Reaktivní formy kyslíku a dusíku (Reactive oxygen and nitrogen species)
<i>g</i>	Plynná fáze (Gas)
<i>aq</i>	Vodný roztok (Aqua)
<i>int</i>	Rozhraní (Interface)
ORP	Oxidačně–redukční potenciál
GC	Plynová chromatografie (Gas Chromatography)
GC–MS	Plynová chromatografie s hmotnostní spektrometrií
SPME	Mikroextrakce pevnou fází (Solid Phase Microextraction)
MS	Hmotnostní spektroskopie (Mass Spectrometry)
MALDI	Laserová desorpce a ionizace analytu za účasti matrice (Matrix–Assisted Laser Desorption/Ionization)
PTR	Protonová ionizace (Proton Transfer Reaction)
TOF	Průletový analyzátor (Time Of Flight)
<i>m/z</i>	Poměr hmotnosti a náboje
Mr	Molární hmotnost
VOC	Těkavá organická látka (Volatile Organic Compound)
PET	Polyethylentereftalát
EDTA	Kyselina ethylendiamintetraoctová
PVD	Povlakování (Physical Vapour Deposition)
PDMS	Polydimethylsiloxan
DVB	Divinylbenzen
NIST	Národní institut standardů a technologie (National Institute of Standards and Technology)

## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOTECKÝ, Vojtěch a KOTÁSKOVÁ, Kateřina. *Chemie v zemědělství*. Online. In: Hnutí DUHA: Friends of the Earth Czech Republic. Brno: hnutí DUHA, 2007. Dostupné z: [https://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/chemie\\_v\\_zemedelstvi.pdf](https://www.hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/typo3/chemie_v_zemedelstvi.pdf). [cit. 2024-04-17].
- [2] DLOUHÝ, Josef a URBAN, Jiří. *Ekologické zemědělství bez mýtů: Fakta o ekologickém zemědělství a biopotravinách pro média*. Online. In: Česká technologická platforma pro ekologické zemědělství. Olomouc, 2011. Dostupné z: [https://eagri.cz/public/web/file/220655/Ekologicke\\_zemedelstvi\\_bez\\_mytu.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/220655/Ekologicke_zemedelstvi_bez_mytu.pdf). [cit. 2024-04-17].
- [3] MAHMOOD, I.; IMADI, S.R. a SHAZADI, K. Effects of pesticides on environment. In *Plant, soil and microbes*. Online. In: Springer, 2016, s. 253–269. Dostupné z: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27455-3\\_13](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27455-3_13). [cit. 2024-04-17].
- [4] BIOINSTITUT. *Ekologické zemědělství: Co je ekologické zemědělství?* Online. In: Bioinstitut. Olomouc. Dostupné z: <http://bioinstitut.cz/cz/ekologicke-zemedelstvi>. [cit. 2024-04-17].
- [5] KUBALA, Radek. *Zemědělství budoucnosti bez chemie a agrokorporací*. Online. In: Asociace soukromého zemědělství ČR: zpravodajství. Praha. Dostupné z: <https://www.asz.cz/clanek/5486/zemedelstvi-budoucnosti-bez-chemie-a-agrokorporaci/>. [cit. 2024-04-17].
- [6] JUDÉE, F; SIMON, S; BAILLY, C a DUFOUR, T. Plasma-activation of tap water using DBD for agronomy applications: Identification and quantification of long lifetime chemical species and production/consumption mechanisms. Online. *Water Research*. 2018, roč. 133, s. 47-59. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135417310308?via%3Dihub>. [cit. 2024-04-17].
- [7] ARLTOVÁ, Martina. *Vědci vyrobili hnojivo ze vzduchu. Budoucnost zemědělství je podle nich v používání studené plazmy*. Online. In: Euro.cz: Tech. Praha. Dostupné z: <https://www.euro.cz/tech/vedci-vyrobili-hnojivo-ze-vzduchu-budoucnost-zemedelstvi-ted-podle-nich-lezi-v-pouzivani-studene-plazmy>. [cit. 2024-04-17].
- [8] PAUČ, Nevena; GHERARDI, Matteo a SHIRATANI, Masaharu. Plasma agriculture: A rapidly emerging field. Online. *Plasma Processes and Polymers*. 20217, roč. 15, č. 2. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ppap.201700174>. [cit. 2024-04-17].
