

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra ochrany rostlin**



**Nová metoda ochrany rostlin vůči *Plasmodiophora  
brassicae***

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Lucie Vacková**

**Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Miloslav Zouhar, Ph.D.**

© 2021 ČZU v Praze

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Nová metoda ochrany rostlin vůči *Plasmodiophora brassicae*" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26. 4. 2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu doc. Ing. Miloslavu Zouharovi, Ph.D., za odbornou pomoc a cenné rady při tvorbě této práce, také za její vedení, trpělivost a vstřícnost, kterou mi poskytl. Také bych ráda poděkovala své rodině, za podporu, která pro mě byla důležitá během psaní práce.

# Nová metoda ochrany rostlin vůči *Plasmodiophora brassicae*

## Souhrn

*Plasmodiophora brassicae* je po celém světě velmi rozšířený patogen rostlin, který napadá kořenovou část brukvovitých rostlin. Tyto rostliny jsou významnou složkou potravy lidí a živočichů, a také mají velký význam v potravinářském průmyslu. Rostliny, které jsou napadené touto chorobou mají značně snížený celkový výnos plodiny, což způsobuje velké problémy v zemědělském sektoru. Dalším negativním vlivem je velmi dobrá šířitelnost tohoto patogenu, neboť je přenášen zemědělskou technikou ve formě spor, jež mohou ulpět ve zbytcích půdy z infikovaného pole. Spóry tohoto patogenu dokáží přežít velmi dlouhou dobu, než se při vhodných podmínkách stanou opět aktivními. V České republice není přípravek, který by měl vysokou účinnost na snížení poškození rostlin, způsobené tímto patogenem. Jediný potenciálně účinný přípravek je v tuto chvíli sloučenina ethandinitril, která se řadí mezi toxické látky, ale nezůstávají po ní však rezidua a nepoškozuje ozónovou vrstvu Země, což je v současné době velmi aktuální téma. Tento přípravek má široké spektrum použití, například v boji proti kůrovci. Ethandinitril je fungicid, který produkuje česká firma Lučební závody Draslovka Kolín, s nimiž na vybraném testovacím území probíhaly pokusy zaměřené právě proti *Plasmodiophora brassicae*. V práci jsem se zabývala otestováním účinnosti ethandinitrilu proti nádorovitosti na rostlině řepky ozimé. Zjistila jsem, že tento přípravek dosahuje účinnosti na předmětný patogen.

**Klíčová slova:** *Plasmodiophora brassicae*, ochrana rostlin, fumigace

# New method of plant protection against *Plasmodiophora brassicae*

## Summary

*Plasmodiophora brassicae* is a very widespread plant pathogen worldwide, which attacks the root part of cruciferous plants. These plants are an important component of human and animal nutrition, and are also of great importance in the food industry. Plants affected by the disease have significantly reduced overall crop yields, causing major problems in the agricultural sector. Another negative effect is the very good spread of this pathogen, as it is transmitted by agricultural technology in the form of spores, which can stick to the remnants of the soil from the infected field. Spores of this pathogen can survive for a very long time before becoming active again under suitable conditions. There is no product in the Czech Republic that has a high effectiveness in reducing plant damage caused by this pathogen. The only potentially effective product at the moment is the compound ethanedinitrile, which is a toxic substance, but no residues remain and does not damage the Earth's ozone layer, which is currently a very topical issue. This product has a wide range of uses, for example in the fight against bark beetles. Ethandinitrile is a fungicide produced by the Czech company Lučební závody Draslovka Kolín, with which experiments against *Plasmodiophora brassicae* were carried out in a selected test area. In this work I tested the effectiveness of ethanedinitrile against cancer on the winter rape plant. I have found out if this medicine is effective against the pathogen in question.

**Keywords:** *Plasmodiophora brassicae*, plant protection, fumigation



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Vědecká hypotéza a cíle práce .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1</b>	<b>Čeleď brukvovité.....</b>	<b>8</b>
3.1.1	Morfologické znaky rostlin.....	8
3.1.2	Zástupce čeledi brukvovité .....	8
<b>3.2</b>	<b>Nádorovitost brukvovitých.....</b>	<b>15</b>
3.2.1	Taxonomie Plasmodiophora brassicae.....	17
3.2.2	Životní cyklus <i>P. brassicae</i> .....	17
3.2.3	Vývoj choroby .....	20
3.2.4	Symptomy napadení patogenem.....	20
<b>3.3</b>	<b>Ochrana před nádorovitostí .....</b>	<b>21</b>
3.3.1	Preventivní opatření .....	21
3.3.2	Agrotechnická opatření .....	21
3.3.3	Chemická ochrana.....	22
3.3.4	Fyzikální ochrana.....	22
3.3.5	Půdní solarizace .....	23
3.3.6	Biologické způsoby ochrany.....	23
<b>3.4</b>	<b>Ethandinitril (EDN) .....</b>	<b>24</b>
3.4.1	Fumigace.....	24
3.4.2	Chemické složení EDN.....	25
3.4.3	Využití ethandinitrilu v praxi.....	26
<b>4</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Inokulace pozemku <i>P. brassicae</i>.....</b>	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Příprava aplikace .....</b>	<b>28</b>
4.2.1	Vlastní aplikace EDN .....	29
4.2.2	Odvětrání po aplikaci.....	29
4.2.3	Kultivace hostitelských rostlin a vyhodnocení experimentu .....	29
<b>5</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Data experimentu .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Vyhodnocení experimentu.....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze.....</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

# 1 Úvod

Již v 1. století našeho letopočtu v přírodovědné encyklopedii Pliniuse staršího „*Naturalis historia*“ byl zmíněn patogen rostlin zvaný nádorovitost, kterým se tato práce zabývá. Následující záznamy o tomto patogenu jsou datovány ze 13. století. Je tedy patrné, že tento patogen oplývá vysokou odolností, jelikož se dokázal úspěšně rozšířit po celém světě, a i dnes ve 21. století je velmi významný, neboť stále nemáme účinné prostředky na potlačení jeho výskytu. Poprvé byl v České republice objeven jedním ze zakladatelů české fytopatologie F. Sitevským. První zmínky lokalizovaly výskyt patogenu kolem města Veselí nad Lužnicí. Napadenou rostlinou tehdy bylo zelí. V roce 1875 ruský vědec Woronin při svém zkoumání objevil původce nádorovitosti (Rod, 1996).

Rostlin čeledi brukvovitých (*Brassicea*) je rozlišováno 380 rodů s 3200 druhy jednoletých až vytrvalých rostlin. Jsou to rostliny, jež slouží primárně ke spotřebě v potravinářském průmyslu, neboť mají významné užitkové vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti řadíme například výrobu rostlinného oleje. V posledních několika letech se rostliny z čeledi brukvovitých začaly využívat také jako palivo, neboť produkty těchto rostlin jsou součástí nafty nebo benzínu. Mezi další vlastnosti těchto rostlin patří jejich vysoká předplodinová hodnota (Rod, 1996).

Jelikož jsou tyto rostliny v posledních letech vysoce ohroženy nádorovitostí, čímž klesá jejich výnosnost a snižuje se kvalita produkce těchto rostlin, bylo potřeba rostliny ochránit způsobem, který bude šetrný k přírodě a zároveň bude dostatečně účinný. Tato diplomová práce se zaměřuje na stanovení potřeby využít při získávání těchto rostlin přípravek *etandinitril*, neboť svými vlastnostmi zabráňuje všem vývojovým stádiím *Plasmodiophora brassicae* proniknout do rostliny a způsobovat značné škody (Rod, 1996).



## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Cílem práce bylo otestovat účinnost *Ethanidinitrilu* (EDN), jako nového fumigantu v zemědělství proti *P. brassicae*. Byla stanovena vědecká hypotéza: “Alternativní fumigant *Etandinitril* má účinnost proti *P. brassicae*.”

### 3 Literární rešerše

Čeď brukvovité patří do skupiny rostlin jednoletých a vytrvalých bylin (Grulich, 2012). V následující podkapitole jsem popsala samotnou čeď brukvovitých, jelikož tato skupina patří mezi významné hostitele *Plasmodiophora brassicae*, který na těchto rostlinách způsobuje závažné poruchy. Tento mikroorganismus patří mezi patogeny, které na rostlinách vytváří nádory, jež zabraňují rostlině v růstu a tím vznikají škody významným poklesem výnosu plodin. Vzhledem k tomu, že neexistuje ochrana, která by zamezila úplnému šíření tohoto patogenu, nepodařilo se zatím toto onemocnění eradikovat.

#### 3.1 Čeď brukvovité

Do čeledi brukvovitých rostlin patří velké množství vyšších dvouděložných rostlin, čítajících více než 4 000 druhů, spadajících do řádu brukvotvarých (*Brassicales*), třídy vyšší dvouděložné (*Rosopsida*), oddělení krytosemenné (*Magnoliophyta*), podříše cévnaté rostliny (*Tracheobionta*), říše rostliny (*Plantae*). Velké procento tvoří byliny, které mají jednoduché členěné listy a bílé, žlutě či purpurově zbarvené květy, jež jsou čtyřčetné (Grulich, 2012).

##### 3.1.1 Morfologické znaky rostlin

Z morfologického hlediska mají brukvovité rostliny obvykle jednoduché listy s členěnou čepelí, můžeme však nalézt i listy trojčetné. Vodní druhy zástupců této čeledi listy mívají dvoutvárné. Listy na lodyze jsou střídavé, u většiny druhů pak převládá přízemní růžice listů.

Květy těchto rostlin bývají uspořádány v hroznech, latách nebo chocholících, nicméně mohou růst i jednotlivě. Květenství je zpravidla oboupohlavné, čtyřčetné a pravidelné. Kalich je uspořádán ze čtyř volných kališních lístků, z nichž 2 jsou vakuovitě vyduté u vybraných druhů rostlin. V některých případech může dojít k absenci koruny, kterou standardně tvoří 4 volné lístky, či může být zakrnělá. Co se týče obsazení tyčinek, celkem jich je šest ve dvou kruzích, z nichž dvě vnější tyčinky jsou kratší oproti vnitřním. Dále se v rostlině nachází květní lůžko, kde jsou vyvinuté dvě rozdílně vytvořené nektarové žlázy (Grulich, 2012).

##### 3.1.2 Zástupce čeledi brukvovité

Nejvýznamnějším zástupcem této skupiny je brukev řepka olejka *Brassica napus* *Napus Group*. Co se týče celosvětové produkce, řadí se řepka na 3. místo mezi nejvýznamnějšími olejninami. Celosvětová produkce oleje je v posledních letech v rozmezí kolem 70 milionů tun semen za rok. Nejvýraznějším producentem je Evropská unie, která vyprodukuje za rok 22

milionů tun semen. V Evropské unii se i zpracovává. Kanada je druhým největším producentem, s množstvím 14 milionů tun semen za rok. Na třetím místě v této produkci je Čína s 12 miliony tun semen za rok (Volf, 2015). V České republice je řepka druhou nejvýznamnější plodinou První místo zde zaujímá pšenice ozimá (Zehnálek, 2016).

Řepka se vyskytuje se ve dvou formách, ozimá a jarní. Tato rostlina je velmi výrazně ojíňenou bylinou sivozelené barvy a má mohutný dřevnatý hlavní kořen. Výška rostliny se pohybuje v rozmezí 60 až 120 cm. Lodyha během vlastního růstu nedřevnatí, je rozvětvená a holá se střídavými listy. Spodní lodyžní listy jsou lírovitě peřenosečného tvaru a mají řapík. Horní listy jsou v porovnání se spodními přisedlé, vejčité a čárkovitě kopinaté. Květenstvím řepky je řídký hrozen. Ten postupně rozkvétá od spodní části směrem vzhůru. Korunní lístky jsou sytě žluté barvy. Tyčinky jsou čtyřmocné, tedy 4 tyčinky jsou delší a 2 jsou kratší. Plodem řepky je mírně zploštělá nebo válcovitá lysá šešule s 15 až 40 olejnatými semeny. Šešule jsou obvykle dlouhé 50 až 60 mm. Jsou odstávající od vřetene plodenství pod úhlem minimálně 45°. Semena řepky jsou kulatého až elipsoidního tvaru a o velikosti zhruba 2 mm. Doba kvetení je na jaře v dubnu až květnu (Baranyk P. et al., 2010, Hejný S. & Slavík B. et al. 1992).

Řepka olejka se pěstuje v hluboké půdě s neutrální až slabě bazickou reakcí. Dále je potřeba vysoká vodní kapacita na stanovišti, kde je průměrná roční teplota 7 až 9 °C a srážkami mezi 450 až 700 mm v nadmořské výšce do 650 metrů nad mořem. Dostupnost vody je pro rostlinu důležitá především v období po zasetí a při tvorbě semen. Řepka se řadí mezi náročné plodiny vlivem svých vysokých nároků na hnojení a živiny. Z tohoto důvodu není doporučeno osévat jedno pole řepkou častěji než jednou za čtyři roky. Pokud tento postup není dodržován, může dojít k vyčerpání půdy (Baranyk P. et al., 2010).

Ekonomické přínosy této rostliny jsou pro Českou republiku významné. Dalším kladem je její vysoká předplodinová hodnota, neboť vlivem tvaru kořenu, jež je kulovitý, pomáhá zlepšovat fyzikální vlastnosti půdy po celém orničním profilu. Dalším důležitým faktorem je kořenové vlášení, které je dobře rozvětvené a dlouhé. Tím je zajišťováno vázání živin a zabránění jejich vyplavení do podzemních vod. K předplodinové hodnotě napomáhá i skutečnost, že části rostliny zůstávají na poli rozprostřené jako organická hmota. Dále se řepka využívá jako rostlina pro přerušování obilných sledů, jež má fyto-sanitární účinky, což znamená, že podporuje odbourání únavy půdy a potlačení růstu plevelů (Baranyk et al., 2010).

### 3.1.2.1 Agrotechnické zásahy v porostu

Zásadní pro celou technologii pěstování řepky je správné založení porostu. Nejkritičtější část při zakládání porostu je dodržet agrotechnickou lhůtu výsevu a zajistit podmínky pro co nejrovnoměrnější vzcházení porostu (Baranyk et al., 2007).

