

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra aplikované ekologie**



**Bakalářská práce**

Vliv odpadního dřeva z kůrovcové kalamity na pH  
a vodivost vody obsažené v půdě za účelem zachování  
charakteru krajiny

**Michaela Svobodová**

**Vedoucí práce: Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.**

© 2022 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michaela Svobodová

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

**Vliv odpadního dřeva z kůrovcové kalamity na pH a vodivost vody obsažené v půdě za účelem zachování charakteru krajiny**

Název anglicky

**Influence of waste wood from bark beetle calamity on pH and conductivity of water contained in the soil to preserve the character of the landscape**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provést inkubační pokus s různými druhy půdy bez a s papercharem vyrobeným odpadního kůrovcového dřeva. Hlavním cílem je zjistit vliv kůrovcového dřeva na pH a vodivost vody obsažené v různých typech půdy. Paperchar obsažený v půdě může sloužit jednak jako aditivum zvyšující obsah organické hmoty v půdě, ale také zároveň zadržuje vlhkost, což by mohlo pomoci v současnosti, kdy již několik let přetrvává sucho v krajině. Při inkubačním pokusu, je důležité zjistit základní vlastnosti vody obsažené v půdě, aby se zajistily rostlině potřebné živiny pro její růst, ale také aby pomohly zajistit i vlhkost v místě vysazení.

### Metodika

Literární rešerše o kůrovcové kalamitě, zpracování kůrovcového dřeva a různých typech půdy.

Stanovení vhodného metodického postupu testování.

Odběry inkubačního pokusu.

Analýza pH a vodivosti.

Statistické zpracování naměřených dat a vyhodnocení výsledků.

Závěr.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

Kůrovcové dřevo, paperchar, inkubační pokus, pH, vodivost

---

**Doporučené zdroje informací**

- DOAN, T. T., HENRY-DES-TUREAUX, T., RUMPEL, C., JANEAU, J. L., JOUQUET, P. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. *Science of Total Environment*, 2015, 147-154.
- JAKŠÍK, O., KODEŠOVÁ, R., KUBIŠ, A., STEHLÍKOVÁ, I., DRÁBEK, O., KAPIČKA, A. Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. Elsevier, 2005, 287–299. ISSN 0341-8162.
- SIXTA, H. Handbook of pulp. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006, 1369 s. ISBN 3-527-30999-3.
- SJOSTROM, E., ALEN, R. Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1999, 316 s. ISBN 978-3-642-08317-4.
- VERHEIJEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M., DIAFAS, I. Biochar Application to Soils. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2010, 166 s. ISBN 978-92-79-14293-2.
- ZÁDOROVÁ, T., JAKŠÍK, O., KODEŠOVÁ, R., PENÍŽEK, V. Influence of Terrain Attributes and Soil Properties on Soil Aggregate Stability. *Soil & Water Res.*, 2011, 6 (3), 111–119.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FZP

**Vedoucí práce**

Ing. Kateřina Hájková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 18. 8. 2021

**doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 2. 9. 2021

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2022

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vliv odpadního dřeva z kůrovcové kalamity na pH a vodivost vody obsažené v půdě za účelem zachování charakteru krajiny vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské/závěrečné práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.



V Praze dne: 29. 03. 2022

Podpis autora práce

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí bakalářské práce Ing. Kateřině Hájkové, Ph.D. za odborné vedení, velkou trpělivost, vstřícnost, ochotu a věnovaný čas. Dále bych také chtěla poděkovat své rodině za podporu a trpělivost jak při psaní této práce, tak po dobu celého mého studia.

# **Vliv odpadního dřeva z kůrovcové kalamity na pH a vodivost vody obsažené v půdě za účelem zachování charakteru krajiny**

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá využití nadbytečného odpadního dřeva z kůrovcové kalamity, jako aditivum, které by obohacovalo půdu o organickou hmotu a mohlo by pozitivně ovlivňovat vodivost a pH v půdě. Aplikace vyrobených papercharových archů, tvořených buničinou a pyrolyzovaného kůrovcového dřeva, do půdy, by se mohla stát jedním z řešení předcházení suchu v krajině.

Pomocí inkubačního pokusu bylo dosaženo výsledků, které jsou přehledem změn vodivosti a pH vody v půdě a změn v zastoupení jednotlivých prvků v půdě, potřebných pro růst rostlin.

**Klíčová slova:** Kůrovcové dřevo, Paperchar, Inkubační pokus, pH, Vodivost

# **Influence of waste wood from bark beetle calamity on pH and conductivity of water contained in the soil to preserve the character of the landscape**

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with using excess waste wood from the bark beetle calamity as an additive that would enrich the soil with organic matter and could positively affect the conductivity and pH in the soil. The application of produced paperchar sheets, consisting of pulp and pyrolyzed bark wood, to the soil could become one of the solutions preventing drought in the landscape.

The incubation experiment was found results: an overview of changes in the conductivity and pH of water in the soil and changes in the proportion of individual elements in the soil needed for plant growth.

**Key words:** Bark wood, Paperchar, Incubation experiment, pH, Conductivity

# Obsah

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 1 Úvod .....                                             | 10 |
| 2 Cíle práce .....                                       | 11 |
| 3 Teoretická část .....                                  | 12 |
| 3.1 Kůrovcová kalamita .....                             | 12 |
| 3.1.1 Kůrovec .....                                      | 12 |
| 3.1.1.1 Lýkožrout smrkový – <i>Ips typographus</i> ..... | 14 |
| 3.1.1.2 Redukce šíření kůrovce .....                     | 16 |
| 3.1.2 Kůrovcové dřevo .....                              | 17 |
| 3.2 Papírenská vláknina .....                            | 18 |
| 3.2.1 Primární papírenská vláknina .....                 | 19 |
| 3.2.1.1 Sulfitový způsob výroby celulózy .....           | 19 |
| 3.2.1.2 Sulfátový způsob výroby celulózy .....           | 20 |
| 3.2.2 Sulfátová buničina .....                           | 21 |
| 3.3 Biochar .....                                        | 21 |
| 3.3.1 Výroba biocharu .....                              | 21 |
| 3.3.2 Použití biocharu .....                             | 22 |
| 3.4 Paperchar a jeho výroba .....                        | 23 |
| 3.5 Potenciometrické stanovení vody .....                | 26 |
| 3.6 Konduktivita vody .....                              | 27 |
| 4 Experimentální část .....                              | 28 |
| 4.1 Zvolené typy půd pro inkubační pokus .....           | 28 |
| 4.2 Příprava vzorku .....                                | 28 |
| 4.3 Odběr vzorku .....                                   | 29 |
| 4.4 Analýza vzorku .....                                 | 29 |
| 4.4.1 Měření pH .....                                    | 29 |
| 4.4.2 Měření konduktivity .....                          | 30 |
| 4.4.3 Stanovení biogenních prvků .....                   | 31 |
| 4.4.4 Stanovení iontů .....                              | 31 |
| 4.4.5 Stanovení celkové dusíku a uhlíku .....            | 32 |
| 5 Výsledky a diskuse .....                               | 33 |



|                           |    |
|---------------------------|----|
| 6 Závěr .....             | 42 |
| 7 Seznam literatury ..... | 43 |
| 8 Seznam obrázků .....    | 49 |
| 9 Seznam tabulek .....    | 50 |

# 1 Úvod

Přetrvávající sucho v krajině přispívá k nedostatku vláh v půdě, kterou trpí nejen zemědělské půdy, ale i lesní ekosystémy. Les neboli lesní prostředí je důležité pro hospodářské činnosti a zadržování vody v půdě. Zdravý stav lesních porostů mohou ovlivnit různé faktory, jako například kalamity.

Z historie 19. a 20. století lze jako příklad narušené stability lesů zmínit některé významné kalamity, na nichž se podíleli významnou mírou hmyzí škůdci (Modlinger a Trgala, 2019). Kůrovcová kalamita, postihuje Českou republiku již několik let a zanechává po sobě v krajině spousty zdevastovaných ploch, někdy i hektarové pláně s krychlovými metry poškozeného dřeva.

Toto pozůstalé dřevo se dá dále zpracovat a využít. Jednou z možností je výroba papíru a druhou je výroba biocharu. Protože obě možnosti lze zpracovat i dohromady, je tématem této práce výroba archů papíru, tzv. papercharu, tvořeného buničinou a obohaceného o určitý procentuální přídavek biocharu neboli pyrolyzovaného kůrovcového dřeva. Do vzorků křemičitého písku, zemědělské, lesní a sterilizované půdy byl aplikován vzorek papercharu a pomocí inkubačních pokusů bylo analyzováno, jak vložený vzorek papercharu ovlivní pH a vodivost vody, nebo zda může sloužit jako aditivum zvyšující obsah organické hmoty v půdě.

## **2 Cíle práce**

Cílem bakalářské práce je provést inkubační pokus s různými druhy půdy bez a s papercharem vyrobeným z odpadního kůrovcového dřeva. Hlavním cílem je zjistit vliv kůrovcového dřeva na pH a vodivost vody obsažené v různých typech půdy. Paperchar obsažený v půdě může sloužit jednak jako aditivum zvyšující obsah organické hmoty v půdě, ale také zároveň zadržuje vlhkost, což by mohlo pomoci v současnosti, kdy již několik let přetrvává sucho v krajině. Při inkubačním pokusu, je důležité zjistit základní vlastnosti vody obsažené v půdě, aby se zajistily rostlině potřebné živiny pro její růst, ale také aby pomohly zajistit i vlhkost v místě vysazení.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Kůrovcová kalamita

Kůrovcovou kalamitu můžeme označovat jako plošné poškození lesních porostů, s výskytem jedinců ze skupiny lýkožravého hmyzu, zvanou kůrovec (*Scolytinae*). Lýkožravý hmyz postihuje stromy, které díky úbytku vláhy v půdě a vyšším teplotám nemají dostatečné obranné mechanismy. Vláhový deficit zásadně ovlivňuje zdravotní stav lesních porostů (Modlinger a Trgala, 2019). Stromy, především smrky, nemají při nedostatku vláhy možnost vytvoření dostatek mízy, která zodpovídá za růst a ochranu stromu.