- [9] ŠARAPATKA, Bořivoj. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2014. ISBN 978-80-244-3736-1.
- [10] MOLINA, Fernando. *Soil Colloids: properties and Ion Binding*. Boca Raton: CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4398-5114-2.
- [11] *Definice půdy*. Online. Ministerstvo životního prostředí. 2023. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/definice\\_pudy](https://www.mzp.cz/cz/definice_pudy). [cit. 2024-03-23].

- [12] MENDELOVA UNIVERZITA. *Mikroorganismy jako indikátory stavu půdního prostředí: fyzikální vlastnosti půdy*. Online. 2024. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=3416&typ=html](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3416&typ=html). [cit. 2024-03-23].
- [13] MENDELOVA UNIVERZITA. *Principy hodnocení vybraných ukazatelů kvality půdy*. Online. 2024. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=5052&typ=html](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5052&typ=html). [cit. 2024-03-23].
- [14] ŠIMEK, Miloslav; ELHOTTOVÁ, Dana; FUKSA, Pavel a HYNŠT, Jaroslav. *Živá půda: praktický manuál*. Praha: Academia, 2021. ISBN 978-80-200-3199-0.
- [15] REJŠEK, Klement a VÁCHA, Radim. *Nauka o půdě*. Olomouc: Agriprint, 2018. ISBN 978 80-87091-82-1.
- [16] POKORNÝ, Eduard; ŠARAPATKA, Bořivo a HEJÁTKOVÁ, Květuše. *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku: metodická pomůcka*. Online. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s, 2007. ISBN 80-903548-5-8. Dostupné z: [https://eagri.cz/public/web/file/26922/Hodnoceni\\_kvality\\_pudy.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/26922/Hodnoceni_kvality_pudy.pdf). [cit. 2024-03-23].
- [17] ŠIMEČKOVÁ, Jana. *Zrnitostní složení půdy*. Online. Mendelova univerzita. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty/files//19/19-zrnitost.pdf](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty/files//19/19-zrnitost.pdf). [cit. 2024-03-23].
- [18] SÁŇKA, Milan; VÁCHA, Radim; POLÁKOVÁ, Šárka a FIALA, Přemysl. *Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd*. Online. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2018. ISBN 978-80-7212-627-9. Dostupné z: [https://pedologie.czu.cz/dokumenty/Kriteria\\_pro\\_hodnoceni\\_vlastnosti%20pud.pdf](https://pedologie.czu.cz/dokumenty/Kriteria_pro_hodnoceni_vlastnosti%20pud.pdf). [cit. 2024-03-30].
- [19] SMATANOVÁ, Michaela. *Hodnocení vybraných parametrů půdní organické hmoty v zemědělských půdách ČR: průběžná zpráva za roky 2014-2019*. Online. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Sekce zemědělských vstupů, 2021. Dostupné z: [https://eagri.cz/public/portal/-a35434---ZA\\_k5zko/hodnoceni-vybranych-parametru-pudni-organicke-hmoty-v-zemedelskych-pudach-cr](https://eagri.cz/public/portal/-a35434---ZA_k5zko/hodnoceni-vybranych-parametru-pudni-organicke-hmoty-v-zemedelskych-pudach-cr). [cit. 2024-03-23].
- [20] SMATANOVÁ, Michaela a SUŠIL, Aleš. *Výsledky agrochemického zkoušení zemědělských půd za období 2012–2017*. Online. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Sekce zemědělských vstupů, 2018. ISBN 978-80-7401-162-7. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/-q456031---KFcKH3jl/vysledky-agrochemickeho-zkouseni-pud>. [cit. 2024-03-23].
- [21] VLČEK, Vítězslav; POSPÍŠILOVÁ, Lubica; ŠIMEČKOVÁ, Jana; DVOŘÁČKOVÁ, Helena a JANDÁK, Jiří. *Půdoznalství*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2020. ISBN 978-80-7509-738-5.
- [22] CSUROS, Maria a CSUROS, Csaba. *Environmental sampling and analysis for metals*. Florida: CRC Press, 2002. ISBN 1-56670-572-X.