Ve středních a vyšších polohách je největší produkce řepky. Zároveň se zde snadno půda zpracovává orbou. Pokud bychom zredukovali zpracování půdy, mohlo by dojít k většímu výdrolu a tím by se zvýšilo riziko přenosu chorob posklizňovými zbytky. Dále pokud je půda zpracována mělce, je též zvýšené riziko porušení řepky. Technologie bez orby je možná využít v oblastech, kde jsou půdy kamenité, těžké a obtížně zpracovatelné. Tyto půdy zároveň zaručují rovnoměrné vzcházení porostu (Baranyk et al., 2010).

Pro řepku je velmi významné hluboké zpracování půdy. Z tohoto důvodu i při využití bezorebné technologie se půda zpracovává do hloubky 15-25 cm, čímž je zajišťování provzdušnění profilu a nedojde tedy k omezení rozvoje kořenového systému (Baranyk et al., 2010).

Termín setí pro založení porostu má významnou roli pro dosažení správné růstové fáze a tvorbu dostatku asimilátů. Tyto látky jsou velmi důležité pro přezimování rostliny a také dobrou regenerační schopností na jaře. Za optimální dosažení růstové fáze se považuje 6-8 listů a tloušťka kořenového krčku 8-12 mm. Těchto parametrů rostlina dosáhne v případě, že je minimálně po 80 dnů průměrná denní teplota vyšší než 5 °C (Baranyk et al., 2007).

Co se týče ideální doby pro setí řepky ozimé, je to doba v rozpětí od 20. srpna. Toto platí pro výrobní oblast horskou a bramborářskou. Pro výrobní oblast kukuřičnou a řepařskou se termín pohybuje kolem 30. srpna. Dle dlouholetých zkušeností v podmínkách České republiky je vhod vysít řepku začátkem agrotechnického termínu. Je třeba však brát v potaz ranost odrůdy a také rychlost jejího podzimního vývoje. Pokud by docházelo k přerůstání, je mu možné zamezit regulátory růstu (Baranyk et al., 2007).

Pokud se zaměříme na podmínky České republiky, je zde standardní výsevek 3-4 kg/ha. Dodávky osiva jsou v tzv. výsevních jednotkách. Jejich obsah je 500 tisíc klíčivých hybridních semen. 700 tisíc klíčivých semen poté obsahují liniové odrůdy. Po přezimování by měl být standardní počet rostlin 30-40 m<sup>2</sup> u hybridních odrůd. U liových odrůd se počet liší o 10-20 m<sup>2</sup>. Porosty, které byly seté po agrotechnickém termínu je výsevek snižován o 10-20 %. Naopak u porostů, které byly zasety po agrotechnickém termínu, je výsevek zvyšován o 20 %. Pokud se podaří zajistit předepsaný výsevek, je to předpoklad pro kvalitního, správně

nastavitelného sečího stroje, jež ukládá semeno do připraveného seťového lůžka rovnoměrným způsobem. Standardně se vysévá namořené osivo do fungicidů. (Baranyk et al., 2010).

### 3.1.2.2 Hnojení a výživa rostlin

Již výše bylo popsáno, že řepka patří mezi rostliny, které jsou na živiny velice náročné. Ideální půdy jsou biologicky činné, obsahující neutrální až mírně alkalickou reakci. Pokud bychom porovnávali požadavky jiných plodin, například obilnin, zjistili bychom, že řepka má zhruba 2-3 x větší spotřebu živin oproti obilovinám. 1 tuna semene spolu s odpovídajícím množstvím slámy dokáže odčerpat průměrně 50 kg N, 10,9 kg P, 50 kg K, 45 kg Ca a 4,8 kg Mg. Dále má řepka významné nároky na síru, zinek a bór. Ve formě posklizňových zbytků se následně do půdy vrací významné množství organických látek a také živiny. (Hřivna, Malý 2012).

### 3.1.2.3 Řepkový olej

Olej je z výživového hlediska velmi významný. Pokud porovnáme jiné rostlinné oleje, řepkový olej má v obsahu nejméně nasycených mastných kyselin. Tyto nasycené kyseliny jsou významné především pro své negativní účinky na lidské zdraví, neboť zvyšují hladiny LDL cholesterolu v krvi. V oleji jsou obsaženy v dostatečném zastoupení esenciální polynenasycené omega-6 a omega-3 mastné kyseliny. Tyto látky jsou nezbytné pro správnou funkci lidského organismu (Suchý et al., 2008).

### 3.1.2.4 Negativní přínosy

Pokud není řepka správně pěstována, nejsou dodržovány osevnické postupy a časový odstup pěstování, zvyšuje se šance na rozmnožení půdních patogenů a také přemnožení škůdců. Doporučuje se tedy řádně dodržovat osevnické postupy, aby nedošlo k poškození půdy vlivem disbalance živin a zhoršení zdravotního stavu půdy. Pokud k nedodržení osevnických postupů dojde, je nutné brát v potaz vyšší náklady na ochranu půdy. Je tedy lepší těmto potížím předcházet. (Baranyk et al., 2010)

### 3.1.2.5 Choroby a škůdci a plevele řepky

Mezi choroby řepky můžeme zařadit bílou hnilobu řepky (*Sclerotinia sclerotinum*), dále fomové černání stonků řepky (*Leptosphaeria maculans*, *L. biglobosa*), listovou skvrnitost řepky (*Pyrenopeziza brassicae*), nádorovitost kořenů brukvovitých (*Plasmodiophora brassicae*), padlí brukvovitých (*Erysiphe cruciferarum*), plíseň brukvovitých (*Hyaloperonospora parasitica*), šedou plísnovitost brukvovitých (*Botryotinia fuckeliana*).

Obvyklými škůdci jsou Bejломorka kapustová (*Dasineura brassicae*), blýskáček řepkový (*Meligethes aeneus*). Blýskáček řepkový je z těchto škůdců nejzákladnější, jelikož škodí na naší nejvíce pěstované brukvovité plodině České republiky, řepce ozimé. Největší škody způsobují dospělci. Napadení blýskáčkem je vidět již na první pohled, kdy můžeme pozorovat vykousaná poupata, která následně opadávají. Tento okus je příčinou růstu zdeformovaných šesulí či jejich úplná absence. Pokud nastává chladné počasí, prodlužuje se rozvíjení pupat. Pokud během chladných dní dochází k opakovanému oteplení, blýskáčci velmi zvyšují svou aktivitu. Vlivem těchto brouků mohou ztráty dosahovat až na tři čtvrtiny sklizně. Doporučuje se tyto škůdce pozorovat kolem března, kdy vzduch dosahuje teploty kolem 9 stupňů Celsia. Mezi další druhy škůdců patří dále dřepčik olejkový (*Psylliodes chrysocephala chrysocephala*), dřepčici rodu *Phyllotreta*, krytonosec čtyřzubý (*Ceutorhynchus pallidactylus*), krytonosec řepkový (*Ceutorhynchus napi*), krytonosec šesulový (*Ceutorhynchus obstrictus*), krytonosec zelný (*Ceutorhynchus pleurostigma*), mšice zelná (*Brevicoryne brassicae*), osenice polní (*Agrotis segetum*), pilatka řepková (*Athalia rosae*), plzák španělský (*Arion lusitanicus*), slimáček polní (*Deroceras agreste*), slimáček síťkovaný (*Deroceras reticulatum*).

Problémem však může být i zaplevelení. V porostech řepky se prosazují hlavně jednoleté přezimující, ale i vytrvalé druhy plevelů. Mezi nejrozšířenější patří svízel přítula (*Galium aparine*) a heřmánkovité plevelle. Z dalších plevelů se místy prosazují mák vlčí (*Papaver rhoeas*), chrpa modrá (*Centaurea cyanus*), úhorník mnohodílný (*Descurainia sophia*), bolehlav plamatý (*Conium maculatum*) (Baranyk et al., 2010).

#### 3.1.2.6 Pěstování řepky s ohledem na škodlivé organismy

Jak již bylo popsáno výše v textu, pro řepku má velmi negativní vliv, pokud je pěstována po sobě, bez několikaletého rozestupu. Primárně je toto nedoporučováno z důvodu zvýšeného výskytu patogenů v půdě. V minulých letech bylo zemědělcům doporučováno, aby byla řepka zařazena do osevního postupu s přestávkou 6 až 7 let. Toto platilo do 17 % výměry plochy zemědělského podniku. V následujících letech došlo ke zvýšení úrovně chemické ochrany, což je důvodem, proč lze interval pro sázení řepky zkrátit, a je tedy možné ji vysadit opětovně po 4-5 letech, do výměry 25 % velikosti podniku.

Aktuální zastoupení řepky v České republice činí kolem 13 % výměry orné půdy. Musíme brát na zřetel, že některé zemědělské podniky řepku vůbec nepěstují, a naopak se zde můžeme setkat s podniky, kde pěstování řepky dosahuje výměry i přes 30 %. Bohužel zde

následně dochází k časté infekci půdy. Často v důsledku infekce půdy bývá v půdě hlízenka a verticiliové vadnutí. Nejedná se pouze o infekce, ale také o přemnožení škůdců, kteří parazitují na rostlinách řepky. Obvykle dochází k přemnožení dřepčků a krytonosců stonkových. Jedním ze zásadních patogenů řepky je zmíněný patogen *P. brassicae*, který způsobuje nádory na kořenech plodiny, vlivem čehož rostlina špatně vzchází a její výnos výrazně klesá (Baranyk et al., 2007, Vašák et al., 2000). Tento patogen je popsán v následujících kapitolách.

V osevním postupu je důležité se zaměřit na výběr předplodiny. Je nezbytné, aby daná předplodina mohla být vyseta v agrotechnickém termínu. Vhodnou předplodinou jsou například rané brambory, hrách a ozimé směsky. Aktuálně je výběr předplodiny omezen jen na obilniny. Z těchto druhů se nejvíce využívá ozimý ječmen a raná pšenice (Vašák et al., 2000).

Pokud si zemědělský podnik vybere obilninu jako předplodinu, je důležité brát v potaz následující kritéria:

- **Výskyt obilního výdrolu** – zamezit výdrolu je důležitým bodem, kterému by se měl zemědělec věnovat, neboť tvoří velký konkurenční tlak během doby, kdy řepka začíná vzcházet. Je potřeba klást důraz na včasnou aplikaci graminicidu.
- **Velký objem posklizňových zbytků** – pokud se na půdě vyskytnou ve velkém množství zbytky slámy, dochází k imobilizaci dusíku a půdní vlhkosti, což má za následek pomalejší vzcházení řepky. Z tohoto důvodu se doporučuje pro urychlení rozkladu slámy před zapravením do půdy, dodat půdě 10 kg dusíku na 1 tunu slámy.
- **Rezidua herbicidů** – řepka má vysokou citlivost na herbicidy, které patří do skupiny sulfonyl močoviny. Tyto látky se při pěstování obilí využívají k ochraně před plevele (Baranyk et al., 2010).

### 3.1.2.7 Řepka jako předplodina

Vzhledem k tomu, že má řepka velkou předplodinovou hodnotu, hraje významnou roli v osevních postupech mnoha zemědělských podniků. Její předplodinová hodnota je dána jejím celoročním vlivem porostu, který má vysokou pokryvnost listoví a svým kořenem, jež je velmi rozvětvený, má vliv na fyzikální vlastnosti půdy pro celý orniční profil. Dalším důležitým hlediskem je i fakt, že větší množství organické hmoty, kde se nachází množství živin v podobě posklizňových zbytků zůstává na půdě. Pokud se řepka sklídí časně, je možné zařadit do osevního postupu nejvíce produktivní obilniny, například pšenici. Řepka se následně využívá také jako přerušovač sledů obilí a má fyto-sanitární účinky na pole. Výrazný vliv má, co se týče omezení pro výskyt určitých onemocnění rostlin, například pat stébel, stéblolam a v neposlední řadě též fuzariózy (Fábry et al., 1992).



### 3.2 Nádorovitost brukvovitých

Nádorovitost (boulovitost, *Plasmodiophora*) se řadí mezi nejstarší, nejrozšířenější a nejzávažnější choroby brukvovitých plodin. Původcem této choroby je mikroorganismus *Plasmodiophora brassicae*. Tato choroba napadá okolo 300 botanických druhů rostlin. Mezi její hostitele patří kulturní i plané druhy rostlin z čeledi brukvovitých. V České republice se nádorovitost vyskytuje po celém území (Rod, 1992).

Dle Roda, (1992) byl mezi lety 1984 až 1986 v celém tehdejší Československu proveden podrobný výzkum. Nejvíce zasažená oblast se nacházela v nejproduktivnějších zelinářských oblastech. Ve středních Čechách byl evidován výskyt v okresech Benešov, Kolín, Beroun, Praha – východ, dále na jižní Moravě v okresech Břeclav, Hodonín, Uherské Hradiště, a také v okrese Havlíčkův Brod, Vsetín, Třebíšov. Největší výskyt *P. brassicae* byl u kvěťáku, hlávkového zelí, kapusty, kedlubnu a řepky. Zamoření dosahovalo 1,4 % ploch z celkové výměry brukvovitých plodin. Plocha zamořená tímto patogenem byla přibližně 15 – 20 tisíc hektarů. Z ekonomického hlediska se jednalo o ztráty přibližně 50 milionů korun. Výzkumem bylo dále zjištěno, že největších ztrát na výnosech dosahovaly plodiny ve vyšších polohách s průměrnou teplotou vzduchu. Patogen se vyskytuje na všech typech půd, avšak napadení je nejsilnější na hnědozemích až černozemích. Aktuálně jsou nejvíce zasažené oblasti jsou okresy Mělník, Litoměřice, Pardubice, Hradec Králové, Olomouc, Prostějov, Brno, Liberec a Ostrava. Největší výskyt uvedeného patogenu se od roku 2019 nachází v oblasti Ostravy. Na tuto situaci může mít vliv vzrůstající trend pěstování řepky, který je s posledních několika letech evidován.