Smrk ztepilý byl pro svůj růst a příznivé technické vlastnosti v minulých století hojně vysazován mimo areál svého přirozeného rozšíření. Důsledkem toho vznikly rozsáhlé plochy tzv. sekundárních smrkových lesů, které měly stále větší problémy se zdravotním stavem a vitalitou, a byly náchylné k poškození činiteli, jako je vítr, sucho a kůrovec (Hlásný a kol., 2020).

Původní přírodní lesní klimaxové ekosystémy v České republice s bohatou diverzitou byly aktivitami člověka postupně plošně zredukovány nebo v mnoha případech přeměněny na stejnověké porosty s více než 50% zastoupení smrku (přirozené zastoupení smrku na našem území je odhadováno na cca 11 %) (Modlinger a Trgala, 2019). To může být jedna z příčin našeho území, proč nejsou naše lesy schopny se bránit před abiotickými a biotickými faktory ohrožení.

Na začátku 19. století se kůrovec vyskytoval pouze v horských oblastech nad 800 metrů nadmořské výšky, s výjimkou Brd. První zmínky o kůrovcové kalamitě, na území České republiky pochází z první poloviny 19. století, kdy došlo k rozsáhlému poškození lesů v oblasti Jeseníku a vznikly zde polomy, plné popadaného dřeva, ve kterých se výrazně přemnožil kůrovec. V současné době se kůrovcový hmyz vyskytuje od nižších poloh až po horní hranici lesa prakticky všude, kde se vyskytují smrky (Zahradník, 2016).

#### 3.1.1 Kůrovec

Kůrovec neboli podkorní hmyz je označován jako druh hmyzu, který ke svému vývoji využívá dřevo nebo lýko. Z lesnického hlediska považujeme podkorní hmyz za škůdce, přestože z ekologického hlediska vykonávají v ekosystému důležitou zdravotně-dekompoziční funkci. Druhy podkorního hmyzu jsou velmi rozmanité,

nejedná se pouze o brouky, ale i o zástupce z řádu blankokřídlič a motýlů. (Modlinger a Trgala, 2019).

Kůrovci tvoří různorodou skupinu hmyzu s celosvětovým výskytem. Převážná většina druhů žije v mrtvých stromech či jejich částech, a hraje cennou roli v cyklu živin nebo slouží jako potrava pro jiné organismy. Je zde však několik přemnožujících se druhů – v Evropě zejména lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.) – které, pokud jsou jejich populace málo početné, kolonizují pouze oslabené a umírající stromy, a až po nárůstu jedinců, napadají v masovém měřítku i stromy zdravé. Tyto, tzv. epidemické druhy, představují jeden z hlavních problémů lesního hospodářství a mají rozsáhlý dopad na krajinu, společnost, ekonomiku i životní prostředí (Hlásný a kol., 2020).

Kůrovci jsou drobní brouci dosahující velikosti 1 až 8 mm s válcovitým článkovaným tělem – složeným z hlavy, hrudi a zadečku. Jedná se o hmyz s proměnou dokonalou – prochází vývojovým stádem vajíčka, larvy, kukly a dospělce. Nejdůležitějším stádiem vývoje brouka je stádium larvy, za kterého je brouk schopný pohybu a příjmu potravy. K životu uvnitř rostlinných pletiv, nepotřebují larvy žádné krycí zbarvení ani obranné chlupy. Larvy jsou zpravidla bílé a lysé. Jejich hlavní adaptací pro vývoj uvnitř stromů jsou silná kusadla a přítomnost symbiotické mykoflóry umožňující využít dřevní hmotu jako potravu (Modlinger a Trgala, 2019).

Z hlediska vývoje larev se podkorní hmyz rozděluje na dva druhy – dřevokazný a podkorní druh sensu stricto. U dřevokazného druhu probíhá celý vývoj nebo jeho podstatná část ve dřevě. Tento druh osídluje odumírající a odumřelé stromy, jejich vývoj je víceletý. Typickým zástupcem je čeleď tesaříkovití (*Cerambycidae*). Na rozdíl u podkorního druhu sensu scripto, probíhá u většiny zástupců převážná část vývoje v lýku, ve dřevě dochází u některých zástupců pouze ke kuklení. Osídlují živé nebo odumírající stromy, jejich vývoj je obvykle krátký, zpravidla několik generací za rok. Typickým představitelem této skupiny je podčeď kůrovcovití (*Scolytinae*), náležící do čeledi nosatcovití (*Curculionidae*).

Druhově charakteristický je systém chodeb zvaný požereky. Požerek zpravidla zakládá samec. Samice poté pokračuje v budování matečné chodby a do jejích stěn klade vajíčka. Larvy po vylíhnutí konzumují lýko a budují potravinové chodby (tzv. larvální nebo larvové chodby) kolmé k matečným chodbám. Larva si pomocí rozšiřování chodem připravuje prostor pro další stádium vývoje – kuklení. Přibližně

1–2 týdny po zakuklení se vylíhne světle zbarvený dospělý jedinec označovaný jako „žlutý brouk“. Ten je následně připravený dospět pomocí tzv. úživného žiru. Po jeho dokončení je brouk schopen reprodukce (Modlinger a Trgala, 2019).

### 3.1.1.1 Lýkožrout smrkový – *Ips typographus*

Lýkožrout smrkový, lidově označován za „kůrovce“, je druh hmyzu z podčeledi kůrovec (*Scolytinae*), náležící do čeledi nosatcovití (*Curculionidae*), z řádu brouci (*Coleoptera*) (Modlinger a Trgala, 2019). Dospělý jedinec, kterého můžeme vidět na Obrázku 3.1, je 4–5,5 mm dlouhý, válcového tvaru, lesklé černohnědé barvy a je pokrytý dlouhými zlatavými chloupky. Vyskytuje se a páchá škody v Evropě, na severu Číny a na Sibiři (Zahradník, 2016).



Obrázek 3.1 Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (Kránský, 2017)

Tento druh se nejčastěji vyskytuje ve smrkových porostech starších 60 let, a to zejména na osluněných stromech, kde probíhá jejich růstový vývoj. Na Obrázku 3.2 můžeme vidět požerkové chodby s larvami lýkožrouta smrkového. Uvnitř porostů se vyskytuje zpravidla pouze při calamitním stavu. Kromě smrku ztepilého může napadat i jiné druhy smrku, výjimečně modřín a při přemnožení (gradaci) i borovici blatku, borovici kleč a vzácně také borovici lesní. U stojacích stromů lýkožrout začíná nálet od část kmene se suchými větvemi až po nasazení koruny se zdravými větvemi. U ležících kmenů není preferovaná žádná část kmene. V nižších polohách,

středoevropských podmínek, se brouk vyskytuje ve dvou pokolení, ve vyšších polohách dosahuje pouze jednoho pokolení. Za příznivých povětrných podmínek dochází k početnějším pokolení (Zahradník, 2016).



**Obrázek 3.2** Chodba lýkožrouta smrkového *Ips typographus* s larvami (Modlinger, 2017)

Ve § 3 vyhlášky č. 76/2018 Sb., je lýkožrout smrkový označen jako kalamitní hmyzí škůdce. V příloze č. 2 této vyhlášky je pro lýkožrouta stanoven:

- **základní stav** – je početní stav lýkožroutů, kdy objem kůrovcového dříví z předchozího roku v průměru nedosáhl  $1 \text{ m}^3$  na 5 ha smrkových porostů a nedošlo k vytváření ohnisek;
- **zvýšený stav** – je takový početní stav, kdy objem kůrovcového dříví v průměru dosáhl nebo překročil  $1 \text{ m}^3$  na 5 ha smrkových porostů a došlo k vytvoření ohnisek; tento stav upozorňuje na možnost kalamitního přemnožení;
- **kalamitní stav** – je takový početní stav, který způsobuje rozsáhlá poškození porostů, kdy objem kůrovcového dříví v průměru dosáhl nebo překročil  $5 \text{ m}^3$  na 5 ha smrkových porostů (Ministerstvo zemědělství, 2018)

### 3.1.1.2 Redukce šíření kůrovce

Zajištění lesa proti kůrovci lze několika způsoby. Stav lesa lze ohlídat kontrolními pochůzkami anebo kontrolními a ochrannými prostředky, jako jsou např. lapáky, které se umísťují k bývalému ohnisku žíru nebo na ohrožená stanoviště. Ohroženým stanovištěm můžeme považovat slunné porostní stěny anebo polomy.

Nejčastěji se setkáme zejména se stromovými lapáky a feromonovými lapači. Na Obrázku 3.3 můžeme vidět stromový lapák a na Obrázku 3.4 ukázkou feromonových lapačů.



**Obrázek 3.3** Odvětvený a přikrytý podložený lapák (archiv VÚLHM, 2018)





**Obrázek 3.4** Feromonové lapače na pasece (Zahradník a Zahradníková, 2016)

Česká technická norma o Ochráně lesa proti kůrovcům na smrku, bod 3.3 Obrana, bod 3.3.2 Odchyťová zařízení, uvádí, že počet těchto opatření je stanoven pro konkrétní kalamitní škůdce (ČSN 481000, 2005).