- [23] ZÁRUBA, Kamil. *Analytická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2016. ISBN 978-80-7080-950-1.
- [24] WELZ, Bernhard a SPERLING, Michael. *Atomic Absorption Spectrometry*. Online. 3rd Edition. New York: Wiley–Vch, 1999. ISBN 978-3-527-28571-6. Dostupné z: <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/6030/76/L-G-0000603076-0002364813.pdf>. [cit. 2024-04-23].
- [25] GUO, Yuchen; LIU, Chunhong; YE, Rongke a DUAN, Qingling. Advances on Water Quality Detection by UV-Vis Spectroscopy. Online. *Applied Sciences*. 2020, roč. 10, č. 19, s. 68-74. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app10196874>. [cit. 2024-04-23].
- [26] PERKAMPUS, Heinz–Helmut. *UV-VIS Spectroscopy and Its Applications*. Německo: Springer Science & Business Media, 2013. ISBN 3642774776.
- [27] *UV-VIS Absorption Spectroscopy: Instrumentation*. Online. SHEFFIELD HALLAM UNIVERSITY. Dostupné z: <https://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/uvvisab3.htm>. [cit. 2024-04-23].
- [28] *Optical setup of a modern UV–VIS spectrophotometer: Monochromatic UV/VIS spectrophotometer*. Online. In: Implen. 2024. Dostupné z: <https://www.implen.de/uv-vis-spectrophotometer/>. [cit. 2024-04-23].
- [29] SCHOLTZ, Vladimír. *Nízkoteplotná plazma I: Čo je to plazma?* Online. 2012, roč. 10, č. 22. AGA (Aldebaran Group for Astrophysics), 2012. ISSN 1214-1674. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012\\_22\\_pla.php](https://www.aldebaran.cz/bulletin/2012_22_pla.php). [cit. 2024-03-19].
- [30] MARTIŠOVITŠ, Viktor. *Základy fyziky plazmy: učebný text pre 3. ročník magisterského štúdia*. Online. Bratislava: Univerzita Komenského, 2004. Dostupné z: [https://vutbr.sharepoint.com/sites/PAW/Sdilene%20dokumenty/Plazma%20-%20literatura/Marti%C5%A1ovit%C5%A1-Z%C3%A1klady\\_fyziky\\_plazmy-SK.pdf?CT=1710842215102&OR=ItemsView](https://vutbr.sharepoint.com/sites/PAW/Sdilene%20dokumenty/Plazma%20-%20literatura/Marti%C5%A1ovit%C5%A1-Z%C3%A1klady_fyziky_plazmy-SK.pdf?CT=1710842215102&OR=ItemsView). [cit. 2024-03-19].
- [31] KULHÁNEK, Petr. *Stručný průvodce plazmatem: vzdělávací a metodický materiál vydaný v rámci projektu Vědou a technikou ke společnému rozvoji*. Online. In: . Valašské Meziříčí: Hvězdárna Valašské Meziříčí, 2014, s. 64. ISBN 978-80-86298-21-4. Dostupné z: <https://www.astrovm.cz/userfiles/file/projekty/vtsr/plazma-vtsr-web.pdf>. [cit. 2024-03-19].
- [32] *Definice plazmatu, základní charakteristiky plazmatu*. Online. UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ. Ústav fyziky a materiálového inženýrství. Dostupné z: [https://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH\\_02.pdf](https://ufmi.ft.utb.cz/texty/plazmochemie/PCH_02.pdf). [cit. 2024-03-20].
- [33] CHEN, Francis F. *Úvod do fyziky plazmatu*. Online. Praha: Academia, 1984. Dostupné z: <https://vutbr.sharepoint.com/sites/PAW/Sdilene%20dokumenty/Plazma%20-%20literatura/Chen-Uvod%20do%20fyziky%20plazmatu.pdf?CT=1710842884090&OR=ItemsView>. [cit. 2024-03-19].

- [34] BITTENCOURT, J.A. *Fundamentals of plasma physics*. Online. Third edition. New York: Springer Science+Business Media, 2004. ISBN 978-1-4757-4030-1. Dostupné z: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5913606/course/section/6090129/Bittencourt.pdf>. [cit. 2024-03-20].