*P. Brassicae* svým výskytem obsáhla téměř celou Zemi, nicméně ne na všech územích způsobuje stejné škody. V Asii je její výskyt běžný ve státech Blízkého Východu jako je Izrael, Turecko, Írán, Írán, Jordánsko, a také na Dálném Východě v Japonsku, Číně, Malaisii, Tchaj-vanu a na Filipínách. V Americe je největší negativní vliv tohoto patogenu v USA, Kanadě, Argentině a Venezuele. Afrika má výskyt převážně v jižních a severních oblastech. Dle Československé vědecké společnosti pro Mykologii při ČSAV (Rod, 1992). byl v roce 1982 proveden výzkum výskytu nádorovitosti v 16 státech, které se zabývají pěstováním brukvovitých plodin na ploše 6 milionů hektarů. Napadení nádorovitostí bylo prokázáno na 200 tisících hektarech. Nejméně byla zasažená zemědělská plocha v Kanadě a nejvíce ve Skotsku a Walesu. Celkově dochází k nárůstu ploch po celém světě, které jsou tímto patogenem zamořeny. Hlavní příčinou tohoto jevu je zvětšování ploch brukvovitých plodin. Dalším vlivem je také zkracování osevních postupů a okyselování půd (Rod, 1992).

Nádorovitost brukvovitých je způsobena patogenem, zvaným *Plasmodiophora brassicae*. Ačkoli dříve byla nádorovitost problémem především zelinářství (Rod, 1996), v posledních několika letech se choroba velmi dobře šíří i na ozimé řepce. V roce 2011 byla zaznamenána první hlášení o výskytu nádorovitosti na řepce. Předpokládá se, že patogen je velmi rozšířený po celé České republice. Jeho výskyt však záleží na klimatických podmínkách, které jsou specifické pro výskyt symptomů. Významnou roli hrají klimatické podmínky během doby setí (Gossen et al., 2012).

V celosvětovém měřítku produkce řepky olejky dosahuje 10–15 % ztráty zapříčiněné právě tímto patogenem. Je tedy významným škůdcem pro zemědělské plodiny. Potenciálním hostitelem může být v podstatě každý druh, patřící do čeledi brukvovitých, a to i druhy plevelné. Tato choroba se převážně vyskytuje v mírném pásu Evropy a Asie (Dixon, 2009 a).

Škody na výnosech ozimé řepky zatím nejsou příliš vysoké, pravděpodobně z důvodu nízkého množství inokula a s tím spojené nerovnoměrné zastoupení na polích touto chorobou postižených. To znamená, že na území naší republiky je tento patogen v počátečním stádiu kolonizace. Přesto bylo zaznamenáno mnoho případů, kdy došlo ke zničení celé sklizně řepky. Situaci není možné podceňovat, neboť prozatím neexistuje žádný prostředek, který by byl ekonomicky dostupný, jednoduchý na výrobu a v neposlední řadě také šetrný vůči životnímu prostředí. Možným řešením by bylo využití rezistentních odrůd řepky, které byly vyšlechtěny proti nejčastějším patotypům patogenu. Problém nastává ve chvíli, kdy se na odolnou odrůdu dostane patogen, proti kterému není rostlina rezistentní, jelikož populace nádorovitosti jsou velice různorodé. Je tedy možné, že se na jediném pozemku může současně vyskytovat více typů patogenních organismů. Na tyto patogeny nemusí odolná odrůda rostliny reagovat rezistentně, což znamená, že může být rezistentní rostlina napadena jiným patotypem (Diederichsen et al., 2009).

V případě pěstování odrůd, které jsou rezistentní, na zamořených pozemcích, je nezbytné dodržování osevního postupu. V praxi to znamená, že rezistentní odrůdy se nesmějí sít častěji než jednou za tři roky. V opačném případě by mohlo dojít k prolomení rezistence. Významné je také využívání podpůrných opatření, mezi které patří podryvání a prokypřování půdy a hubení plevelů brukvovitých rostlin. Plevelé mohou být potenciální zásobárnou pro infekce a zvyšování pH vápněním (Diederichsen et al., 2009).

### 3.2.1 Taxonomie *Plasmodiophora brassicae*

Vzhledem ke stále se vyvíjejícímu oboru taxonomie není jednoduché tento patogen zařadit. Původně byla *Plasmodiophora brassicae* zařazena podle Gaumannova do systému mezi houby (*Mycetes*), třída *Archimycetes*, čeleď *Plasmodiophoraceae*. Následně byla *P. brassicae* zařazena dle Arxova taxonomického systému do oddělení hlenek (*Myxomycota*), třídy *Plasmodiomycetes* (nádorovky) (Hwang et al., 2012).

*P. brassicae* **Woronin**, patří mezi půdní patogeny, superskupina *Rhizaria*, kmen *Cercozoa*, třída *Plasmodiophora*, řád *Phytomyxea* (Hwang et al., 2012).

### 3.2.2 Životní cyklus *P. brassicae*

Životní cyklus *P. brassicae* je možné rozdělit na fázi primární a sekundární (Ayers, 1944; Ingram et Tommerup, 1972).

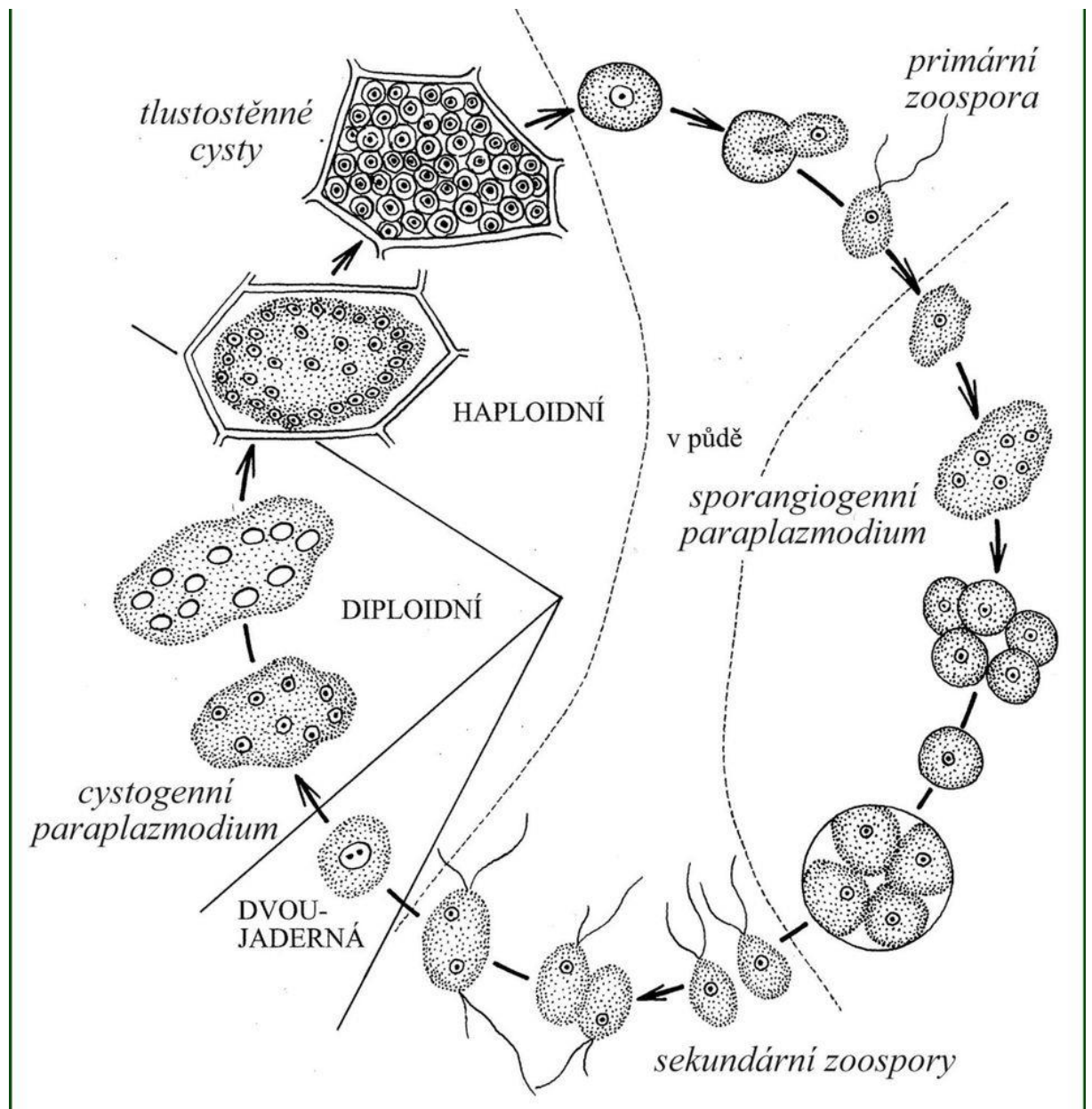
Cyklus začíná haploidními trvalými spory, které dosahují velikosti 2,4 – 3,2  $\mu\text{m}$ . Spóry mají v půdě velmi dlouhou životnost, což je důvodem, proč je tento patogen náročné dostat pod kontrolu. Spóry mají vitalitu 15–20 let a největší množství se vyskytuje v půdním profilu v hloubce 15 cm, avšak mohou být přítomny až do hloubky 40 cm. Tyto dlouho žijící spory v půdě vyklíčí, pokud jsou probuzeny k činnosti teplotou půdy, správnou vlhkostí pH. Vlivem tohoto procesu dochází k uvolňování pohyblivých zoospor. Zoospory jsou hruškovitého tvaru a mají dva rozdílně dlouhé bičíky, které jim umožňují pohyb v půdě. Tyto zoospory následně vyhledávají kořenové vlášení, které mohou napadat pomocí speciálního bodce a tímto způsobem velmi rychle penetrují do jejich buněk (Wallenhammar, 1996).

. Takto dochází k primární infekci (Ayers, 1944). Po proniknutí do hostitelských buněk následuje vývoj a zoospory, které pronikly do buněk začnou s přeměnou v haploidní jednobuněčné primární plasmodium. Plasmodium má na počátku pouze jedno jádro, je ale schopno pronikat z buňky do buňky. Během pronikání v sobě plasmodium hromadí tuková tělíska, která pocházejí z buněk hostitele, čímž dochází ke zvětšování jeho povrchu a následně dochází k miotickému dělení, přičemž se diferencuje v mnohjaderné primární plasmodium. Fáze primární je schopna probíhat u odrůd, které jsou k tomuto patogenu náchylné, může však probíhat i u druhů rezistentních. Následně se okolo jader shlukuje plazma a poté se jádra osamostatňují, čímž vytvoří jednobuněčná gametangia. Uvnitř gametangií se diferencují gamety, obvykle 4 až 8 v každé gametangii. Gamety vytvoří bičíky a dochází ke vzniku sekundární zoospory. Tyto sekundární zoospory jsou totožné s primárními.

Sekundární zoospory jsou uvolňovány z kořenových vlásků do půdy, čímž se ukončí primární cyklus (Hwang et al., 2012).

Primární fáze standardně trvá 5 až 7 dní a je typická u všech brukvovitých rostlin (Chytilová, Dušek, 2007). V půdě poté dochází k pohybu sekundárních zoospor, jež začnou pronikat do vlásečnicových kořenů. Tímto způsobem dochází opět k primárnímu cyklu. Sekundární plasmodia penetrují buňky kořene a přes vodivé pletivo se dále šíří do jiných pletiv. V rostlině začíná tvorba cytokininů a auxinů, které inhibuje produkce těchto látek plasmodiem. Tento proces způsobuje hypertrofii a hyperplasii. Těmito výrazy označujeme nadměrné zmnožení a zvětšení buněk, v důsledku čehož vzniká nádorovitost kořenů. Poté dochází k tvorbě trvalých spor, které mají velmi tlustou stěnu a vyplňují tak buňky zduřelých pletiv (Ayers, 1944). Postižené buňky se vyznačují zvýšenou aktivitou nitrolázy a katalázy, poté následuje i zvýšení obsahu proteinů. Vlivem těchto procesů je snížen obsah redukcujících cukrů a sušiny v rostlině. Vývojový cyklus je uzavřen proniknutím trvalých spor do půdy (Hwang et al., 2012).

Tato sekundární fáze neprobíhá u rezistentních odrůd, jak tomu bylo u primární infekce. Nevznikají tedy nádory (Hwang et al., 2012). Celý vývojový cyklus *P. brassicae* je graficky znázorněn na Obrázku č. 1. na následující stránce.



Obrázek č. 1, životní cyklus *P. brassicae*. Zdroj: (Urban, Kalina, 1980)

### 3.2.3 Vývoj choroby

*P. brassicae* působí na rostliny tím, že vytváří nádory a různé deformace na kořenech rostlin, které jsou napadeny. Následně způsobí extrémní zvětšení buněk kořenu, což následně vede k tvorbě nádoru (Hwang et al., 2012).

Zpočátku se poškození projevuje na postranních kořenech. Rostliny, jež jsou výrazně napadeny mají zcela zdeformovaný hlavní kořen. V kořeni dále dochází k destrukci vodivých pletiv, a tím pádem je u rostlin narušen transport vody a živin. Kořeny tedy nemohou dále plnit svou funkci. Dochází ke žloutnutí listů, jejich vadnutí a někdy je možné pozorovat zbarvení listů antokyany. Takto zdeformovaná rostlina není schopna přežít zimní období. Poté co rostlina uhynie, nádory se začnou rozpadat a začnou do půdy uvolňovat spory, kterých je obrovské množství. V pouhém jednom gramu nádorů jich může být až několik miliard (Dixon, 2009 b).

### 3.2.4 Symptomy napadení patogenem

Nejvíce viditelným symptomem na rostlinách jsou výrazně zvětšené kořeny, které jsou také deformované. Ke vzniku nádorů dochází typicky na hlavních i vedlejších kořenech, ale je možné je vidět i na části stonku těsně pod vrchní vrstvou půdy či na listech. Dle vlastností kořenového systému se odvíjí tvar nádorů, kterých existuje několik typů:

- a) **Vřetenovitý tvar** – tento tvar lze vidět u zelí či květáku na hlavních i vedlejších kořenech.
- b) **Perličkovitý tvar** – u tuřín a vodnice se vyvíjí nádory na postranních kořenech
- c) **Kulovitý tvar** – ředkvičky a kedlubny mohou mít vlivem nádorů deformované bulvy.