Jedinou a dlouhodobě ověřenou možností ochrany lesa je znemožnění vývoje dalších jedinců lýkožravého hmyzu. V lesních porostech je potřeba vyhledávat aktivní kůrovcové stromy, napadené stromy, které ještě obsahují larvy. Tyto napadené stromy se obvykle neliší od těch zdravých. Napadený strom poznáme např. podle otvorů na kmeni s drtinky nebo odlupující se kůrou s drtinky. Ke změně barvy jehličí, tzv. rezavění, dochází zpravidla až v době, kdy vyvinutí jedinci kůrovce opustili podkorní prostor. Další možností je pokácení napadených stromů a jejich asanace, tedy přímé zničení potomstva kůrovce (Modlinger a Tragala, 2019).

### **3.1.2 Kůrovcové dřevo**

Strom napadený kůrovcem má z valné většiny poškozenou kůru a lýko stromu. Dřevní část stromu není ve všech případech narušena. Napadený strom postupem času ztrácí na kvalitě a trpí nedostatkem živin. Pokud jsou narušeny podmínky pro růst stromu, strom začne produkovat tzv. reakční dřevo (u nahosemenných druhů stromů – tlakové dřevo, u krytosemenných – tahové dřevo). Stejně jako mladé dřevo se reakční dřevo liší od normálního dřeva nejen anatomicky a fyzikálně, ale i chemicky (Sjöström a Alen, 1999).

Stromy při reakci na zatížení vnějšími či vnitřními faktory, zesilují buněčnou stěnu, která u jehličnatých stromů obsahuje zvýšené množství ligninu a u listnatých stromů obsahuje zvýšené množství celulózy (Křupalová, 2004).

Napadené dřevo je svými chemickými vlastnostmi bohatší o prvky, z kterým lze vytvořit kvalitní buničinu, avšak převážně s nižším výtažkem. Nejspolehlivější metodou pro identifikaci aktivních kůrovcových stromů je přítomnost drtinek (hnědých pilinek) na kmeni stromu (Modlinger a Trgala, 2019). Zpracování kůrovcového dřeva, u kterého se odhalí výskyt kůrovce včas, je velmi podobné zpracování jako u dřeva ze zdravého stromu.

Objem vytěženého dříví po napadení hmyzem v Česku stále roste. V roce 2015 se vytěžilo 2,31 mil. m<sup>3</sup> dříví, v roce 2018 těžba vzrostla na 13,06 mil. m<sup>3</sup> dříví a v roce 2020 se vytěžilo 26,24 mil. m<sup>3</sup> (ČSÚ, 2021).

### **3.2 Papírenská vláknina**

První zmínky o papíru, se datují zhruba 3100 př. n. l. ve starověkém Egyptě, kde jako psací materiál tvořil papyrus. K jeho výrobě se používala rostlina zvaná Šáchor papírodárný. V Asii se od roku 105 n. l. list papír vyráběl pomocí skládání starých hadrů a rostlinných tkání. V 11. století se výroba papíru rozšířila až do Evropy. S rostoucí poptávkou papíru, v první polovině 19. století, textilní odpad nestačil pro potřebnou spotřebu na výrobu papíru. V důsledku toho byly vyvinuty mechanické a chemické metody pro efektivní výrobu papíru ze dřeva (Sixta, 2006).

Papírenská vláknina neboli buničina, je směs neškrobových řetězců polymerních sacharidů. Buničinu získáme z různých druhů rostlinných materiálů chemickým nebo mechanickým postupem. Jako základní surovinu se při výrobě používá bílá a hnědá dřevina, hadrovina (surovina vzniklá recyklací starého oblečení a vláken rostlinného původu), čistá celulóza, odpadový papír a rostlinná celulózová vlákna, jako např. bavlna, konopí nebo len (Prášilová a Kameníček, 2013).

Buničina je celosvětově jednou z nejrozšířenějších surovin, která se používá především jako hlavní složka při výrobě papíru. Používá se také v široké škále celulózových produktů v textilním, potravinářském, farmaceutickém průmyslu. Dřevo dnes tvoří základ pro přibližně 90 % celosvětové produkce buničiny, zbývajících 10 % pochází z jednoletých rostlin. První druhy dřevin, které se k výrobě papíru používaly byly smrky a borovice (Sixta, 2006).

K výrobě buničiny se běžně používá pouze odkorněné kmenové dřevo. Konečná buničina je složena z různých typů vláken, u tvrdého dřeva buničinu získáme z vláken a cév stromu a z měkkého dřeva z cévic stromu (Sjöström a Alen, 1999).

### 3.2.1 Primární papírenská vláknina

Dřevo je složitý komplex různých látek, z nichž základními jsou přírodní polymery celulózy, ligninu a hemicelulózy. Přírodní celulóza je hlavním zdrojem pro získání buničiny. Tvoří podstatnou část buněčných stěn rostlinných i dřevních buněk. Utváří kostru zdřevnatělých buněčných stěn dřeva (Hrazský a Král, 1999).

Při přípravě buničiny se z pletiv celulózy zbavujeme ligninu, hemicelulóz, vosků, tuků a pryskyřic. Kvalitu vlastností buničiny hodnotíme dle rozpustnosti v alkáliích. Podle rozpustnosti, buničinu rozděluje na  $\alpha$ -celulózu,  $\beta$ -celulózu a  $\gamma$ -celulózu. Dále buničinu lze hodnotit podle obsahu ligninu, a to na tvrdé buničiny, které obsahují od 3 do 8 % ligninu. Střední buničinu obsahující 1,5–3 % ligninu a měkké buničiny, ve kterých není více jak 1,5 % (Bučko, 2001).

Základní způsob výroby celulózy lze rozdělit na dva postupy: sulfátový a sulfitový. Oba způsoby probíhají velmi podobným technologickým postupem:

1. Dřevo je nejprve odkorněno.
2. Dřevo je nasekáno na tzv. štěpky o velikosti  $2 \times 2 \times 0,4$  cm.
3. Štěpky jsou provařeny.
4. Ze vzniklé buničiny jsou odstraněny výluhy na pracích filtrech nebo pomocí pracích lisů či bubnů.
5. Nebělená buničina se může bělit. Jak bělená, tak i nebělená buničina je odvodněna a popřípadě sušena (Prášilová a Kameníček, 2013).

#### 3.2.1.1 Sulfitový způsob výroby celulózy

Při sulfitové várci štěpek se jedná o převedení ligninu do rozpustného stavu působením zásadité složky, např. hořčíku, vápníku apod. Sulfitové delignifikační postupy rozdělujeme na kyselé, polokyselé, neutrální a alkalické.

Kyselý delignifikační proces: varný roztok obsahuje oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), vodu ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a hydrogensířičitan vápenatý ( $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ ) nebo dusičnan hořečnatý ( $\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$ ). Proces probíhá za teploty  $140^\circ\text{C}$  a pH 1–2. Celulóza se oddělí od sulfitového výluhu. Vzniklá buničina má nižší pevnost a výraznou bělost. Na výrobu

1 tuny buničiny připadá 4–5 m<sup>3</sup> výluhů. Výluh lze využít převážně díky pojivým vlastnostem ligninu a zužítkovat ho, např. pro výrobu cementu, granulaci hnojiv a úpravu půdy.

Polokyselé sulfítový proces: Roztok o pH v rozmezí 3–5. V tomto procesu lze využít kationtové ionty oxidu hořečnatého (MgO), hydroxidu sodného (NaOH).

Neutrální (zásaditý) sulfítový proces: Varný roztok je připraven ze směsi siřičitanu sodného (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) a uhličitanu sodného (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Proces probíhá za teploty 150–170 °C a pH 8–9.

Alkalický sulfátový proces: Varný roztok obsahuje alkálie v rozsahu pH = 10 a více. Tento způsob v České republice není aplikován (Hrazský a Král, 1999; Kindl, 2016).

Výhodou tohoto způsobu je téměř bezodpadová technologie. Toto zpracování je vhodné pro jehličnaté stromy a u zpracování listnatých stromů je třeba přimíchat celulózu z jehličnatých stromů (Prášilová a Kameníček, 2013).

### **3.2.1.2 Sulfátový způsob výroby celulózy**

Sulfátovým proces je delignifikace rostlinného materiálu, nejčastěji dřevěných štěpek ve varném louhu, který je směsí bílého louhu, sodného louhu, a černého louhu neboli výstupního louhu z praní nebělené buničiny (Hrazský a Král, 1999).

Sulfátové neboli alkalické delignifikační procesy zařazují natronový varný postup, sulfátový varný postup a alkalicko-kyslíkový postup.

Natronový varný postup: v roce 1860 v Pensylvánii se k delignifikaci používal varný roztok 5,5 % hydroxidu sodného (NaOH), při teplotě 150 °C. Dnes se využívá pro zpracování jednoletých rostlin, a zřídka pro zpracování dřeva.

Sulfátový varný postup: varný roztok z hydrogensířičitanu vápenatého (Ca(HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) a kyseliny siřičité (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>). Vzniklá buničina, která je tmavší a pevnější.

Alkalicko-kyslíkový postup: využívá sodného louhu (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) a kyslíku (Hrazský a Král, 1999; Bučko, 2001).

Výhodou sulfátového způsobu výroby celulózy je možnost zpracování všech druhů dřeva a krátká doba vaření.

### 3.2.2 Sulfátová buničina

Hlavním technologickým způsobem výroby papírenské vlákniny je sulfátový způsob (Kindl, 2016). Sulfátový způsob výroby buničiny v posledních letech nabývá na popularitě a nabývá velkého rozvoje po celém světě již několika důvodů:

- Nenáročnost na kvalitu výrobní suroviny.
- Možnost využít jehličnaté, listnaté dřeviny a jednoleté rostliny, případně i napadené dřevo, např. kůrovcem.
- Způsob výroby široké škály celulóznic výrobků od buničiny pro další chemické zpracování přes nebělenou a bělenou papírenskou buničinu, polobuničinu až po vysoko-výtažkovou buničinu.
- Sulfátová buničina se vyznačuje přínosnými fyzikálně – mechanickými vlastnostmi (Bučko, 2001).