- [35] GOLDSTON, Robert a RUTHERFORD, Paul. *Introduction to Plasma Physics*. Online. Boca Raton: Institute of Physics Publishing, 1995. ISBN 9780367806958. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9780367806958>. [cit. 2024-03-20].
- [36] AUBRECHT, Vladimír. *Fyzika a diagnostika plazmatu*. VUT Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [37] JANČA, J.; KUDRLE, V. a ELIÁŠ, M. *Fyzika plazmatu I*. Brno: Masarykova univerzita, Fakulta přírodovědecká, 2003.
- [38] *Výboje v plynech*. Online. E-manuel. Dostupné z: <https://e-manuel.cz/kapitoly/elektricke-pole/vyklad/vyboje-v-plynech/>. [cit. 2024-03-20].
- [39] BRUGGEMAN, P.J.; KUSCHNER, M.J. a LOCKE, BR. Plasma–liquid interactions: a review and roadmap. Online. *Plasma sources science & technology*. 2016, roč. 25, č. 5. ISSN 1361-6595. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/0963-0252/25/5/053002>. [cit. 2024-03-19].
- [40] YANG, Y. *Plasma Discharge in Water and Its Application for Industrial Cooling Water Treatment*. Online. New York: CRC Press, 2011. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/190335781.pdf>. [cit. 2024-03-22].
- [41] FRIDMAN, Alexandr. *Plasma Chemistry*. Online. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. ISBN 978-0-511-39857-5. Dostupné z: <http://www.gammaexplorer.com/wp-content/uploads/2014/03/Plasma-Chemistry.pdf>. [cit. 2024-03-22].
- [42] KRČMA, F; KOZÁKOVÁ, Z; MAZÁNKOVÁ, V; HORÁK, J; DOSTÁL, L et al. Characterization of novel pin-hole based plasma source for generation of discharge in liquids supplied by DC non-pulsing voltage. Online. *Plasma Sources Science and Technology*. 2018, roč. 27, č. 6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1361-6595/aac521>. [cit. 2024-03-22].
- [43] ZHOU, Renwu; ZHOU, Rusen; WANG, Peiyu a XIAN, Y. Plasma activated water (PAW): generation, origin of reactive species and biological applications. Online. *Journal of Physics D: Applied Physic*. 2020, roč. 53, č. 30. ISSN 1089-7550. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/340068059\\_Plasma\\_activated\\_water\\_PA\\_W\\_generation\\_origin\\_of\\_reactive\\_species\\_and\\_biological\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/340068059_Plasma_activated_water_PA_W_generation_origin_of_reactive_species_and_biological_applications). [cit. 2024-03-22].
- [44] ŠIMEČKOVÁ, Jana; KRČMA, František; KLOFÁČ, Daniel; DOSTÁL, Lukáš a KOZÁKOVÁ, Zdenka. Influence of Plasma-Activated Water on Physical and Physical–Chemical Soil Properties. Online. *Water*. 2020, roč. 12, č. 9. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2357>. [cit. 2024-03-22].
- [45] GRAVES, David. Low temperature plasma biomedicine: A tutorial review. Online. *Physics od Plasma*. 2014, roč. 21, č. 8. ISSN 1089-7674. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1063/1.4892534>. [cit. 2024-04-05].

- [46] GIBALOV, Valentin a PIETSCH, Gerhard. The Development of Dielectric Barrier Discharges in Gas Gaps and on Surfaces. Online. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2000, roč. 33, č. 20, s. 2618–2636. ISSN 1361-6463. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/33/20/315>. [cit. 2024-03-22].
- [47] ŠTÁHEL, Pavel. *Dielektrické bariérové výboje a jejich aplikace*. Online, Habilitační práce. Brno: Masarykova univerzita, 2012. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/habilitace/1431/Stahel/habilitace/Barierove\\_vyboje\\_a\\_jejich\\_aplikace3final.pdf](https://is.muni.cz/do/rect/habilitace/1431/Stahel/habilitace/Barierove_vyboje_a_jejich_aplikace3final.pdf). [cit. 2024-03-22].