Nádory jsou v první fázi svého vývoje na povrchu šedavě žluté barvy, uvnitř při průřezu útvarem jsou bílé barvy. V průřezu se nenachází žádné dutiny, vnější část je plně dužnatá a v pozdější fázi začíná docházet k dřevnatění. Následně povrch začne hnědnout a má drsnou strukturu. Na konci svého růstu se začnou rozpadat (Dixon, 2009 b).

### **3.3 Ochrana před nádorovitostí**

Chránit brukvovité plodiny před nádorovitostí je velmi složité. Nádorovitost způsobuje velké ztráty na výnosech a velice jednoduše se šíří. Trvalé spory jsou velmi odolné před ochrannými opatřeními, pokud jsou tato opatření aplikována samostatně. Taková opatření budou vždy nedostatečná či absolutně neúčinná. Z těchto důvodů je potřeba se zaměřit na prevenci proti šíření této choroby, aby nedošlo k zamořování dalších zemědělských pozemků. V případě, že je plocha již zamořená, provádí se komplexní ochrana, která je založena na kombinaci agrotechnických, chemických biologických a fyzikálních opatření (ÚKZÚK, 2021).

#### **3.3.1 Preventivní opatření**

Toto opatření spočívá v eliminaci všech možných způsobů, jak by se mohla rozšířit nádorovitost na nezamořené plochy. Obvykle je nádorovitost přenášena na nezasazené pozemky sadbou infikovaných rostlin. Takové rostliny nemusí mít na první pohled zřejmé symptomy nákazy. Infikované mohou být nejen rostliny, ale také kompost, substrát, kejda či orniční skrývka. Tyto produkty bývají častou příčinou zamoření půdy. Je nutné dávat pozor na důkladně očištění zemědělské mechanizace, náradí a obuvi, neboť k přenosu infekce může dojít i tímto způsobem. V neposlední řadě je nutné zamezit využívání závlahové vody z nádrží, které jsou vystavené vodě z pozemků již infikovaných (ÚKZÚK, 2021).

#### **3.3.2 Agrotechnická opatření**

Nejdůležitější předpoklad pro zamezení zamořování půd spočívá ve vyřazení hostitelských rostlin z osevního postupu v infikovaných půdách. Vzhledem k tomu, že toto opatření není zcela možné dodržet, je nezbytně nutné upravit osevní postupy takovým způsobem, aby časový rozestup mezi brukvovitými plodinami byl minimálně 5 až 6 let. Půdy, které se nacházejí na vlhčích stanovištích, mají ideální podmínky pro šíření choroby. Je tedy nezbytné tyto plochy odvodnit. Dále je důležité odstraňovat plevele brukvovitých, jelikož na nich patogen dobře prosperuje. Je potřeba také odstranit infikované zbytky rostlin dříve, než začne docházet k rozpadům nádorů. Významnou roli má na kyselějších půdách také úprava půdních reakcí pomocí vápnění půdy na pH neutrální až slabě alkalické (ÚKZÚK, 2021).

Pokud jsou vybrány vhodné odrůdy rostlin, které jsou rezistentní či tolerantní, je možné snížit vliv infekce na výnos. V současnosti je bohužel sortiment tolerantních odrůd velice omezený. Důležitá je také výživa rostlin. Správná a vyvážená výživa dokáže zvýšit odolnost rostlin. S vyváženým poměrem živin dokáží lépe vzdorovat chorobám, včetně nádorovitosti.

Toleranci vůči infikování nádorovitostí je možné zvýšit dostatečným zásobením dusíkem a také vyšších dávek mikroprvků jako například bor, mangan, zinek, síra, měď a také chlor (ÚKZÚK, 2021).

### 3.3.3 Chemická ochrana

Využívání chemických prostředků k ochraně rostlin je problematické, jelikož mnoho z testovaných přípravků na fungicidní bázi má velmi nízkou nebo žádnou účinnost na omezení nádorovitosti. Fungicidní přípravky, které mají dobrou účinnost jsou často velmi fytotoxické a tedy nevhodné k využití. Také jsou ekonomicky velice nákladné, a proto je jejich použití pouze ve značně omezené míře. V České republice je povoleno použití tzv. Basamid granulát, který obsahuje účinnou látku dazomet 97%. Protože je ekonomicky velmi nákladný, jeho použití v praxi je značně omezené (Kazda et al. 2013).

Pokud porovnáme povolení využití fungicidů k ochraně rostlin v České republice s ostatními státy, v Kanadě je možné využívat i přípravky Terraclor 75 WP nebo Terraclor F, které také dokáží redukovat výskyt nádorovitosti. Taktéž se v Kanadě využívá přípravek Omega, ten poskytuje ochranu kvěťáku na půdách bohatých na organické látky, což je převážně humus. Pokud by se tento prostředek využil na minerálních půdách, působil by fytotoxicky. V USA lze fumigaci provést přípravky Vapam nebo Sectagon, kterými se provede postřik půdy a poté se do půdy zapraví rotavátorem. Vapam je širokospektrý fungicid kapalného skupenství. Legislativní předpisy však neumožňují prodej mimo Ameriku. Dále bylo v Britské Kolumbii a Kanadě prokázáno, že fungicid Ranman nevykazuje známky fytotoxicity a je vhodný k ochraně proti nádorovitosti formou půdní fumigace, což znamená, že se plynným přípravkem ošetří daná půdní plocha (ÚKZÚK, 2021).

### 3.3.4 Fyzikální ochrana

Mezi fyzikální metody ochrany rostlin je zařazováno propařování půdy. Po dobu trvání minimálně 30 minut je zemina vystavována teplotě nejméně 90 stupňů celsia. Standardně propařování probíhá pod plachtami. Nevýhodou této techniky je vysoká ekonomická náročnost a z tohoto důvodu je možné tento způsob využívat pouze na omezené plochy (ÚKZÚK, 2021).



### 3.3.5 Půdní solarizace

Při metodě půdní solarizace je využito slunečního záření. Metoda pochází z Izraele a v dnešní době je stále využívána například v Kalifornii, Itálii, také na Floridě a dalších oblastech, kde je vysoká intenzita slunečního záření a léto s vysokými teplotami. Zemina je zakryta na dobu 3 až 4 týdnů transparentní folií. Za působení slunečního záření takto dochází ke zvyšování teploty půdy pod folií. Dochází zde k fyzikálně-chemickým a také následně biologickým procesům, jež mají za úkol redukovat patogeny v půdě. Tato metoda není v naší zemi dobře proveditelná, jelikož zde v létě nedosahujeme tak vysokých teplot, z důvodu nižší intenzity slunečního záření (ÚKZÚK, 2021).

### 3.3.6 Biologické způsoby ochrany

Biologický způsob ochrany rostlin spočívá ve využití biologických agens. Mezi tyto agens patří například *Trichoderma* spp., *Streptomyces* spp., *Pythium oligandrum*, *Bacillus subtilis*. V praxi se však tato ochrana nejeví jako slibná, jelikož pouze některé izoláty *Trichoderma* spp. byly vhodné pro biologickou ochranu. Prokázalo se omezení výskytu nádorovitosti na kořenech, čímž se zvýšila finální hmotnost rostliny (ÚKZÚK, 2021).

Významným opatřením v biologické ochraně je využití předplodin, které dokáží inhibovat vitalitu spór v půdě. Mezi tyto předplodiny patří například máta peprná (*Mentha piperita*), saturejka zahradní (*Satureja hortensis*), tymián obecný (*Thymus vulgaris*). Dalšími pomocnými plodinami jsou tzv. vylapávací plodiny. Tyto rostliny stimulují vyklíčení trvalých spor. Tyto spóry následně infikují kořenové vlásky a proběhne zde první vývojový cyklus. Druhý cyklus již neproběhne a nádory se tedy nemohou vyvinout. Nejvíce vhodnou rostlinou pro tuto funkci je ředkev olejná (*Raphanus sativus* var. *oleifera*). Ředkev je rezistentní vůči veškerým patotypům *P. brassicae*. K tomuto účelu je možno využít i jiné plodiny, které nepatří do čeledi brukvovitých, například jílek vytrvalý (*Lolium perenne*) nebo oves setý (*Avena sativa*) (ÚKZÚK, 2021).

### 3.4 Ethandinitril (EDN)

Ethandinitril vznikl jako alternativa k methylbromidu, proti kterému je šetrnější k ozónu. Mezi jeho výhody lze zařadit lepší penetrační vlastnosti, vyšší účinnost a také kratší dobu aplikace. Dále omezuje rizika šíření škůdců a chorob v zemědělském a dřevařském průmyslu. Je možné ho využít například ke sterilizaci půdy a také k ochraně proti hmyzu, patogenům, hád'átkům a plevelům před výsadbou krycí plodiny. Využívá se jako fumigant vytěženého dřeva. Vzhledem k jeho výborným penetračním vlastnostem a vysoké účinnosti je využíván pro eliminaci dřevokazného hmyzu ve dřevě, a také pro eliminaci patogenů a hád'átek v půdě (Draslovka Services Group, 2019). Jako fumigant definujeme vysoce toxickou plynnou látku, jejíž aplikace se řídí zvláštními bezpečnostními předpisy, další informace o fumigaci jsou popsány v následující podkapitole.

#### 3.4.1 Fumigace

Fumigace, jinak řečeno plynování, patří mezi jednu z nejvíce účinných metod, kterou je možné zničit škůdce různého původu, hmyz napadající dřevo a roztoče. Také dokáže zamezit šíření cizopasníků na obilovinách, luštěninách, ovoci, ale i koření apod., které jsou již uskladněny. Cílem fumigace je tedy potlačení či úplná likvidace původců houbových onemocnění rostlin a dalších patogenních organismů (Draslovka Services Group, 2019).

Výhodou fumigantů je jejich schopnost proniknout do hostitelského cíle a tam zničit veškerá vývojová stádia všech škůdců, bez zbytků rezidua. Plyny, které se k této metodě využívají jsou fosforovodík a kyanovodík. Po aplikaci fumigantu je nutné objekt dostatečně odvětrat (Draslovka Services Group, 2019).

Pro použití této metody je potřeba splnit nahlašovací povinnost na místně příslušné hygienické stanici, dále musí být splněny požadavky na informovanost občanů, například instalace výstražných cedulí okolo objektu.

Jako fumigant lze označit látku, která se v běžných atmosférických podmínkách vyskytuje jako plyn. Plyny jsou všeobecně považovány za vysoce toxické látky, a proto je veškerá manipulace s těmito prostředky řízena zvláštními předpisy. Lidé, kteří pracují s těmito látkami musí být způsobilí, dle zákona 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, k provádění fumigace (BAUR, 1984).

Fungicidy je možné rozdělit dle účinnosti na kontaktní, systémové a mesostemické. Kontaktní fungicidy fungují jako preventivní ochrana a pouze na konkrétním místě, na který

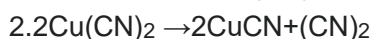
byl přípravek nanesen. Jejich výhodou je, že díky lokální aplikaci nevzniká rezistence a mají delší ochrannou lhůtu. Systémové fungicidy jsou rozváděny na celou plochu zasažené rostliny a působí tedy i mimo přímý zásah danou látkou. Také je tento způsob aplikace náchylný ke vzniku rezistence. Posledním typem dle účinnosti jsou fungicidy mesosystemické, jinak řečeno translaminární. Tyto přípravky nejsou rozváděny po celé ploše rostliny, ale dochází k průniku do pletiv přes mezibuněčné prostory na neošetřenou stranu rostliny (Prokop M., 2017).

Hlavní fumigant, který se nejvíce využívá je fosforvodík  $\text{PH}_3$  a kyanovodík (HCN). Dále zde nalezneme také metylbromid  $\text{CH}_3\text{Br}$  (Prokop M., 2017).

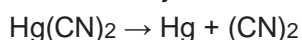
### 3.4.2 Chemické složení EDN

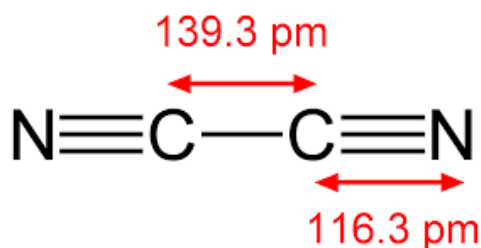
Dikyan nebo také oxalonitril  $(\text{CN})_2$ , zkratka EDN patří do skupiny kyanových sloučenin. Kyanové sloučeniny jsou vyznačovány jednomocným radikálem-CN anebo také aniontem  $\text{CN}^-$ . Atomy uhlíku této sloučeniny jsou spojeny trojnými vazbami s atomy dusíku. K první syntetizaci tohoto plynu došlo v roce 1815 Josephem Louistem Gayem-Lussacem, od něhož také pochází slovo “*cyanogene*“. Ethandinitril se nachází v plynném skupenství a je prudce jedovatý. Má specifickou vůni připomínající hořké mandle. Teplota varu tohoto plynu je  $-20,7$  stupňů celsia. Tento plyn je velmi dobře rozpustný ve vodě a také v ethanolu. Při spalování za zvýšeného tlaku spolu s kyslíkem vznikne plamen namodralé barvy, s teplotou  $4\ 800$  stupňů celsia (Draslovka Services Group, 2019).

Dykian se standardně připravuje pomocí reakcí koncentrovaných roztoků síranu měďnatého a kyanidu draselného. Kyanid měďnatý, který vznikl během první fáze přípravy se samovolně rozloží ve druhé fázi. Chemický vzorec ethandinitrilu je znázorněn na Obrázku č. 2 na následující stránce.



Ethandinitril je možné také připravit pomocí rozkladu kyanidu rtuťnatého.





Obrázek č. 2, chemický vzorec ethandinitrilu

Plyn je přepravován v tlakových lahvích z ocele, které jsou vybaveny dvouportovým ventilem, jež chrání ocelový klobouk. Aby nedocházelo k úniku plynu, jsou na obou portech ventilu připevněny plynotěsné zátky. Tyto zátky slouží rovněž jako ochrana proti mechanickému poškození závitů.