### 3.3 Biochar

Biochar, též biouhel, je zuhelněný, černý pevný materiál vyráběný za pomoci termochemické přeměny biomasy za omezeného přístupu kyslíku. Tento proces přeměny se nazývá pyrolýza. Jedná se o moderní metodu, díky které je možné znovu zpracovat bioodpad nebo nadbytek kůrovcového dřeva a zároveň být šetrní k životnímu prostředí (Srp, 2021).

Biochar je materiál velmi podobný dřevěnému uhlí, tj. porézní látka bohatá na uhlík. Biochar obsahuje stabilní uhlík, který nepodléhá oxidaci a rozkladu v půdě. Neuvolňuje se do atmosféry, a tím přispívá k snižování změn klimatu (Pohořelý a kol., 2019).

Složky uhlíku z biocharu se do půdy postupně uvolňují v rozmezí 100–1000 let, tato doba je několikanásobně delší oproti odolnosti ostatních organických látek v půdě. (Verheijen a kol., 2010).

#### 3.3.1 Výroba biocharu

Biochar, jak již bylo řečeno, vyrábíme pomocí procesu zvaný pyrolýza. Jedná se o zplyňování biomasy s cílem dosáhnout kvalitního biouhlu. K výrobě se používá mnoho technologií, jako např. zařízení založené na využití fluidní vrstvy, vertikální etážové pece s prohrabováním etáží, zařízení se šneky ve žlabu, rotační pece,

centrifugálně fungující pyrolyzér, vícestupňový generátor a další pyrolyzní zplyňovací zařízení (Pohořelý a kol., 2019).

Výběr pyrolyzního zařízení závisí na vlastnostech vstupní suroviny, na rychlosti ohřevu biomasy, na teplotě potřebné pro rozklad suroviny (nízko-teplotní, středně-teplotní, vysoko-teplotní pyrolýza), na pracovním tlaku (normální tlak, přetlak a podtlak). Je-li třeba, vstupní surovina je před procesem pyrolýzy zbavena vlhkosti a je upravena na požadovanou velikost, např. v nízko-teplotní sušárně (Pohořelý a kol., 2019).

Finální produkt se může lišit podle toho, na jakém pyrolyzačním stroji proces provádíme. Lze pomocí pyrolizačních stojů vyrobit biochar, pyrolyzní olej, užité teplo a případně i elektrickou energii (Pohořelý a kol., 2019).

### **3.3.2 Použití biocharu**

Díky svým vlastnostem je biocharu věnována velká pozornost, jelikož může díky své schopnosti uchovávat v půdě velké množství uhlíku a pozitivně přispět k lepší kvalitě půdy a mírnit nepříznivé změny klimatu. Jeho porézní struktura je schopna zadržovat vláhu a živiny. Každá zmiňovaná vlastnost biocharu převažuje za jiných výrobních podmínek (Pohořelý a kol., 2019).

Jedním z hlavních důvodů výroby biocharu je jeho aplikace v podobě aditiva do zemědělské půdy. Zde má takovéto vlastnosti:

- Zadržuje vodu v půdě.
- Zvyšuje kvalitu půdy a podporuje růst rostlin.
- Po aplikaci do půdy upravuje v prvních měsících pH půdy.
- Kypří půdu.
- Má schopnost zadržet a zpomalit uvolňování biogenních prvků v hnojivu.
- Stabilizace půdních kontaminantů a zadržuje je před vstupem do rostlin.
- Snižuje rozklad hodnotných látek pro výživu rostlin do podzemních vod (ČZU, 2019a).

Smícháním biocharu se substrátem nebo přímou aplikací do půdy se můžeme setkat i v zahradnictví při výsadbě okrasných rostlin nebo stromů (Pohořelý a kol., 2019).

Rozsáhlejší využití u výsadby stromů nalezneme v lesnictví, kde biochar lze využít jako aditivum, kde:

- Slouží jako pomocný půdní sediment při zakládání lesních školek.
- Podporuje retenční schopnost lesní půdy (ČZU, 2019b).

Biochar lze použít jako příměs do kompostu pro rychlejší biologický rozklad obsahu kompostu. Biochar do kompostu vkládáme po několika vrstvách. Je třeba jednotlivé vrstvy biocharu dobře zakrývat bioodpadem, popřípadě směsí bioodpadu se zeminou. Dodržením tohoto postupu má suchý biochar ideální podmínky pro sorpci vody, uvolněné z bioodpadu, která obsahuje různé živiny. Střídavým vrstvením bioodpadu a biocharu lze docílit:

- Snížení zápachu kompostu a zachycení nutričních prvků (fosfor, vápník, dusík a draslík).
- Zkrácení doby kompostování.
- Zvyšuje pH a nutriční prvky v kompostu (ČZU, 2019c).

Za vysoké kvality a konstantních vlastností lze biochar používat jako krmnou surovinu pro hospodářská zvířata. Podávat ho můžeme jako součást krmiva nebo samostatně. Dle studie, biochar v krmivu vykazuje pozitivní (v některých vzorcích neutrální) účinky jako např.:

- Zvýšení působivosti a kvality krmiva.
- Zvýšení hmotnosti a posílení imunity zvířete.
- Zvýšení nošení a kvality vajec u drůbeže.
- Snížení zápachu a úmrtnosti.
- Celkové zlepšení vzhledu a zdraví zvířat (ČZU 2019d).

Další studie prokázaly vyšší obsah proteinů v masě a vyšší obsah kolagenu ve vejcích. U výrobků s příměsí kvalitního biocharu musí proběhnout certifikace, provedená Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským. Biochar lze použít jako podestýlku pro zemědělská zvířata. Díky své dobré pórovitosti, je schopný nasáknout vodu, ale je také schopen pojmout amoniak vyskytující se v moči. Do podestýlek se obvykle přidává 5–10 % biocharu, jehož množství závisí na kvalitě. (Pohořelý a kol., 2019).

### **3.4 Paperchar a jeho výroba**

Paperchar je materiál, který je vytvořen ze dvou hlavních složek, z papírenské vlákniny a biocharu.

Při výrobě papercharu je nejprve vyrobena biocharová pasta. Biocharová pasta je tvořena biocharem a vodou v hmotnostním poměru 1:3, případě vermitea, tato směs může být doplněna i o hnojiva. Sulfátová vláknina je před zpracováním nejprve nechána ve vodě, kde botná. Botnání umožní snadnější rozvláknění, případně mletí na holandru, Obrázek 3.5. Biochar je do buničiny aplikován v rozvlákňovači, (Obrázek 3.6), kde zároveň dochází i k homogenizaci směsi. Posledním krokem při výrobě papercharu je výroba vlastních archů, ty se vyrábí pomocí tzv. archovače, Obrázek 3.7. V archovači jsou paperchary formovány, odvodněny a vysušeny do konečné podoby pro laboratorní analýzy (Srp, 2021).



**Obrázek 3.5** Laboratorní holandr (Polcar, 2021)





**Obrázek 3.6** Laboratorní rozvlákňovač (Srp, 2021)



**Obrázek 3.6** Laboratorní archovač (Polcar, 2021)

Srp (2021) a Škrabálek (2021) ve svých pracích uvádí papírenské a mechanické vlastnosti papercharu. Autoři došli k závěru, že z hlediska sorpčních vlastností je vhodnější využít pro výrobu papercharu buničinu než sekundární vlákninu, která má menší schopnost na sebe vázat částice biocharu.

Vhodným stupněm mletí buničiny pro výrobu papercharu se zabýval Srp (2021). Autor došel k závěru, že čím byl stupeň mletí vyšší, tím lépe se na vlákno vázal biochar, ale zároveň při vyšším stupni mletí 65 SR docházelo k problematickému odvodnění na papírenském sítu. Nakonec jako nejvhodnější stupeň mletí z hlediska ekonomického a technologického se jevil 40 SR. K obdobnému závěru se dostal i Škrabálek (2021), který se zabýval stupněm mletí a jeho projevením na mechanických vlastnostech, jako je pevnost v tahu, pevnost v průtlaku a odolnost v ohýbání.

Autoři (Srp, 2021; Škrabálek, 2021) se dále zabývali i vhodným procentuálním zastoupením biocharu v papírenské vláknině. Příliš vysoké dávky biocharu způsobovaly problémy s formováním archu, a naopak nízké nejsou schopny řádně vyživit půdu, proto by se výroba nevyplatila. Škrabálek (2021) uvádí, že pevnost v tahu byla nejvyšší pro zanášku 20 % biocharu a pevnost v průtlaku dosahovala nejlepších hodnot mezi 20 až 40 procentuálním zastoupením biocharu. Z těchto zjištění vyplývá optimální množství biocharu 35 až 40 % v papercharu.

### **3.5 Potenciometrické stanovení vody**

Veličina pH je definována jako hodnota, která udává zápornou hodnotu dekadického logaritmu aktivity vodíkových iontů, která je vyjádřena v  $\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ . Aktivita vodíkových iontů je menší než koncentrace vodíkových iontů, a to v důsledku interakcí mezi ionty. Hodnota aktivity vodíkových iontů je téměř stejná jen v případech, kdy je hodnota pH měřena u velmi zředěných roztoků.

Stupnice hodnot pH je definována několika standardními srovnávacími roztoky, jinak také tlumivými roztoky o přesně definovaném složení a její číslo je bezrozměrné. Mezi látky, které se využívají při přípravě těchto roztoků, patří hydrogenvinan draselný, hydrogenftalan draselný, směs hydrogenfosforečnanu disodného s dihydrogenfosforečnanem draselným nebo směs hydrogenuhlíčitanu sodného s uhlíčanem sodným a tetraboritanem sodným. Hodnota pH je zásadní hodnota, podle níž se může dále posuzovat daný vzorek a měření hodnoty pH se provádí u všech druhů vod (ČSN, 2010; Horáková, 2003; Horáková et al., 1989; Pitter, 2015).