- [48] ŠÍPOŠOVÁ, Nikola; VIZÁROVÁ, Katarína; TIŇO, Radko a KALIŇÁKOVÁ, Barbora. *Dezinfekčné účinky nízkoteplotnej atmosférickej plazmy na papierové nosiče informácií a dedičstva*. Online. ODCP FCHPT STU v Bratislave, 2017. Dostupné z: [https://educell.sk/wp-content/uploads/2020/02/Dezinfek%C4%8Dn%C3%A9-%C3%BA%C4%8Dinky-n%C3%ADzkoteplotnej-atmosf%C3%A9rickej-plazmy-na-papierov%C3%A9-nosi%C4%8De-inform%C3%A1ci%C3%AD-a-dedi%C4%8Dstva\\_STU-2017.pdf](https://educell.sk/wp-content/uploads/2020/02/Dezinfek%C4%8Dn%C3%A9-%C3%BA%C4%8Dinky-n%C3%ADzkoteplotnej-atmosf%C3%A9rickej-plazmy-na-papierov%C3%A9-nosi%C4%8De-inform%C3%A1ci%C3%AD-a-dedi%C4%8Dstva_STU-2017.pdf). [cit. 2024-03-22].
- [49] LEBEDEV, Yu A; LANDSBERG, Kati; LINDEQUIST, Ulrike; WELTMANN, Klaus-Dieter a VON WOEDTKE, Thomas. Microwave discharges: generation and diagnostics. Online. *Journal of Physics: Conference Series*. 2010, roč. 257, č. 9, s. 2479-2485. ISSN 1742-6596. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/257/1/012016>. [cit. 2024-03-30].
- [50] REECE ROTH, J. *Industrial Plasma Engineering: Volume 1: Principles*. Online. London: Institute of Physics Publishing, 1995. ISBN 7503 0317 4. Dostupné z: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7455565/mod\\_resource/content/1/INDUSTRIAL\\_PLASMA\\_ENGINEERING\\_VOL\\_1.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7455565/mod_resource/content/1/INDUSTRIAL_PLASMA_ENGINEERING_VOL_1.pdf). [cit. 2024-03-30].
- [51] *Kontrola kvality moření osiv: Vyhláška o podrobnostech uvádění osiva a sadby pěstovaných rostlin do oběhu*. Online. Ministerstvo zemědělství. 2012. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/regulation?ck=regulation&id=77368&name=129/2012>. [cit. 2024-04-05].
- [52] ÚSTŘEDNÍ KONTROLNÍ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÝ. *Fusariová hniloba česnekovitých*. Online. Rostlinolékařský portál. 2024. Dostupné z: [https://eagri.cz/public/app/srs\\_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c428d10%22#rlp|so|choroby|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c428d10|popis](https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c428d10%22#rlp|so|choroby|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c428d10|popis). [cit. 2024-04-05].
- [53] *Moření cibulí*. Online. PLASTIA. Pěstujeme doma. Dostupné z: <https://www.pestujemedoma.cz/clanek-moreni-cibuli-85>. [cit. 2024-04-05].
- [54] MISRA, N; TIWARI, B; RAGHAVARAO, K a CULLEN, P. Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. Online. *Food Engineering Reviews*. 2011, roč. 3, s. 159-170. ISSN 1866-7929. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9041-9>. [cit. 2024-03-22].

- [55] KORACHI, M; TURAN, Z; SENTURK, K a ASLAN, N. An investigation into the biocidal effect of high voltage AC/DC atmospheric corona discharges on bacteria, yeasts, fungi and algae. Online. *Journal of Electrostatics*. 2009, roč. 67, č. 4, s. 678-685. ISSN 03043886. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2009.03.002>. [cit. 2024-03-22].
- [56] UNIVERZITA KARLOVA. *Plazma: Aplikace plazmatu*. Online. Dostupné z: <https://physics.mff.cuni.cz/kfpp/s4r/plazma/?p=5>. [cit. 2024-03-22].
- [57] *Oheň svatého Eliáše*. Online. Elektronický meteorologický slovník. 2017. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/heslo/2411>. [cit. 2024-03-22].
- [58] JULÁK, J.; HUJACOVÁ, A.; SCHOLTZ, V.; KHUN, J. a HOLADA, K. Contribution to the Chemistry of Plasma-Activated Water. Online. *Plasma Physics Reports*. 2018, roč. 44, s. 125-136. ISSN 1063-780X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1134/S1063780X18010075>. [cit. 2024-03-19].