### 3.4.3 Využití ethandinitrilu v praxi

EDN (ethandinitril) může být potenciálně přínosný v podobě multifunkčního fumigantu a insekticidu pro široké spektrum aplikací, například fumigace půdy, obilí, dřeva a také se dá využít proti množství škůdců jako je hmyz, háďátka a houby. Předběžnými studiemi bylo zjištěno, že tento plyn má vysoký toxický účinek na veškerá stádia testovaných druhů hmyzu. Je velice účinný podobně jako methylbromid, ten byl ale celosvětově zakázán Vídeňskou úmluvou na ochranu ozónové vrstvy. Tato úmluva byla sjednána 22. března 1985 ve Vídni. V platnost celosvětově vstoupila 22. září 1988. V České republice došlo k ratifikaci 1. října 1993. V platnost v České republice vstoupila 1. ledna 1993. Vídeňská úmluva byla upravena prováděcím Montrealským protokolem, který byl sjednán 16. září 1987. Přistoupilo k němu 189 států, mezi nimiž je i Česká republika a Evropské společenství. Vídeňská úmluva s Montrealským protokolem spolu s jeho změnami byly vyhlášeny ve Sbírce mezinárodních smluv, č. 108 až 113/2003 Sb. m. s. (Achrer J. et al., 2007).

Oproti methylbromidu má EDN výhodu v rychlosti pronikání do dřeva. Doba expozice u dřeva činí od 10–24 hodin. Využívá se například v boji proti chorobě, která je způsobená hnilobou dřevěného uhlí. Přípravek je využíván v Austrálii a je schválen Australian Pesticide Veterinary Medicine Authority (APVMA). Začátkem roku 2018 byl EDN <sup>TM</sup> schválen v Austrálii s cílem ošetření půdy a kontroly chorob, které jsou přenášeny půdou. Jedná se především o hlístice a plevele. Dále se využívá ke zvýšení výnosů u ovoce, zeleniny a okrasných plodin (Draslovka Services Group, 2019).

Také byl přípravek schválen k fyto-sanitární léčbě na kontrolu dospělého *Arhopalus* na dřevěné výrobky pro export do Austrálie. Schválení EDN pro rostlinolékařské ošetření proběhlo mezi Austrálií a Novým Zélandem (Draslovka Services Group, 2019).

Probíhající studie na zjišťování účinnosti EDN jsou prováděny pro tři hlavní škůdce dřeva, kterými jsou *Arophalus fesus*, kůrovec zlatý *Hylurgus ligniperda* a kůrovec černý *Hylastes ater*. Společností Pland and Food Nový Zéland byly prováděny rozsáhlé laboratorní a polní studie, během kterých byly využity laboratorní vzorky. Další studie jsou prováděny výzkumným zařízením USDA APHIS – PPQ a FPInnovations Canada, které mají za účel získat schválení EDN pro ochranu před hlísticemi ze dřeva borovic. Na FPInnovations jsou prováděny studie dalších patogenů, kterými jsou hniloba kořenů či stonků (*Heterobasidion annosum*), náhlá dubová smrt (*Phytophthora ramorum*) a dubová vadnutí (*Cerarocystis fagacearum*). (Draslovka Services Group, 2019).

Výhodou jeho využívání je, že okamžitě dokáže zahubit veškerá vývojová stadia škůdců, tedy vajíčka, larvy, kukly a dospělé. EDN v přírodě nezanechává toxická rezidua. Po aplikaci dojde k odvětrání, během kterého se plyn samovolně rozkládá vlivem reakce se vzdušnou vlhkostí. Konečnými produkty rozkladu jsou oxid uhličitý, čpavek a voda. Tento plyn je významný, neboť i přes svou účinnost nerozkládá ozónosféru, a to ani svými konečnými produkty rozkladu (Stejskal et al., 2020).

Účinky tohoto plynu spočívají v blokaci cytochrom c oxidázy, brání tedy buněčnému dýchání. U lidí a živočichů dochází k vázání na hemoglobin, který váže vzdušný kyslík a touto cestou je roznášen po organismu. Pokud se EDN naváže na hemoglobin, kyslík se nemá kde navázat a dochází k zamezení produkce kyslíku do organismu. Při manipulaci s tímto plynem je potřeba dodržovat bezpečnostní předpisy a mít ochranné pomůcky, kterými je například maska na obličej, aby se zamezilo vdechnutí tohoto plynu (Stejskal et al., 2020).

## 4 Metodika

Polní pokus měl otestovat vliv aplikace EDN na patogen způsobující nádorovitost brukvovitých formou inokulace osiva patogenem a následné zapravení do půdy, kde došlo k fumigaci přípravkem.

Na pokusném místě byl pokus proveden se dvěma kontrolami na čtyřech řádcích. První z kontrol čítajících celkem 60 kusů rostlin bylo bez využití ethandinitrilu, druhá kontrola byla s přikrytím fólie, aby pro rostliny byly zachovány stejné podmínky, taktéž bez použití ethandinitrilu, bylo použito stejné množství rostlin. Na třetím řádku byly rostliny ošetřeny 30 g/m<sup>2</sup> půdy ethandinitrilem a na čtvrtém řádku 50 g/m<sup>2</sup>. Sledován byl počet hálek na kořenech rostlin.

K aplikaci byl použit fumigant EDN, jehož jediným globálním dodavatelem je společnost Lučební závody Draslovka a.s. Plocha ošetřená fumigantem byla během fumigace přikryta fólií. Následně došlo k odkrytí fólie a odvětrání, abychom mohli rostliny bezpečně odebrat a vyhodnotit vliv EDN na kořeny.

### 4.1 Inokulace pozemku *P. brassicae*

Pro kontrolu účinnosti fumigantu byl pozemek pro fumigaci a následné pěstování řepky inokulován suspenzí spor *Plasmodiophora brassicae*, v dávce 2 mld/m<sup>2</sup> pomocí postřikovače. Toto inokulum bylo následně zapraveno do půdního profilu pomocí rotavátoru do hloubky 15 cm.

### 4.2 Příprava aplikace

Místo bylo vybráno s ohledem na vzdálenost od oblasti, která je využívána skupinami, jež mohou být potenciálně zranitelné. Toto ochranné pásmo musí být minimálně 50 metrů. K aplikaci byl použit fumigant EDN, jehož jediným globálním dodavatelem je společnost Lučební závody Draslovka a.s.

#### **4.2.1 Vlastní aplikace EDN**

Vlastní aplikace přípravku spočívala ve vstříkovaní fumigantu do půdy o hloubce 25 cm pomocí aplikačního zařízení. Jako aplikační zařízení byl použit tažený mulčovač Rain-flo 2600, jehož výhodou bylo kladení zakrývací TIF fólie o šířce 150 cm a její okamžité přihnutí k vytvořenému záhonu takovým způsobem, aby fólie byla na obou stranách zakryta dostatečným množstvím zeminy. Toto zařízení umožnilo připojení ke standardnímu tříbodovému závěsu traktoru kategorie II. Výhodou bylo, že šlo kontinuálně regulovat hloubku kultivace a také sílu napětí pokládané fólie. Bylo možné také plynule nastavit přítlak rotačních radlic, které zajišťovaly zakrytí krajů fólie zeminou a přítlak válce formujícího záhon. Dále bylo zařízení vybaveno sedačkou pro obsluhu stroje a místem určeným pro tlakové nádoby obsahující fumigant, pro hnací plyn a válců zajišťujících plynulé odvíjení zakrývací fólie.

Tlakové lahve obsahující ethandinitril byly dobře zajištěny proti úniku plynu i proti pádu po celou dobu fumigace, což bylo zajišťováno bezpečnostními popruhy vedoucími podél plynových nádob.

Fumigovaný prostor byl potřeba důkladně přikrýt plachtou, která byla doporučena výrobcem přípravku. Folie byla dobře utěsněná kolem zamořeného povrchu, aby nedocházelo k úniku plynu do ovzduší. Následně byla viditelně označena bezpečnostní zóna, jelikož mělo být jasně patrné, kde má pokusné místo hranice. Bylo možné k tomuto účelu využít například informační ceduli a připevnit ji páskou.

#### **4.2.2 Odvětrání po aplikaci**

Po uplynutí lhůty od nanesení přípravku bylo možné začít odvětrávat zbytky EDN. Došlo k postupnému odstraňování fólie. Při procesu odstraňování bylo nezbytné používat ochranné pomůcky.

#### **4.2.3 Kultivace hostitelských rostlin a vyhodnocení experimentu**

Po důkladném odvětrání byla na pokusném místě následně do ošetřených pásů zaseta semena řepky olejky, konkrétně se jednalo o odrůdu Inspiration. Setí probíhalo pomocí ruční jednořádkové sečky v termínu 1. září 2020. Následné vyhodnocení proběhlo po třech měsících kultivace. Sběr rostlin řepky spočívá v opatrném ručním odebrání rostliny tak, že se těsně nad substrátem rostlina uchopí dvěma prsty a opatrně vyjme z půdy tak, abychom nepoškodili kořeny. Následně substrát jemně přitlačíme v prostoru kolem kořenového krčku a dočistíme kořeny od zbytků substrátu. Pokud je to možné, doporučuje se vzorky odebírat za sušších

podmínek, jelikož vlhký substrát ulpívá na kořenech a je hůře odstranitelný tak, aby nedošlo k narušení kořenů. Následně rostliny uložíme do označených sáčků.

V laboratoři byly rostliny omyty v tekoucí vodě, aby došlo k odstranění zbytků půdy a nečistot. Jednotlivé rostliny následně byly podrobeny detailnímu hodnocení, které zkoumalo přítomnost hálek na kořenech a následně byl měřen průměr kořenového krčku a vážena hmotnost kořenů. Počet hálek, průměr kořenových krčků a hmotnost kořenů bylo zpracováno do tabulky, která sloužila jako podklad pro vyhodnocení experimentu. Výsledky byly zpracovány v následující kapitole.



## 5 Výsledky

V této kapitole jsou uvedeny výsledky experimentu, a také je zde popsáno, jakých výsledků bylo dosaženo. Statistickými analýzami bylo zjišťováno, zda se ve vzorku rostlin, kde byl aplikován fungicid ethandinitril, vyskytují háčky na kořenech rostlin. Tyto rostliny byly porovnány s rostlinami bez použití fungicidu, abychom zjistili, zda je předmětný fungicid účinný proti nádorovitosti. Dále bylo analýzami porovnáno, jakých rozměrů dosahovaly kořenové krčky a jakou hmotnost měly samotné kořeny rostlin s použitím fungicidu a bez jeho použití.

### 5.1 Data experimentu

Vstupní statistický soubor, kde byly zaznamenány výsledky experimentu, a který byl použitý pro statistickou analýzu, je dostupný v příloze této práce.

Data experimentu se skládají ze čtyř sloupců dat. První sloupec s názvem “varianta“ označuje čtyři varianty půdních podmínek pro rostliny. Každá ze čtyř variant obsahuje 60 kusů rostlin. Dohromady byl experiment proveden na 240 rostlinách.

- 1) Varianta (K) – značí kontrolní rostliny, tedy bez ošetření fungicidem ethandinitril. Kontrolní varianta byla následně porovnávána s rostlinami ošetřenými fungicidem.
- 2) Varianta (KF) – toto je označení pro kontrolní rostliny, které byly přikryty fólií, jež sloužila jako první vrstva ochrany rostlin před patogeny. Rostliny byly taktéž bez použití fungicidu.
- 3) Varianta (30 g/m<sup>2</sup>) – zde ve třetí variantě byly rostliny ošetřeny fungicidem. Množství bylo stanoveno na 30 gramů fungicidu na 1 metr čtvereční.
- 4) Varianta (50 g/m<sup>2</sup>) – poslední varianta rostlin byla ošetřena fungicidem o množství 50 gramů přípravku na 1 metr čtvereční.

Druhý sloupec dat se nazývá “průměr kořenového krčku“. V tomto sloupci byl vyjádřen průměr kořenového krčku, kterého každá z rostlin dosahovala.

Třetí sloupec s názvem “hmotnost kořene“ označuje, jakou hmotnost měl kořen každé rostliny.

Ve čtvrtém sloupci s názvem “přítomnost hálek“ bylo vyznačeno hodnotami 0 a 1, podle toho, zda rostlina obsahovala háčky na kořenech či nikoliv. Hodnota 0 reflektuje stav, kdy na kořenech rostlin nebyly nalezeny háčky. Oproti tomu hodnota 1 vyjadřuje přítomnost hálek na kořenech.

## 5.2 Vyhodnocení experimentu

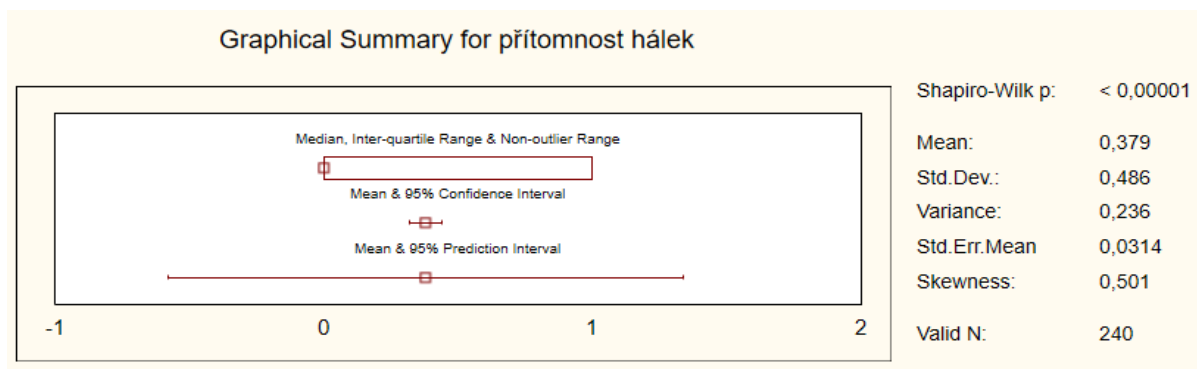
Výsledky experimentu byly vyhodnoceny pomocí statistického šetření. V následující tabulce bylo zjišťováno, u kolika rostlin celkem byla hodnota hálek 0 a u kolika rostlin byla hodnota 1. Z výpočtu vyplývá, že háčky nebyly nalezeny celkem u 149 rostlin, což z výběrového vzorku činí 62 %. U 91 rostlin byly háčky prokázány, z celkového vzorku tedy byly háčky prokázány ve 38 %, tato data byla zanesena do Tabulky č. 1 níže.