### **3.6 Konduktivita vody**

Konduktivita nebo také měrná vodivost vody je základní aditivní vlastnost roztoků elektrolytů, která nám znázorňuje schopnost vody vést elektrický proud. Vodivost vody závisí na složení, koncentraci roztoků a množství vodivých látek ve vodě. Voda obsahuje např. kyseliny, minerály, zásady a jejich soli (Horáková, 2003; MILVIT, 2022).

## 4 Experimentální část

Náplní této práce byl inkubační pokus zkoumající, jaký vliv má paperchar v půdě. Zaměřili jsem se na změnu pH a konduktivity vody a na vybrané biogenní prvky: vápník (Ca), železo (Fe), hořčík (Mg), mangan (Mn), sodík (Na), síra (S).

### 4.1 Zvolené typy půd pro inkubační pokus

Pro inkubační pokus jsme zvolili čtyři typy půdy, a to:

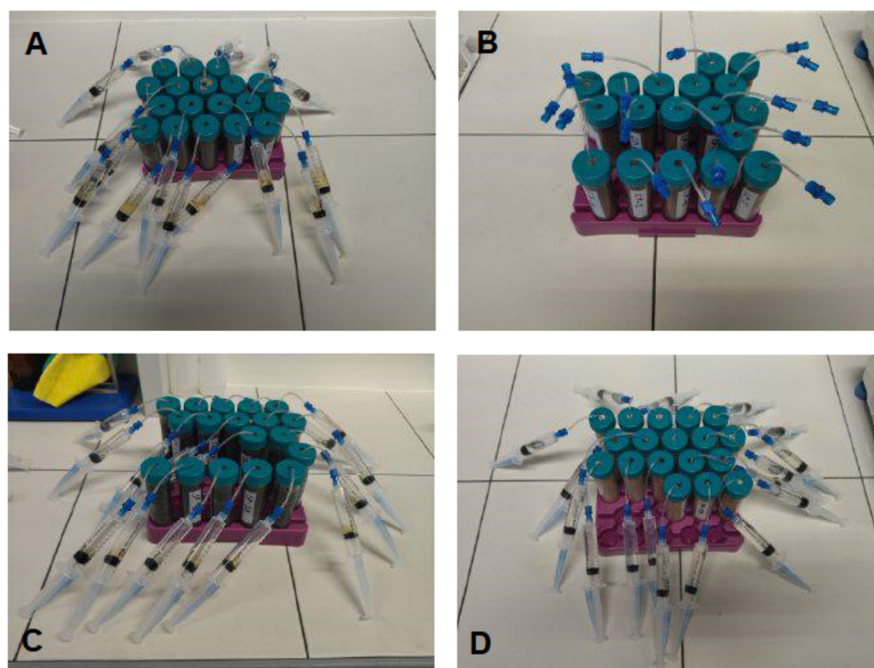
- Zemědělskou půdu z lokality Zvěřínec. V této oblasti se vyskytuje půdní typ regozem. Regosoly vznikají z nezpevněných sedimentů jako jsou písek, štěrkopísek a spraše. Jejich vznik je vázaný na rychlou mineralizaci organické hmoty, které dlouhodobě brání v akumulaci sedimentu v profilu.
- Lesní půdu (z Jevan). Lesní půda je bohatá na organickou hmotu a živé složky v půdě.
- Křemičitý písek. Písečné půdy jsou chudé na živiny a rychle vysychají.
- Sterilní půdu, která je  $\gamma$ -zářením zbavena veškerých živých organismů a půdní organické hmoty (Pavlů, 2019).

### 4.2 Příprava vzorku

Na konci června 2021 byl založen inkubační pokus. Vzorky byly rozděleny do třech skupin. První skupinu tvořily samotné zeminy a další dvě skupiny tvořily zeminy s papercharem obohaceným hnojiv, a to ve dvou verzích. Jednak pro paperchar obohacený roztokem hnojiv, tudíž se dávka hnojiv dávala do papercharu až při rozvláknění hlavních dvou složek. Tak i pro paperchar obohacený pastou tvořenou hnojiv, kdy se hnojiva nechala týden dopředu reagovat s biocharem v pastě.

Nejprve byla stanovena půdní kapacita pro jednotlivé typy zemin a na základě toho se vypočetlo množství, které bylo odváženo do zkumavek. Pro každou půdu bylo naváženo 18 vzorků v sadě po šesti pro jednotlivé skupiny. Do skupiny druhé a třetí se umístil vzorek papercharu o plošné hmotnosti cca 0,25–0,35 g, což odpovídalo velikosti proužku o rozměru 8×1 cm. Následně se do vzorku umístily rhizony, pomocí kterých se voda průběžně v předem časově zvolených intervalech odebírala voda.

Takto připravené vzorky byly doplněny vodou, jejíž objem činil 10–15 ml. Připravený inkubační pokus zobrazuje Obrázek 4.1.



**Obrázek 4.1** Inkubační pokus (A – zemědělská půda, B – lesní půda, C – sterilní půda, D – písek)

### 4.3 Odběr vzorku

Jak již bylo zmíněno, byly zvolené vhodné časové intervaly, které nejprve byly po dnech a následně se prodloužily na týden.

Odběr vzorku probíhal pomocí injekční stříkačky, kdy bylo z jednotlivých zkumavek odebráno cca 10 ml vzorku kapaliny a ta byla přesunuta do plastových zkumavek. U tohoto množství bylo analyzováno pH a konduktivita. Po analýze těchto dvou parametrů, byl vzorek ředěn pro další analýzy, jednotlivé ředění je zmíněno v následujících kapitolách u daných stanovení.

### 4.4 Analýza vzorku

#### 4.4.1 Měření pH

Jelikož se pH hodnota vzorků vody rychle mění v důsledku chemických, fyzikálních nebo biologických pochodů, bylo měření provedeno co nejdříve po odběru, jak uvádí i ČSN ISO 10523 (ČSN, 2010). Měření probíhalo pomocí pHmetru, Obrázek 4.2.

Tudíž po převedení vzorku do plastové zkumavky byla hodnota pH ihned měřena. Elektrodu mezi jednotlivým měření bylo nutné opláchnout v destilované vodě, aby na elektrodě nezůstaly zbytky předchozího vzorku.



Obrázek 4.2 pHmetr (Merci, 2022)

#### 4.4.2 Měření konduktivity

Konduktivita vzorku byla měřena hned po stanovení hodnoty pH. Měření probíhalo obdobně jako právě stanovení hodnoty pH, avšak v tomto případě byl použit konduktometr, Obrázek 4.3. Vodivostní sonda konduktometru byla ponořena do zkumavky se vzorkem, pak byla odečtena hodnota z displeje konduktometru. Shodně jako u předchozí analýzy, je nutné i vodivostní sondy mezi jednotlivými vzorky omýt v destilované vodě.

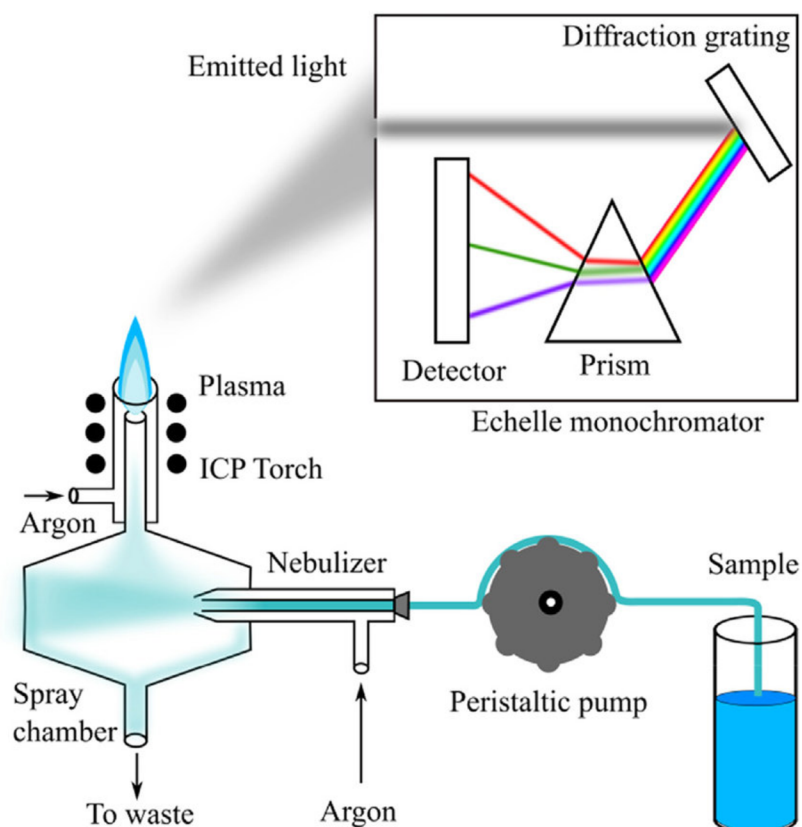


Obrázek 4.3 Konduktometr (HPST, 2022)

#### 4.4.3 Stanovení biogenních prvků

U každého vzorku bylo stanoveno zastoupení stopových a významných prvků, a to pomocí ICP-OES analyzátoru, což je emisní spektrofotometrie s indukčně vázaným plazmatem, Obrázek 4.4.