- [59] BRADU, Corina; KUTASI, Kinga; MAGUREANU, Monica; PAUČ, Nevena a ŽIVKOVIĆ, Suzana. Reactive nitrogen species in plasma-activated water: Generation, chemistry and application in agriculture. Online. *Journal of physics D: Applied physics*. 2020, roč. 53, č. 22. ISSN 0022-3727. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab795a>. [cit. 2024-03-19].
- [60] JUDÉE, Florian; STÉPHANE, Simon a DUFOUR, Thierry. Plasma-activation of tap water using DBD for agronomy applications: Identification and quantification of long lifetime chemical species and production/consumption mechanisms. Online. *Water Research*. 2017, article 133, s. 47-59. ISSN 00431354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.035>. [cit. 2024-03-22].
- [61] THIRUMDAS, Rohit; ANNAPURE, Uday; SILIVERU, Kaliramesh; BLUNDELL, Renald; GATT, Ruben et al. Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties. Online. *Trends in Food Science & Technology*. 2018, roč. 77, s. 21-31. ISSN 09242244. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.007>. [cit. 2024-03-23].
- [62] ROY, Nepal; PATTYN, Cédric; REMY, Antoine; MAIRA, Nicolas a RENIERS, Frandois. NO<sub>x</sub> synthesis by atmospheric-pressure N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> filamentary DBD plasma over water: Physicochemical mechanisms of plasma–liquid interactions. Online. *Plasma Processes and Polymers*. 2021, roč. 18, č. 3, article 2000087. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/ppap.202000087>. [cit. 2024-03-30].
- [63] KREJSOVÁ, Lenka. Analýza vonných látek v plazmatem ošetřené cibuli. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139055>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav fyzikální a spotřební chemie. Vedoucí práce František Krčma.
- [64] KOCOUREK, František; KOUDELA, Martin; JURSIK, Miroslav; ROD, Jaroslav; HOLÝ, Kamil et al. *Technologie pěstování a ochrany cibule v systému integrované produkce*. Online. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2016. ISBN 978-80-7427-214-1. Dostupné z: <https://www.vurv.cz/wp-content/uploads/2021/06/ISBN-978-80-7427-214-1-Technologie-pestovani-a-ochrany-cibule.pdf>. [cit. 2024-04-07].

- [65] *Hnojení cibule a její pěstování*. Online. Hnojík.cz. Dostupné z: <https://hnojik.cz/hnojeni-cibule/>. [cit. 2024-04-07].
- [66] *Půda a hnojení*. Online. Cibulky a cibuloviny. 2012. Dostupné z: <https://www.cibuloviny.com/pestovani-venkovnich-cibulnatych-a-hliznatych-kvetin/puda-a-hnojeni/>. [cit. 2024-04-07].
- [67] ŠKARPA, Petr. *Laboratorní výuka z výživy rostlin: stanovení přístupných živin v půdě*. Online. 2020. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_221\\_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=9&K=0](https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=9&K=0). [cit. 2024-04-07].
- [68] SKOOG, Douglas; WEST, Donald; HOLLER, James a CROUCH, Stanley. *Analytická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019. ISBN 978-80-7592-043-0.
- [69] NIST. *NIST Standard Reference Database 1A: NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library with Search Program Data Version: NIST v20*. Online. Dostupné z: <https://www.nist.gov/srd/nist-standard-reference-database-1a>. [cit. 2024-04-21].
- [70] TAGLIENTI, Anna; ARANITI, Fabrizio; TIBERINI, Antonio a PISCOPO, Amalia. Characterization of Volatile Organic Compounds in ‘Rossa di Tropea’ Onion by Means of Headspace Solid-Phase Microextraction Gas Chromatography–Mass Spectrometry (HS/SPME GC–MS) and Sensory Analysis. Online. *Agronomy*. 2021, roč. 11, č. 874. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050874>. [cit. 2024-04-21].
- [71] Showing Compound 2,4-Dimethylthiophene. Online. 2019. Dostupné z: <https://foodb.ca/compounds/FDB010965>. [cit. 2024-04-21].