*Tabulka č. 1; Frekventovanost hodnot přítomnosti hálek z programu TIBCO Statistica; zdroj: vlastní tvorba.*

Category	Frequency table: přítomnost hálek (data) K-S d=,40310, p<,01 ; Lilliefors p<,01					
	Count	Cumulative Count	Percent of Valid	Cumul % of Valid	% of all Cases	Cumulative % of All
0	149	149	62,08333	62,0833	62,08333	62,0833
1	91	240	37,91667	100,0000	37,91667	100,0000
Missing	0	240	0,00000		0,00000	100,0000

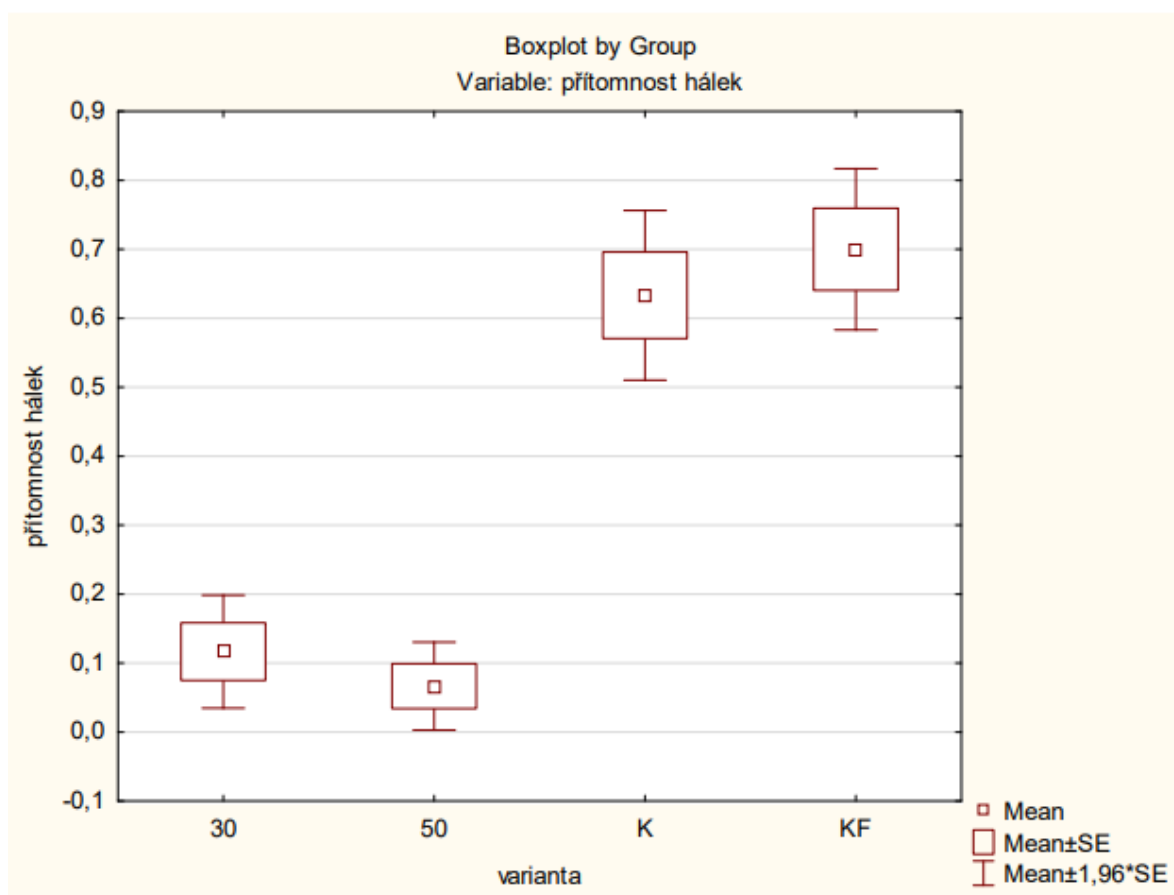
Jelikož hodnoty “přítomnost hálek“ neodpovídají normálnímu rozdělení, byl proveden ještě Shapiro-Wilk test. Shapiro-Wilkův test je testem normality. Nulová hypotéza znamená, že populace je normálně distribuovaná. Pokud je tedy hodnota p menší než hladina významnosti  $\alpha$ , je nulová hypotéza zamítnuta a data tedy nejsou normálně distribuována. Jako hladinu významnosti jsem volila 0,05. (Shapiro).

Dle Shapiro-Wilkova testu provedeného v programu Statistica (Statistica) je na obrázku č. 3 vidět, že hodnota p nižší než stanovená hladina významnosti a zamítáme normální rozdělení. Tzn. není možné využít jednosměrnou analýzu rozptylu. Použila jsem tedy neparametrický Kruskal-Wallisův test, který zakládá na pořadí, a ne za předpokladu normálního rozdělení. (StatSoft)



Obrázek č. 3; vytvořeno v programu TIBCO Statistica; zdroj: vlastní tvorba

Opět jsem si pro tento test zvolila hladinu významnosti  $\alpha$  0,05. Na obrázku č. 4 je krabicový graf vygenerovaný v rámci Kruskal-Wallisova testu, který ukazuje, že střední hodnoty s nánosem 30 g a 50 g jsou výrazně nižší než u K a KF. To znamená, že při využití fungicidu se na rostlinách nachází méně hálek. Rozdíl mezi kontrolou neošetřenou a použitím alespoň 30 g je významný. Mezi použitím fungicidu o hmotnosti 30 g a 50 g rozdíl takto významný není. Pro snížení počtu hálek na kořenech rostlin je tedy významné využít i nižší dávku fungicidu, tedy 30 g.



Obrázek č. 4; vytvořeno v programu TIBCO Statistica; zdroj: vlastní tvorba

V tabulce č. 2 jsou výsledky Kruskal-Wallisova testu. Jelikož hodnota p je nižší než stanovená hladina významnosti. Považuji tedy, že jsem prokázala z pohledu statistiky významný rozdíl při použití 30 g nebo 50 g fungicidu, oproti kontrole neošetřené (K) a kontrole s fólií (KF) na přítomnost hálek (K, KF).

Tabulka č. 2; výstup z programu TIBCO Statistica; vlastní tvorba

Depend.: přítomnost hálek	Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; přítomnost hálek (data) Independent (grouping) variable: varianta Kruskal-Wallis test: H (3, N= 240) =84,80190 p =,0008			
	Code	Valid N	Sum of Ranks	Mean Rank
30	30	60	5340,000	89,0000
50	50	60	4980,000	83,0000
K	101	60	9060,000	151,0000
KF	102	60	9540,000	159,0000

Díky tabulce, která je zachycena na obrázku č. 5, jsem mohla stanovit šance na nepřítomnosti hálek mezi jednotlivými typy (K, KF, 30 g/m<sup>2</sup>, 50 g/m<sup>2</sup>). Jako základní variantu pro porovnání jsem zvolila variantu K. Varianta KF má menší pravděpodobnost (0.8182), že zde háčky najdeme. Zatím co varianta 30 g/m<sup>2</sup> má větší (2.4091) pravděpodobnost nenalezení hálek a varianta 50 g/m<sup>2</sup> největší (2.5455).

<b>Coefficients Table: KF related to K</b>							
	<b>Coeff</b>	<b>SE</b>	<b>z-stat</b>	<b>lower z<sub>0.025</sub></b>	<b>upper z<sub>0.975</sub></b>	<b>exp(b)</b>	<b>p-value</b>
b <sub>0</sub>	-0.2007	0.3178	-0.6314	-0.8236	0.4222	0.8182	0.5278
X1	0.3008	0.3888	0.7736	-0.4612	1.0627	1.3509	0.4392

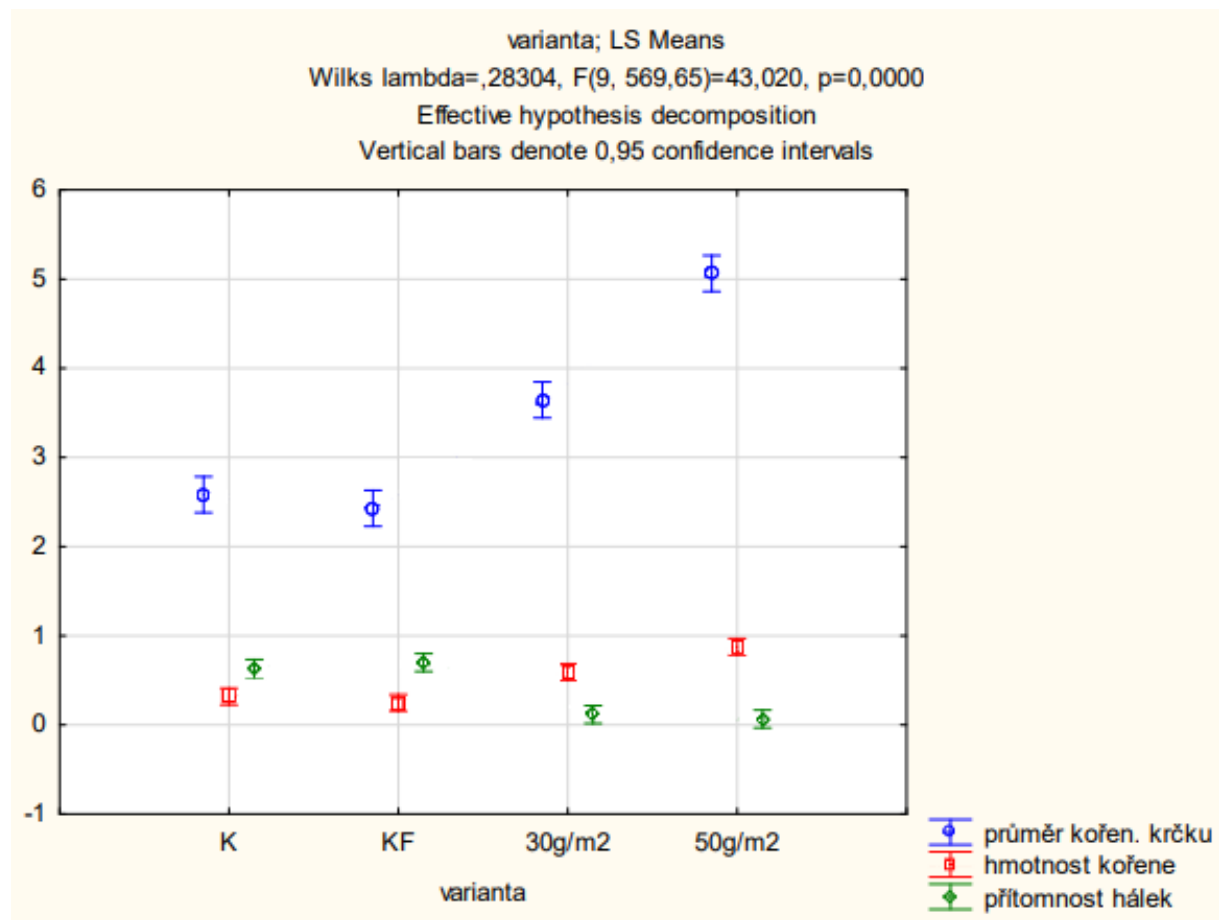
<b>Coefficients Table: 30g/m2 related to K</b>							
	<b>Coeff</b>	<b>SE</b>	<b>z-stat</b>	<b>lower z<sub>0.025</sub></b>	<b>upper z<sub>0.975</sub></b>	<b>exp(b)</b>	<b>p-value</b>
b <sub>0</sub>	0.8792	0.2536	3.4668	0.3822	1.3763	2.4091	0.0005267
X1	-2.5709	0.4832	-5.3205	-3.5180	-1.6238	0.07646	0.0000001035

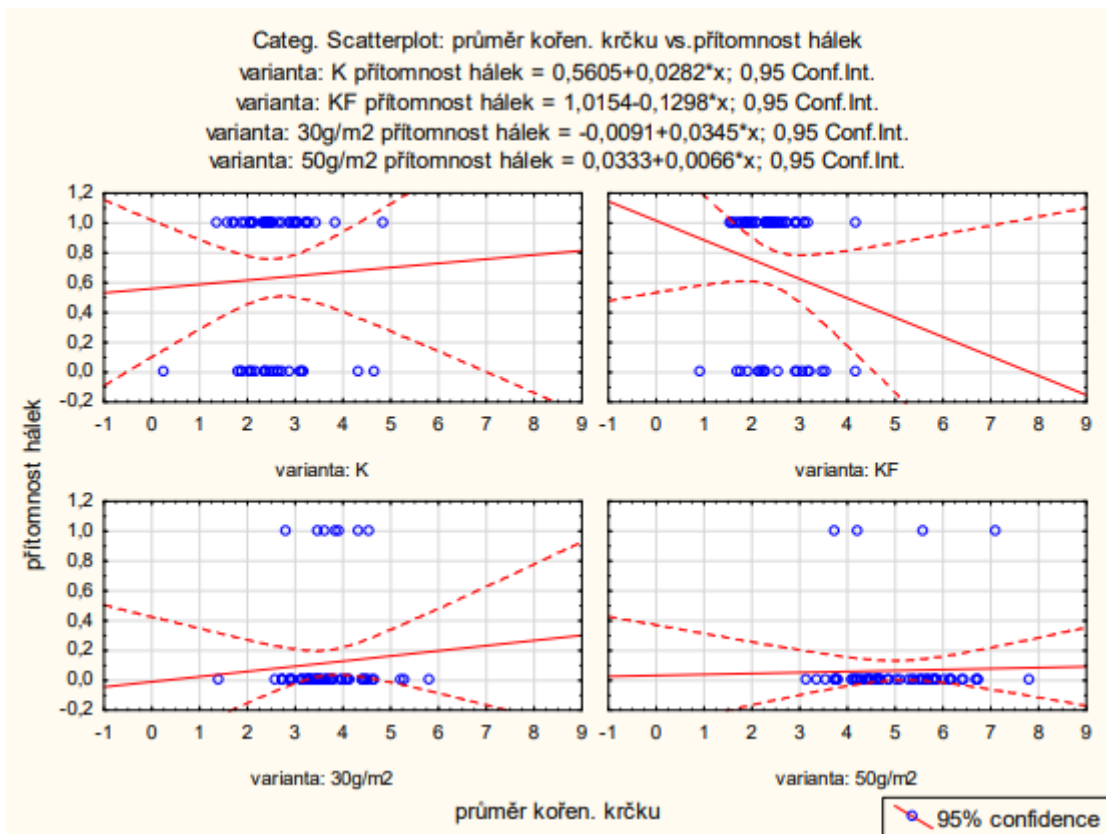
<b>Coefficients Table: 50g/m2 related to K</b>							
	<b>Coeff</b>	<b>SE</b>	<b>z-stat</b>	<b>lower z<sub>0.025</sub></b>	<b>upper z<sub>0.975</sub></b>	<b>exp(b)</b>	<b>p-value</b>
b <sub>0</sub>	0.9343	0.2516	3.7132	0.4411	1.4275	2.5455	0.0002047
X1	-3.1856	0.5828	-5.4664	-4.3278	-2.0434	0.04135	0.00000004593