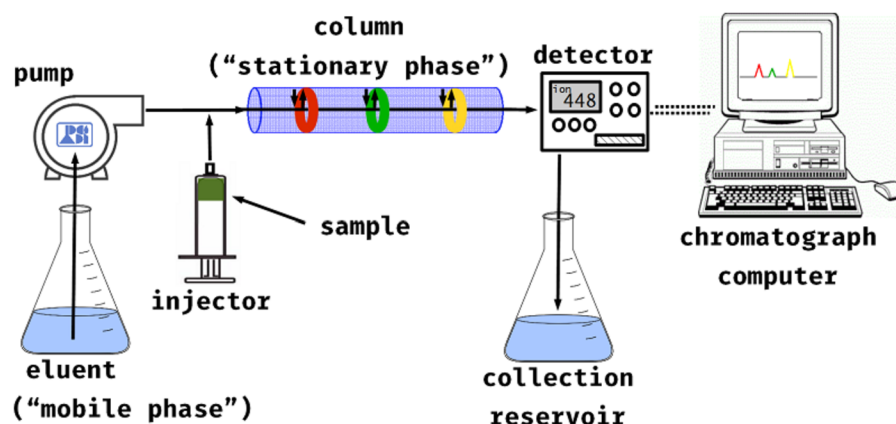
Vzorky pro tuto analýzu musely být nejprve ředěny. V případě měření analýzy stopových prvků byla využívána k ředění 2% kyselina dusičná, v našem případě byl vzorek ředěn 10× do plastové zkumavky.



Obrázek 4.4 Princip ICP-OES analýzy (Cherevko a Mayrhofer, 2017)

#### 4.4.4 Stanovení iontů

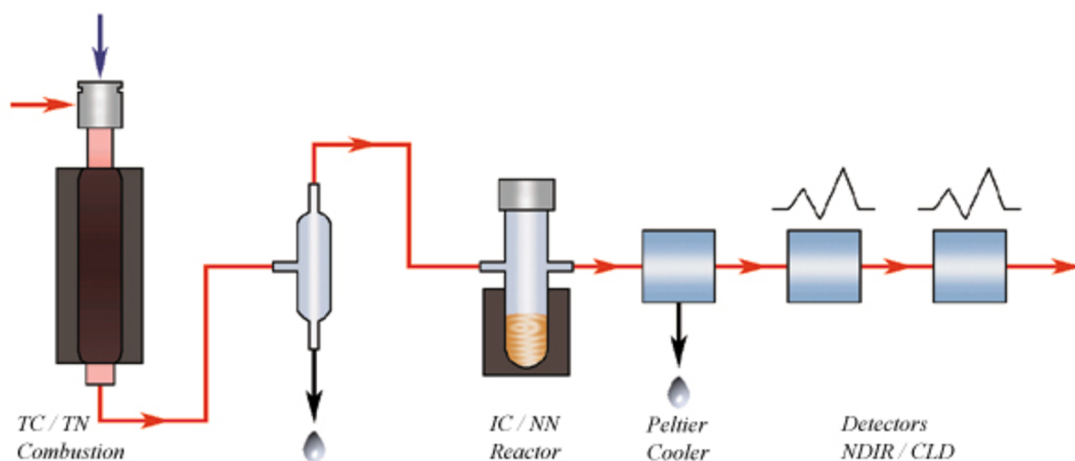
Iontová chromatografie je založena na silných elektrostatických silách mezi ionizovanými funkčními skupinami měniče a ionty v okolním roztoku, Obrázek 4.5. Stanovení iontů bylo u některých aniontů tak nepatrné, proto nebylo ani celou dobu inkubačního pokusu analyzováno. U vzorků, kde analýza probíhala bylo opět provedeno ředění 10× do plastové zkumavky, v tomto případě byl však vzorek ředěn pomocí destilované vody.



Obrázek 4.5 Princip iontové chromatografie (PROCESS SCIENCES, 2021)

#### 4.4.5 Stanovení celkového dusíku a uhlíku

Stanovení celkového dusíku a uhlíku probíhalo na analyzátoru celkového organického uhlíku, toto zařízení pracuje na základě vysokoteplotního katalytického spalování, Obrázek 4.6. V našem případě byly analyzovány čtyři veličiny, a to celkový organický uhlík (TOC), celkový uhlík (TC), celkový anorganický uhlík (TIC) a celkový dusík (TN).



Obrázek 4.6 Princip analýzy celkového dusíku a uhlíku (SKALAR, 2022)

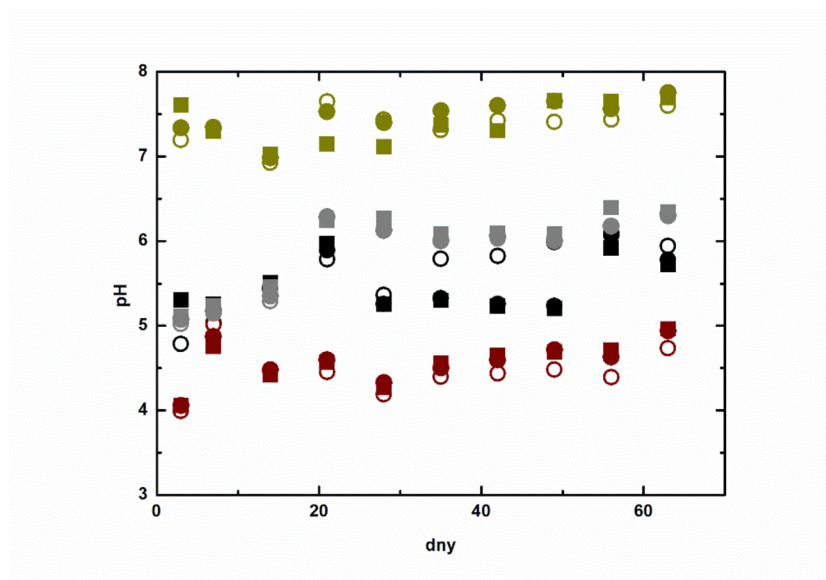
Stejně jako u předchozích měření musel i zde být vzorek naředěn, avšak nyní pro stanovení byly použity skleněné vialky o objemu 20 ml, do kterých byl vzorek ředěn 5× pomocí destilované vody. Tyto vialky byly opatřeny silným hliníkovým alobalem, který pak při měření propíchně měřící sonda.



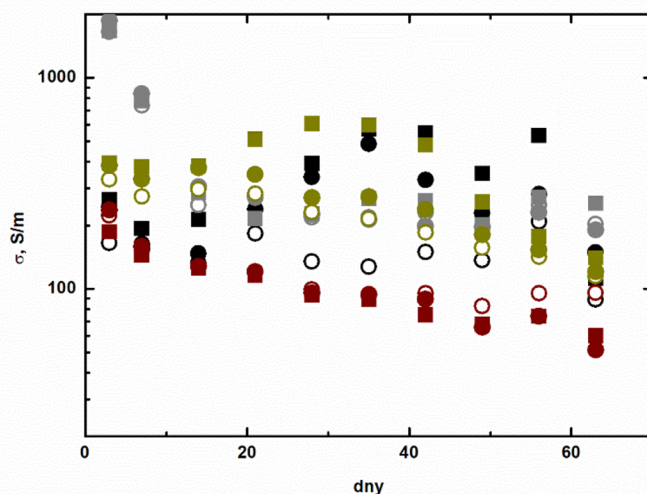
## 5 Výsledky a diskuse

V této práci byly pomocí inkubačního pokusu sledovány změny složení vody a půdy. Vzorky pro každou zeminu byly jak pro samotné zeminy, tak pro zeminu s papercharem obohaceným hnojivem. A to jednak pro paperchar obohacený roztokem hnojiv, tak i pro paperchar obohacený pastou tvořenou hnojivem. U každého vzorku se v předem daných časových intervalech stanovuje pH, vodivost, iontová analýza, ICP-OES a množství celkového dusíku a uhlíku.

Jelikož paperchary neobsahovaly takové množství hnojiv, jaké bylo původně očekáváno, tudíž i do půdy nepřecházely živiny, byl tento inkubační pokus po dvou měsících zastaven, výsledky z něj jsou uvedeny na následujících obrázcích. Na Obrázku 5.1 a 5.2 jsou uvedeny hodnoty pro hodnotu pH a konduktivitu.



**Obrázek 5.1** Závislost pH na délce trvání inkubačního pokusu (○—vzorek bez papercharu, ●—vzorek s papercharem tvořený suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■—vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●—zemědělská půda, ●—lesní půda, ○—sterilní půda, ●—písek)



**Obrázek 5.2** Závislost vodivosti na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek)

Z Obrázku 5.1 je zřejmé, že vzorky bez papercharu mají podle očekávání nižší hodnotu pH než vzorky s vloženým papercharem obohaceným o živiny. To jisté, je téměř ve všech případech i z hlediska konduktivity. Jedinou výjimku tvoří lesní půda, kde vodivost je téměř shodná, jak pro vzorky bez, tak pro vzorky s papercharem.

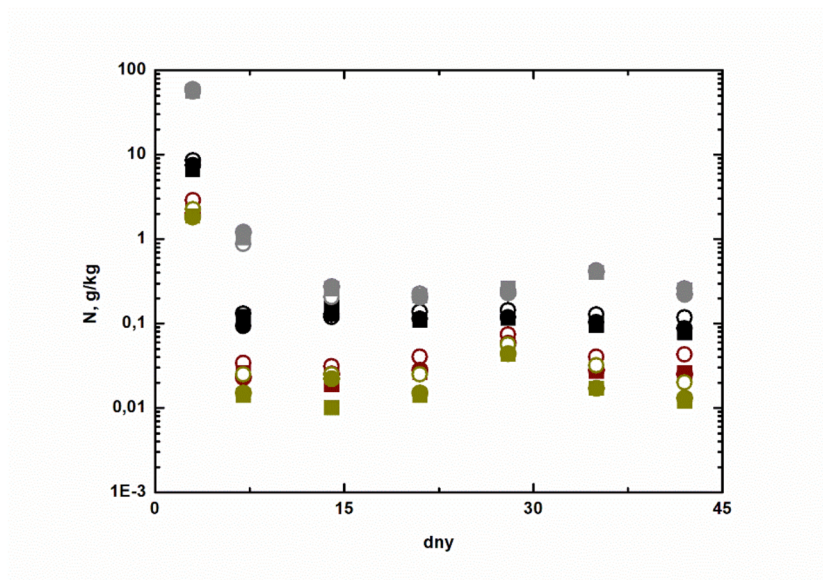
V případě uhlíku jsou uvedeny hodnoty v Tabulce 5.1. V Tabulce jsou uváděny hodnoty pouze pro celkový organický uhlík – TOC, jelikož hodnoty anorganického uhlíku byly zanedbatelné, tak se téměř hodnota celkové uhlíku neměnila.

**Tabulka 5.1** Organický uhlík, g·kg<sup>-1</sup>

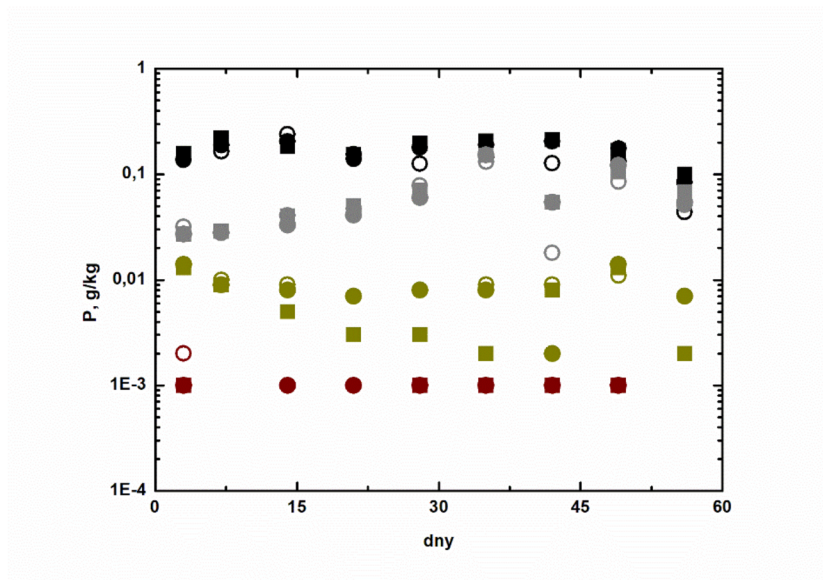
(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr | 4. odběr | 5. odběr | 6. odběr | 7. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 1,858    | 1,639    | 1,313    | 1,445    | 1,074    | 1,038    | 0,859    |
|                 | paperchar A    | 1,327    | 1,149    | 1,383    | 1,356    | 1,466    | 2,218    | 1,270    |
|                 | paperchar B    | 1,323    | 1,533    | 1,869    | 1,997    | 1,569    | 2,404    | 1,918    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 1,963    | 1,054    | 0,832    | 0,670    | 0,663    | 0,566    | 0,432    |
|                 | paperchar A    | 1,232    | 0,611    | 0,585    | 0,538    | 0,494    | 0,434    | 0,383    |
|                 | paperchar B    | 1,221    | 0,697    | 0,537    | 0,497    | 0,475    | 0,439    | 0,340    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 2,762    | 2,757    | 3,313    | 3,829    | 3,733    | 7,635    | 4,448    |
|                 | paperchar A    | 2,468    | 2,709    | 3,022    | 3,465    | 3,386    | 7,538    | 3,896    |
|                 | paperchar B    | 2,745    | 3,021    | 3,305    | 3,490    | 4,023    | 6,968    | 4,393    |
| Písek           | bez papercharu | 0,328    | 0,228    | 0,188    | 0,210    | 0,198    | 0,157    | 0,101    |
|                 | paperchar A    | 0,227    | 0,141    | 0,132    | 0,182    | 0,149    | 0,122    | 0,089    |
|                 | paperchar B    | 0,254    | 0,174    | 0,137    | 0,445    | 0,590    | 0,450    | 0,407    |

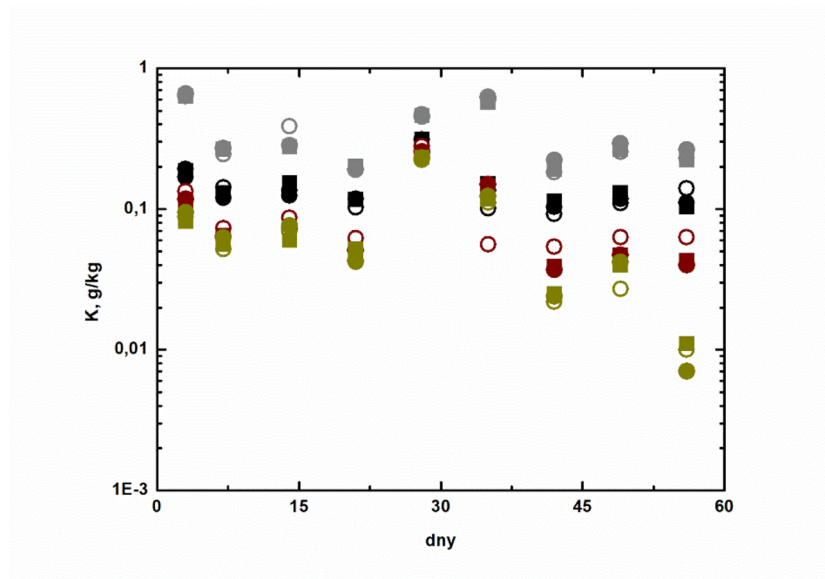
Výsledky v Tabulce 5.1 poukazují na mírné zvýšení nebo shodné výsledky uvolněného organického uhlíku po přidavku hnojiva, a to v obou případech papercharů, což poukazuje na relativně stabilní formu organické hmoty, která byla přidána do půd formou organického hnojiva. Kromě uhlíku bylo analyzováno NPK (dusík, fosfor, draslík), které je uvedeno na Obrázcích 5.2 až 5.4.



**Obrázek 5.3** Závislost množství dusíku na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek)



**Obrázek 5.4** Závislost množství fosforu na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek)



**Obrázek 5.5** Závislost množství draslíku na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek)

Z výsledků v Obrázcích 5.3 až 5.5 je zřejmé, že přidavek hnojiv jednoznačně nezvyšuje všechny hodnoty oproti vzorkům bez ošetření. Dochází k mírnému zvýšení, to je způsobeno zřejmě malou koncentrací hnojiv ve vzorku. Ze zastoupení NPK můžeme pozorovat i to, že po měsíci a půl inkubace jsou hodnoty konstantní. Z dodaných hnojiv tedy lze usuzovat, že představují pomalu rozpustné hnojivo, které se nejprve uvolní a následně se postupně uvolňuje a je tak v dostatečném množství potenciálně dostupné i pro rostliny.

**Tabulka 5.2** Dusičnany,  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,019    | 0,015    | 0,779    |
|                 | paperchar A    | 0,053    | 0,009    | 0,551    |
|                 | paperchar B    | 0,008    | 0,010    | 0,559    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,022    | 0,028    | 0,787    |
|                 | paperchar A    | 0,016    | 0,010    | 0,605    |
|                 | paperchar B    | 0,040    | 0,022    | 0,393    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 9,087    | 4,090    | –        |
|                 | paperchar A    | 10,122   | 5,404    | –        |
|                 | paperchar B    | 8,947    | 4,625    | –        |
| Písek           | bez papercharu | 0,006    | 0,016    | –        |
|                 | paperchar A    | 0,005    | 0,008    | –        |
|                 | paperchar B    | 0,006    | 0,009    | –        |

**Tabulka 5.3** Fosforečnany, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,038    | 0,409    | 0,399    |
|                 | paperchar A    | 0,080    | 0,370    | 0,409    |
|                 | paperchar B    | 0,055    | 0,424    | 0,234    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
|                 | paperchar A    | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
|                 | paperchar B    | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 0,020    | 0,037    | –        |
|                 | paperchar A    | 0,016    | 0,031    | –        |
|                 | paperchar B    | 0,018    | 0,029    | –        |
| Písek           | bez papercharu | 0,015    | 0,017    | –        |
|                 | paperchar A    | 0,013    | 0,017    | –        |
|                 | paperchar B    | 0,010    | 0,018    | –        |

**Tabulka 5.4** Sířany, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,213    | 0,148    | 0,042    |
|                 | paperchar A    | 0,412    | 0,196    | 0,027    |
|                 | paperchar B    | 0,374    | 0,191    | 0,004    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,488    | 0,451    | 0,286    |
|                 | paperchar A    | 0,667    | 0,560    | 0,388    |
|                 | paperchar B    | 0,552    | 0,502    | 0,342    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 0,855    | 0,670    | –        |
|                 | paperchar A    | 1,246    | 0,976    | –        |
|                 | paperchar B    | 1,019    | 0,822    | –        |
| Písek           | bez papercharu | 0,170    | 0,108    | –        |
|                 | paperchar A    | 0,298    | 0,252    | –        |
|                 | paperchar B    | 0,244    | 0,201    | –        |

Iontová analýza u některých aniontů byla tak nepatrná, že nejsou uvedeny v tabulkách. V předcházejících Tabulkách 5.2 až 5.4 jsou uvedeny hodnoty pro dusičnany, fosforečnany a sířany. Kromě těchto aniontů byly měřeny ještě fluoridy, chloridy, dusitany a bromidy, ale jak již bylo řečeno jejich výsledky nebyly inkubačním pokusem ovlivněny, proto nejsou uvedeny v tabulkách.