Obrázek č. 5; Snímek výstupu ze stránek STATISTICS KINGDOM

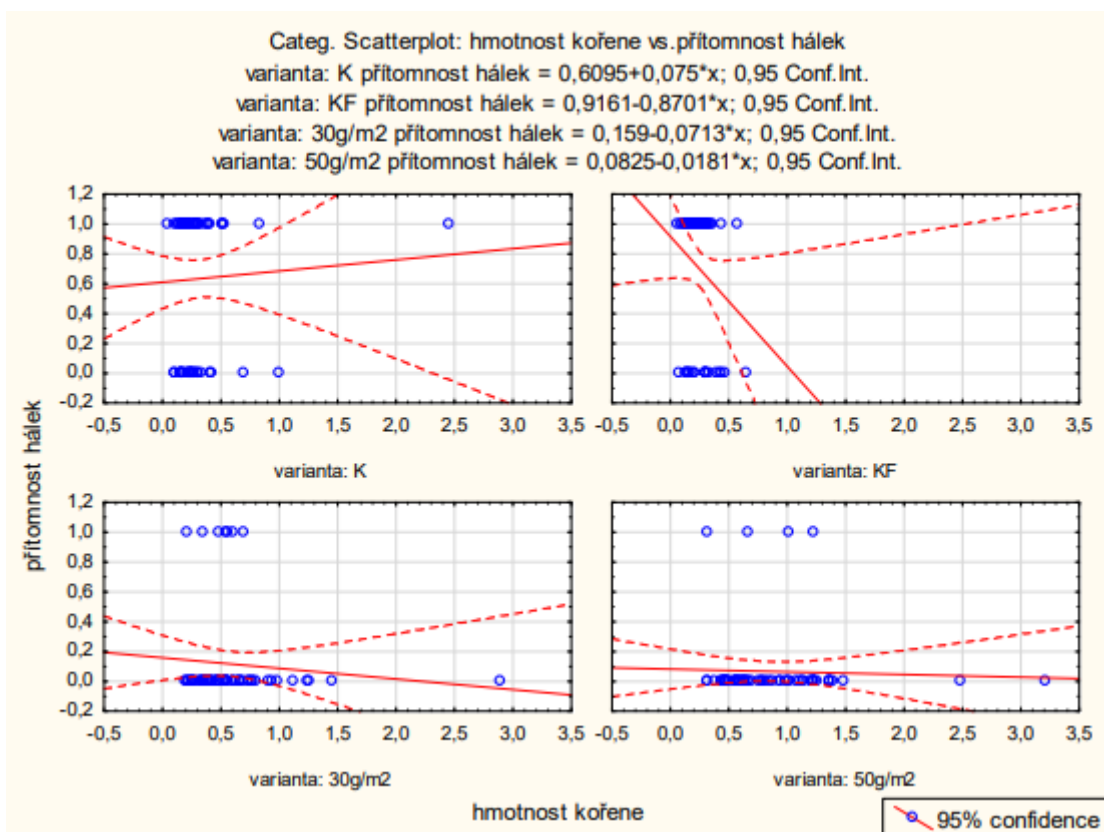
Z obrázku č. 6a, 6b a 6c vidíme, že čím méně hálek se na rostlině nachází, tím větší je hmotnost kořene a průměrná velikost kořenového krčku.



Obrázek č. 6a; vytvořeno v programu TIBCO Statistica; zdroj: vlastní tvorba



Obrázek č. 6b, vytvořeno v programu TIBCO Statistica; zdroj: vlastní tvorba



Obrázek č. 6c, vytvořeno v programu TIBCO Statistica; zdroj: vlastní tvorba

Z výše uvedených tabulek a obrázků můžeme vyčíst, že využití fungicidu ethandinitril na rostlinách mělo požadovaný účinek. Rostliny dosahovaly většího průměru kořenových krčků, také větší hmotnosti kořenů a počet hálek na kořenech rostlin byl značně menší vůči oběma kontrolám.



## 6 Diskuze

Statistickým šetřením byly porovnány hodnoty průměru kořenových krčků rostlin řepky, počet hálek na kořenech a hmotnost kořenů rostlin. Jelikož hodnoty na přítomnost hálek dosahují hodnot 0 a 1, lze jejich rozdělení označit jako Bernoulliho rozdělení. Jedná se o specifický typ binomiálního rozdělení. (HAZEWINKEL). Z tohoto důvodu bylo možné použít logistickou regresi, metodu matematické statistiky. Tato metoda má za cíl zkoumat odhad pravděpodobnosti jevu, který může nabývat pouze hodnot 0 nebo 1. (AGRESTI). Logistickou regresi jsem provedla pomocí stránek STATISTICS KINGDOM (statskingdom), která využívá Newtonovu metodu.

Pokud se podíváme na kontrolní rostliny, tedy bez použití uvedeného fumigantu, můžeme jednoznačně říct, že rostliny bez použití fumigantu byly drobnější, tedy měly menší průměr kořenového krčku a měly více hálek než rostliny, které byly ošetřené fungicidem. Z obsahu tabulek a obrázků uvedených ve výsledcích je jasně patrné, že ethandinitril měl na rostliny pozitivní účinek, tedy že dosahovaly lepších hodnot než neošetřené rostliny.

Tabulka č. 2 představuje výsledky Kruskal-Wallisova testu, kde bylo prokázán významný rozdíl mezi použitím fungicidu a rostlinami bez použití. Dále obrázky č. 6a, 6b a 6c názorně zobrazují, že s využitím fumigantu se výrazně zvyšuje průměr kořenového krčku rostlin, což značí nepřítomnost hálek na kořenech rostlin, neboť ty mají vliv na růst rostliny, z těchto poznatků můžeme říci, že ethandinitril má účinnost na nádorovitost brukvovitých.

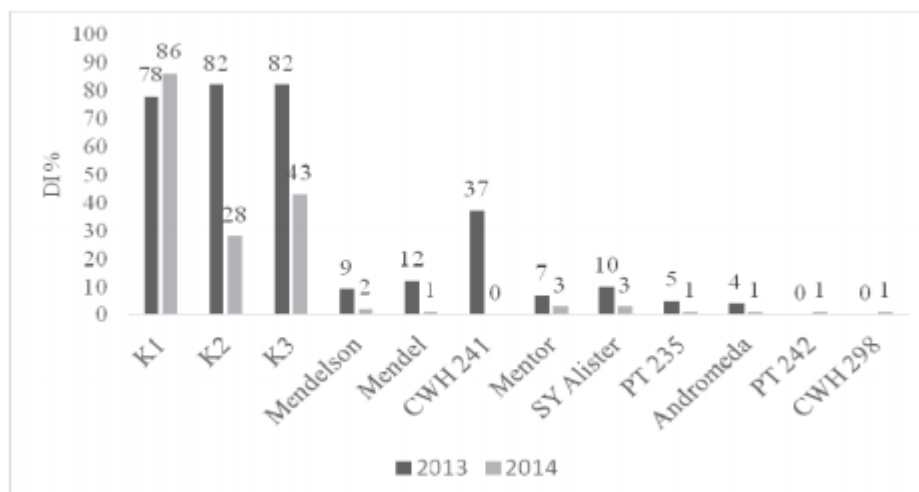
Dle výzkumu Výzkumného ústavu olejnin v Opavě, je možné zamezit nádorovitosti i jinými metodami, které nejsou takovým zásahem do půdy a nejsou toxické. Patří sem například použití odolných odrůd jako jsou Mendel, Mendelson, Mentor, SY Alister, PT235. Také se zde dá využít přerušení osevního sledu na minimálně 10 let pro veškeré brukvovité rostliny na daném pozemku, dodržování agrotechnického termínu setí dle dané lokality. Tyto termíny jsou uvedeny výše v textu. Ochranou může být dle výzkumu i vápnění před setím dané plodiny, a naopak nevápnit po sklizni rostliny, které jsou již napadeny. Tato opatření jsou možná, nicméně nejsou dostatečně spolehlivá, jelikož i přes veškerá opatření se stále zcela nedaří dostat tento patogen pod kontrolu. Dalším aspektem je neudržitelnost osevního sledu více než 10 let bez setí rostlin z čeledi brukvovitých. Vývoz oleje a jeho snížení produkce by mělo negativní vliv z ekonomického hlediska. Různí autoři navíc uvádí jiné hodnoty délky trvání klidového stádia spór. Průměrně se časové rozmezí pohybuje mezi 7 až 20 lety (Hani et al. 1993, Kazda et al., 2013). Hodnoty zkoumal Wallehnammar (2010), který zjistil, že počet

spór pod měřitelnou hodnotu se snížil po 17 letech. Tento výsledek prokazuje, že abychom zamezili šíření patogenu, museli bychom daný pozemek bez osevního sledu brukvovitých ponechat více než 10 let, což v dnešní době, kdy se řepka stala jednou z nejpěstovanějších plodin v České republice, není proveditelné. Pokud bychom se snažili o snížení obsahu inokula, lze tohoto výsledku dosáhnout například kombinací agrotechnických opatření spolu s využitím fumigantu jako vhodnou alternativou dosavadní ochrany před tímto patogenem.

Je třeba brát v potaz, že řepka se potýká s více chorobami a patogeny. Vzhledem k rozsáhlému spektru působení ethandinitrilu, je zde předpoklad účinnosti na choroby a patogeny velmi velký. Tento fumigant se řadí mezi nové technologie v boji proti chorobám a škůdcům a je nezbytné provést další řadu výzkumů. Již teď má velký význam jako účinná látka. Použitím na zemědělské ploše se snižují ztráty, čímž se zvyšuje ekonomická situace. Jelikož průměrný počet rostlin na plochu je hlavním prvkem, který tvoří výnos řepky. Dle Bečky a kol. (2007) se optimální počet rostlin během sklizně pohybuje kolem 40–50 rostlin na metr čtvereční. Dále dle Bečky a kol. (2013) uvádí měnící se pohled na hustotu porostu. Pokud jsou rostliny řepky v hustotě 20-40 rostlin na metr čtvereční, efektivněji lze využít vyšší dávky dusíku.

Pokud se vrátíme k využití hybridních odrůd řepky, ve spolupráci s Katedrou ochrany rostlin ČZU, SPZO a Agro Chomutice proběhly sezónně v letech 2013 až 2014 a 2014 až 2015 poloprovozní pokusy s rezistentními odrůdami, které měly být odolné vůči *P. brassicae*. Testováno bylo celkem osm odrůd. V první sezóně byly zařazeny odrůdy SY Alister (Syngenta), Andromeda (Limagrain), CWH 241 (Monsanto), Mendel, Mendelson, Mentor (Rapool) a PT235 (Pioneer). Ve druhé sezoně byly přidány odrůdy CWH 298 a PT 242, nebyla použita odrůda CWH 241. Kontrolou infekce byla použita náchylná odrůda řepky. Obdobně jako u našeho experimentu, i zde byla sledována tloušťka kořenových krčků, hmotnost kořene a přítomnost hálek. Z výsledků tohoto pokusu bylo jasně patrné, že rezistentní odrůdy dosahovaly lepších výsledků než kontrolní skupina.

K výsledkům pokusu se vztahuje obrázek na následující stránce, kde lze vidět jednotlivé varianty testovaných odrůd a jejich napadení patogenem.



Obrázek č. 7, Zdroj: Říčařová, (2015) Česká zemědělská univerzita v Praze

Možnost využití rezistentních odrůd je tedy akceptovatelná, bohužel zde však dochází k navýšení ceny osiva zhruba o jednu třetinu oproti standardním odrůdám. Nelze stanovit, že odrůdy budou stále rezistentní, neboť jak již bylo zmíněno výše v textu, patogen nádorovitosti může být v několika patotypech, na které daná odrůda nemusí být rezistentní. Zanesením jiného patotypu, než vůči jakému je daný hybrid rezistentní, může způsobovat na rostlinách výrazné škody. Z tohoto důvodu se využití fumigantu ethandinitril jeví jako nejjistější řešení, jak se bránit proti *P. Brassicae*, jelikož spektrum jeho účinku je velmi pestré.

Obdobnou látkou ethandinitrilu, tedy na bázi fungicidu, byl dříve využívaný fumigant methylbromid. Ten ale bohužel velmi poškozují ozónovou vrstvu Země a jeho aplikace je z tohoto důvodu celosvětově zakázána Montrealským protokolem z roku 1987, jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách. Oproti tomu ethandinitril ozónovou vrstvu Země nepoškozují a nezanechávají rezidua. Z těchto důvodů se jedná o fungicid, který je velmi účinný a zároveň není škodlivý pro ovzduší, neboť se po odvětrání rozkládá viz podkapitola “Využití ethandinitrilu v praxi“.

Doporučením pro zamezení šíření patogenu *P. brassicae* z odborné literatury vyplývá, že je potřeba dbát především na čistotu mechanizace, obuvi, oděvu a veškerého vybavení, jelikož ke kontaminaci půdy dochází velice snadno. Spóry se na pozemku vyskytují více než 10 let, a proto by měla být snaha zemědělců také o dodržování osevních postupů. Dále je potřeba pravidelné kontroly pozemků na přítomnost patogenu, aby se případná infekce půdy mohla včas rozpoznat, a aby nedocházelo k přenosu spór na další zemědělsky významné plochy. Také je

zde možnost využití hybridních druhů osiva, které jsou na některé patotypy rezistentní. I přes všechna tato opatření se bohužel na konkrétní stanoviště může patogen zavléct.

Co se týče registrace přípravku ethandinitril, od března roku 2021 je povoleno jeho využití k asanaci kůrovcového dřeva. Je tedy velký předpoklad, že tento fumigant bude brzy dostupný i pro účely ochrany vůči nádorovitosti a dalším patogenům a chorobám.

## 7 Závěr

V této diplomové práci byla popsána problematika nádorovitosti brukvovitých, konkrétně způsobená patogenem *Plasmodiophora brassicae*, která způsobuje značné snížení výnosu rostlin. V jednotlivých kapitolách bylo popsáno samotné působení patogenu, následně byla popsána dosavadní ochrana proti nádorovitosti. Největší pozornost byla věnována ethandinitrilu, tedy fungicidu na potlačení nádorovitosti.

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda je fumigant ethandinitril účinný proti nádorovitosti brukvovitých. Konkrétní experiment byl prováděn na řepce, neboť je to jedna z nejvýznamnějších plodin České republiky. Vlivem nádorovitosti se výrazně snižuje její výnos, což má zásadní ekonomický dopad pro zemědělství.

Pomocí statistického šetření jsem vyhodnotila, zda daný fungicid významně ovlivňuje počet hálek na rostlinách infikovaných daným patogenem. Výsledky prokázaly, že ethandinitril má vliv na potlačení patogenu a jeho použitím se výrazně snižuje počet hálek na kořenech rostlin. S použitím daného fumigantu se zvyšuje i průměr kořenového krčku a hmotnost kořene, což naznačuje, že rostlina s přidavkem předmětného přípravku dosahuje lepších výnosových hodnot.

Uvedený fumigant velice dobře zabraňuje patogenu pronikat dále do rostliny a tím omezuje růst hálek na kořenech rostlin. Výhodou ethandinitrilu je jeho schopnost hubit veškerá vývojová stádia a je všestranně využitelný. Využívá se dále například v boji proti hád'átkům, proti kůrovci, dokáže hubit plevele a houby. Výhodou této látky je, že nezanechává rezidua a nepoškozuje ozónovou vrstvu Země oproti jiným fumigantům. Pokud bychom se zaměřili na nevýhody tohoto plynu, je silně toxický pro organismy. Vzhledem k tomu, že se váže na hemoglobin, je potřeba dbát zvýšených bezpečnostních podmínek během jeho aplikace do půdy.

Závěrem tedy lze říci, že ethandinitril je účinnou látkou v boji proti *Plasmodiophora brassicae*.

## 8 Literatura

ACHRER, Jakub, et al. Ochrana ozonové vrstvy v České republice: 20 let od podepsání Montrealského protokolu. Praha: Ministerstvo životního prostředí, [2007]. ISBN 978-80-7212-471-8.

AGRESTI, Alan. Categorical data analysis. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2002. Wiley series in probability and statistics. ISBN 0-471-36093-7

AYERS, G. W. 1944. Studies on the life history of the club root organism, *Plasmodiophora brassicae*. Canadian. Journal of Research. 23: 143–149.

BARANYK P. et al. (2010): Olejniny. Profi Press s. r. o., Praha. Hejný S. & Slavík B. (eds.) (1992): Květena České republiky. 3. Academia, Praha.

BAUR, Fred. Insect Management for Food Storage and Processing. American Ass.of Cereal Chemists, 1984. ISBN 978-0-913250-38-9. 162–165.

BEČKA, D., VAŠÁK, J., ZUKALOVÁ, H., MIKŠÍK, V.; 2007: Řepka ozimá: pěstitelský rádce; FAPPZ, Česká zemědělská univerzita v Praze; Kurent; ISBN 978- 80-87111-05-5.

BEČKA, D., ŠIMKA, J., CIHLÁŘ, P., PROKINOVÁ, E., MIKŠÍK, V., VAŠÁK, J., ZUKALOVÁ, H.; 2013: Řepka ozimá – inovace pěstitelské technologie; Certifikovaná metodika; Česká zemědělská univerzita v Praze; ISBN 978-80-213- 2382-7

BUCZACKI, S.T.: *Plasmodiophora* – an inter-relationship between biological and practical problem. In: Buczacki, S.T.: Zoosporic plant pathogens – a modern perspective. Academic Press, pp. 161-191, 1983.

BUCZACKI, S.T., MOXHAM, S.E.: Structure of the resting spore wall of *Plasmodiophora brassicae* revealed by electron microscopy and chemical digestion. Trans. Br.Mycol. Soc., 81(2): 221-231, 1983.

CHEAH, L.H., VEERAKONE, S., KENT, G.: Biological control of clubroot on cauliflower with *Trichoderma* and *Streptomyces* spp. New Zealand Plant Protection 53, 2000.

CHYTILOVÁ V., Dušek K.: Metodika testování odolnosti brukvovitých plodin k nádorovitosti. 2007. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha, 21 s. ISBN 978-80-87011-23-2

CRUTE, I.R.: Variation in *Plasmodiophora brassicae* and resistance to clubroot disease in brassicas and allied crops – a critical review. Pl. Bred. Abstract, 50 (2): 91-104, 1960.

DEVOS, S., VISSENBERG, K., VERBELEN, J.P., PRINSEN, E.: Stimulation of plant growth: impacts on cell wall metabolism and hormone balance. New Phytologist, 166, pp. 241-250, 2005.

DIEDERICHSEN, E., FRAUEN, M., LINDERS, G. A., HATAKEYAMA, K., HIRAI, M. (2009): Status and Perspectives of Clubroot Resistance Breeding. Journal Plant Growth Regulators

DIXON, G.R., BROKENSHERE, T.: Chemical control of clubroot (*Plasmodiophora brassicae*). Proc. Crop Protection in Northern Britain, pp. 325-329, 1981. DOBSON, R.L., GABRIELSON, R.I., BAKER, A.S., BENNETT, L.: Effects of lime particle size and distribution and fertilizer formulation on clubroot disease caused by *Plasmodiophora brassicae*. Plant Diseases, 67 (1): 50-52, 1983.

DIXON, G. R. 2009a. The Occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. Journal of Plant Growth Regulation. 28: 194–202.

DIXON, G. R. 2009b. *Plasmodiophora brassicae* in its environment. Journal of Plant Growth Regulation. 28, 212–228.

Ethanedinitrile EDN™ – First Soil Fumigant Approved By APVMA. Draslovka [online]. Draslovka Services Group, 2019 [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.draslovka-services.com/2019/01/ethanedinitrile-edn-soil-fumigant-approved/>

FÁBRY, A. ET AL., 1992: Olejniny. Ministerstvo zemědělství ČR, České Budějovice, 419 s. ISBN 80-7084-043-9.

FRIBERG, H., LAGERLOF, B., RAMERT, B.: Usefulness of nonhost plants in managing *Plasmodiophora brassicae*. Plant Pathology 55 (5), 690-695, 2006.

GRULICH, Vít. BRASSICACEAE Burnett – brukvovité / kapustovité. Botany.cz [online]. 2012 [cit. 2021-4-9]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/brassicaceae/>

HAZEWINKEL, Michiel. Encyclopaedia of Mathematics. Springer London, 2006. ISBN 9781402006098.

HEYN, F.W.: Studies on clubroot populations. *Proc. Brassica Conference*, Norway, pp. 29-34, 1981.

HŘIVNA, L., MALÝ, J., 2012: Dynamika růstu a příjem živin rostlinami ozimé řepky ve vegetačním roce 2012. In.: Sborník Hluk 2012. 29. vyhodnocovací seminář. SPZO s.r.o. 2012. s. 143-148 ISBN 978-80-87065-43-3.

HORAL, J., HORALOVÁ, J., ROD, J.: Tolerance zelí hlávkového (*Brassica oleracea* var. *capitata*) a kapusty hlávkové (*Brassica oleracea* var. *sabauda*) k nádorovitosti (*Plasmodiophora brassicae*). Bulletin Výzkumného šlechtitelského ústavu zelinářského, Olomouc, 31: 19-25, 1987.

HWANG, S. F., HOWARD, R. J., STRELKOV, S. E., GOSSEN, B. D., PENG, G. (2014): Management of clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) on canola (*Brassica napus*) IN Western Canada, *Canadian Journal of Plant Pathology*

KAGEYAMA, Koji. *Plasmodiophora brassicae*-infected ornoninfected turnip suspension cell morphology. In: ResearchGate [online]. 2009 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Plasmodiophora-brassicae-infected-ornoninfected-turnip-suspension-cell-morphology-a-P\\_fig5\\_225360656](https://www.researchgate.net/figure/Plasmodiophora-brassicae-infected-ornoninfected-turnip-suspension-cell-morphology-a-P_fig5_225360656)

MITHEN, R., MAGRATH, R.: A contribution to the life history of *Plasmodiophora brassicae*: secondary plasmodia development in root galls of *Arabidopsis thaliana*. *Mycol. Res.* 96: 877-885, 1992.

MYERS, D.F., CAMBELL, R.N., GREATHEAD, A.S.: Thermal inactivation of *Plasmodiophora brassicae* Woro. And its attempted control by solarization in the Salinas Walley of California. *Crop. Protection*, 2 (3) : 325-333, 1983.

PROKOP, Martin. Přípravky na ochranu rostlin. Agromanuál.cz [online]. 05. 05. 2020 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/pripravkyna-ochranu-rostlin>

ROD, J.: Tolerance forem a odrůd košťálovin k nádorovitosti. In: *Zahradnictvo*, (11), 418-420, 1992.



ROD, J. : *Plasmodiophora brassicae* – původce nádorovitosti brukvovitých plodin. Zprávy, zvl. Číslo Květen, ÚKZÚZ OPMOR Brno 1996

ROD, Jaroslav et al. *Plasmodiophora brassicae*: původce nádorovitosti brukvovitých plodin. Ii. Československá vědecká společnost pro mykologii při ČSAV, 1992, ISBN 80-85117-10-X.

ŘIČAŘOVÁ, Veronika a Jan KAZDA. Poloprovozní pokusy s odrůdami ozimé řepky rezistentními k *Plasmodiophora brassicae* (wor.): Původci nádorovitosti kořenů brukvovitých. Sborník z konference „Prosperující olejniny“. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015, 77-80.

SHAPIRO, S. S. a M. B. WILK. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika [online]. 1965, 52(3-4), 591-611 [cit. 2021-04-15]. ISSN 0006-3444. Dostupné z: doi:10.1093/biomet/52.3-4.591

SUCHÝ, Pavel, E. STRAKOVÁ a I. HERZIG. Kvalita rostlinných olejů a jejich význam z hlediska zdraví zvířat a možnosti ovlivnění nutriční hodnoty potravin živočišného původu. Praha: Výzkumný ústav živočišné výroby, [online]. 2008 [cit. 2021-4-05]. Dostupné z: [https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2018/04/Kvalita-rostlinných-olejů-2008.pdf](https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2018/04/Kvalita-rostlinnych-oleju-2008.pdf)

STATSOFT. Porovnání nezávislých výběrů – neparametrická ANOVA [online]. StatSoft CR, 2-3 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: [http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013\\_06\\_04\\_StatSoft\\_Neparametricka\\_anova.pdf](http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_06_04_StatSoft_Neparametricka_anova.pdf)

STEJSKAL, Václav et al. Fumigace přípravkem EDN k ošetření dřeva napadeného kůrovci. Agromanuál.cz [online]. 05. 05. 2020 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/fumigace-pri-pravkem-edn-k-osetreni-dreva-napadeneho-kurovci>

STEJSKAL, Václav, Adam JONÁŠ, Jonáš HNÁTEK, Radek AULICKÝ, Milan MOCHÁN a Ondřej VYBÍRAL. Nová technologie fumigace dřeva proti kůrovcům: První výsledky testování použití přípravku EDN v ochraně lesa v České republice. Lesnická práce. 2017, 19-21.

Škodlivé organismy - nádorovitost kořenů brukvovitých: *Plasmodiophora brassicae*. ÚKZÚK: Rostlinolékařský portál [online]. 2021 [cit. 2021-4-21]. Dostupné

z: [http://eagri.cz/public/app/srs\\_pub/fytoportal/public/?key=%22f50546d2ac767ccc6ca48bbc1a083aac%22#r|p|sol|choroby|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c2b38ee|popis](http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22f50546d2ac767ccc6ca48bbc1a083aac%22#r|p|sol|choroby|detail:c18ccd9cbe2ba381e37b810d0c2b38ee|popis)

TAKASHI, H., ISHIKAWA, T., KAIDO, M., TAKITA, K.: Plasmodiophora brassicae induced Cell Death and Medium Alkagation in Clubroot-resistant Cultured Roots of Brassica rapa. Journal of Phytopathology, volume 154, number 3, pp. 156-162, 2006. ROD, J., LÁSKA, P.: Choroby a škůdci košťálové zeleniny. SZN, 1986.

TIBCO Software: TIBCO Statistica™ Trial Download for Windows [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.tibco.com/resources/product-download/tibco-statistica-trial-download-windows>

VAŠÁK, J. ET AL., 2000: Řepka, AGROSPOJ Těšnov, Praha, 321 s.

VOLF, F., ŠEBÁREK, J., PROCHÁZKA, S., SLADKÝ, Z., KUBJATKO, F., KROPÁČ, Z.; 1988: Zemědělská botanika, Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

VOLF, M.; 2015: Vývoj pěstování řepky v České a Slovenské republice a dalších zemích Evropské unie; In: KOLEKTIV – Intenzita pěstování řepky ozimé?; Praha

Vídeňská úmluva na ochranu ozonové vrstvy a Montrealský protokol o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/videnska\\_umluva\\_montrealsky\\_protokol\\_dokument](https://www.mzp.cz/cz/videnska_umluva_montrealsky_protokol_dokument)

WALLENHAMMAR, A. C. 1996. Prevalence of Plasmodiophora brassicae in a spring oilseed rape growing area in central Sweden and factors influencing soil infestation levels. Plant Pathology. 45: 710–719.

WILLIAMS, P.H.: Clubroot disease, host – parasite relations. Proc. Woronin + 100 Conference, Madison, pp.16-23, 1977.

ZEHNÁLEK, P.; 2016: Seznam doporučených odrůd řepky olejky 2016; Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno; 1. vydání; Brno 2016; ISBN 978-80- 7401-119-1