Poslední analýza kapaliny z inkubačního pokusu byla ICP-OES, kde bylo zjištěno zastoupení jednotlivých prvků. V tabulkách 5.5 až 5.10 jsou uvedeny hodnoty pro vápník, železo, hořčík, mangan, sodík a síra. U hliníku, arsenu, boru, barya, beryllia, kadmia, kobaltu, lithia, molybdenu, niklu, olova, selenu, stroncia, titanu, thallia, vanadu byly hodnoty zanedbatelné.

**Tabulka 5.5** Vápník, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr | 4. odběr | 5. odběr | 6. odběr | 7. odběr | 8. odběr | 9. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,163    | 0,115    | 0,168    | 0,107    | 0,110    | 0,123    | 0,105    | 0,164    | 0,086    |
|                 | paperchar A    | 0,164    | 0,174    | 0,239    | 0,300    | 0,425    | 0,413    | 0,302    | 0,268    | 0,151    |
|                 | paperchar B    | 0,272    | 0,308    | 0,487    | 0,339    | 0,547    | 0,569    | 0,408    | 0,445    | 0,159    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,091    | 0,050    | 0,057    | 0,048    | 0,038    | 0,040    | 0,084    | 0,052    | 0,040    |
|                 | paperchar A    | 0,102    | 0,053    | 0,060    | 0,043    | 0,045    | 0,050    | 0,037    | 0,039    | 0,036    |
|                 | paperchar B    | 0,092    | 0,051    | 0,049    | 0,039    | 0,034    | 0,038    | 0,039    | 0,037    | 0,035    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 1,674    | 0,564    | 0,639    | 0,506    | 0,715    | 1,360    | 0,477    | 0,685    | 0,498    |
|                 | paperchar A    | 1,820    | 0,614    | 0,606    | 0,465    | 0,592    | 1,228    | 0,695    | 0,846    | 0,530    |
|                 | paperchar B    | 1,682    | 0,625    | 0,663    | 0,590    | 0,763    | 1,359    | 0,658    | 0,905    | 0,593    |
| Písek           | bez papercharu | 0,446    | 0,396    | 0,418    | 0,284    | 0,309    | 0,357    | 0,258    | 0,204    | 0,164    |
|                 | paperchar A    | 0,553    | 0,526    | 0,502    | 0,365    | 0,404    | 0,464    | 0,424    | 0,286    | 0,183    |
|                 | paperchar B    | 0,638    | 0,532    | 0,832    | 0,983    | 0,915    | 0,844    | 0,298    | 0,481    | 0,395    |

**Tabulka 5.6** Železo, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr | 4. odběr | 5. odběr | 6. odběr | 7. odběr | 8. odběr | 9. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,151    | 0,238    | 0,445    | 0,341    | 0,334    | 0,423    | 0,283    | 0,580    | 0,191    |
|                 | paperchar A    | 0,141    | 0,337    | 0,571    | 0,730    | 1,439    | 1,428    | 0,853    | 0,977    | 0,361    |
|                 | paperchar B    | 0,235    | 0,644    | 1,120    | 0,920    | 1,761    | 1,875    | 1,221    | 1,418    | 0,402    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,023    | 0,020    | 0,024    | 0,025    | 0,021    | 0,012    | 0,014    | 0,011    | 0,009    |
|                 | paperchar A    | 0,014    | 0,012    | 0,012    | 0,016    | 0,016    | 0,018    | 0,013    | 0,012    | 0,007    |
|                 | paperchar B    | 0,015    | 0,013    | 0,011    | 0,015    | 0,014    | 0,017    | 0,008    | 0,011    | 0,009    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 0,008    | 0,018    | 0,043    | 0,070    | 0,157    | 0,260    | 0,040    | 0,163    | 0,098    |
|                 | paperchar A    | 0,006    | 0,015    | 0,027    | 0,053    | 0,095    | 0,253    | 0,110    | 0,229    | 0,115    |
|                 | paperchar B    | 0,007    | 0,016    | 0,038    | 0,079    | 0,158    | 0,388    | 0,137    | 0,254    | 0,181    |
| Písek           | bez papercharu | 0,000    | 0,001    | 0,001    | 0,006    | 0,007    | 0,008    | 0,000    | 0,001    | 0,001    |
|                 | paperchar A    | 0,000    | 0,001    | 0,002    | 0,007    | 0,008    | 0,011    | 0,002    | 0,006    | 0,001    |
|                 | paperchar B    | 0,000    | 0,001    | 0,015    | 0,046    | 0,057    | 0,010    | 0,002    | 0,010    | 0,001    |

**Tabulka 5.7** Hořčík, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr | 4. odběr | 5. odběr | 6. odběr | 7. odběr | 8. odběr | 9. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,027    | 0,024    | 0,033    | 0,024    | 0,025    | 0,028    | 0,028    | 0,037    | 0,015    |
|                 | paperchar A    | 0,026    | 0,035    | 0,048    | 0,069    | 0,097    | 0,093    | 0,067    | 0,059    | 0,028    |
|                 | paperchar B    | 0,041    | 0,063    | 0,094    | 0,072    | 0,114    | 0,118    | 0,089    | 0,085    | 0,028    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,028    | 0,021    | 0,018    | 0,015    | 0,015    | 0,015    | 0,032    | 0,020    | 0,012    |
|                 | paperchar A    | 0,026    | 0,017    | 0,016    | 0,012    | 0,012    | 0,014    | 0,011    | 0,011    | 0,008    |
|                 | paperchar B    | 0,024    | 0,019    | 0,015    | 0,011    | 0,012    | 0,012    | 0,010    | 0,011    | 0,008    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 0,220    | 0,080    | 0,082    | 0,070    | 0,098    | 0,193    | 0,072    | 0,093    | 0,061    |
|                 | paperchar A    | 0,244    | 0,089    | 0,078    | 0,064    | 0,081    | 0,176    | 0,102    | 0,112    | 0,065    |
|                 | paperchar B    | 0,227    | 0,090    | 0,085    | 0,082    | 0,107    | 0,195    | 0,092    | 0,120    | 0,076    |
| Písek           | bez papercharu | 0,072    | 0,073    | 0,063    | 0,044    | 0,046    | 0,054    | 0,034    | 0,025    | 0,017    |
|                 | paperchar A    | 0,093    | 0,098    | 0,080    | 0,058    | 0,061    | 0,092    | 0,033    | 0,040    | 0,020    |
|                 | paperchar B    | 0,107    | 0,105    | 0,121    | 0,124    | 0,100    | 0,093    | 0,038    | 0,056    | 0,028    |

**Tabulka 5.8** Mangan, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr | 4. odběr | 5. odběr | 6. odběr | 7. odběr | 8. odběr | 9. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,027    | 0,025    | 0,036    | 0,028    | 0,026    | 0,032    | 0,027    | 0,041    | 0,020    |
|                 | paperchar A    | 0,025    | 0,031    | 0,043    | 0,065    | 0,094    | 0,090    | 0,063    | 0,061    | 0,032    |
|                 | paperchar B    | 0,034    | 0,051    | 0,081    | 0,069    | 0,115    | 0,117    | 0,076    | 0,092    | 0,031    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,043    | 0,030    | 0,029    | 0,022    | 0,023    | 0,027    | 0,023    | 0,033    | 0,024    |
|                 | paperchar A    | 0,034    | 0,022    | 0,022    | 0,020    | 0,021    | 0,020    | 0,014    | 0,022    | 0,012    |
|                 | paperchar B    | 0,037    | 0,026    | 0,022    | 0,017    | 0,016    | 0,016    | 0,019    | 0,026    | 0,019    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 0,053    | 0,028    | 0,039    | 0,039    | 0,056    | 0,091    | 0,033    | 0,051    | 0,036    |
|                 | paperchar A    | 0,048    | 0,028    | 0,033    | 0,034    | 0,043    | 0,090    | 0,051    | 0,065    | 0,038    |
|                 | paperchar B    | 0,049    | 0,030    | 0,040    | 0,045    | 0,058    | 0,103    | 0,049    | 0,069    | 0,044    |
| Písek           | bez papercharu | 0,003    | 0,002    | 0,001    | 0,001    | 0,000    | 0,000    | 0,000    | 0,000    | 0,000    |
|                 | paperchar A    | 0,003    | 0,003    | 0,001    | 0,002    | 0,000    | 0,001    | 0,014    | 0,003    | 0,000    |
|                 | paperchar B    | 0,007    | 0,007    | 0,027    | 0,054    | 0,057    | 0,040    | 0,000    | 0,008    | 0,013    |

**Tabulka 5.9** Sodík, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr | 4. odběr | 5. odběr | 6. odběr | 7. odběr | 8. odběr | 9. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,023    | 0,017    | 0,019    | 0,038    | 0,023    | 0,012    | 0,012    | 0,016    | 0,011    |
|                 | paperchar A    | 0,039    | 0,033    | 0,031    | 0,043    | 0,035    | 0,021    | 0,020    | 0,026    | 0,015    |
|                 | paperchar B    | 0,041    | 0,033    | 0,034    | 0,040    | 0,034    | 0,023    | 0,020    | 0,028    | 0,013    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,093    | 0,067    | 0,056    | 0,062    | 0,054    | 0,038    | 0,037    | 0,044    | 0,033    |
|                 | paperchar A    | 0,113    | 0,081    | 0,075    | 0,067    | 0,072    | 0,069    | 0,039    | 0,049    | 0,036    |
|                 | paperchar B    | 0,093    | 0,070    | 0,058    | 0,059    | 0,053    | 0,056    | 0,034    | 0,043    | 0,037    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 0,136    | 0,071    | 0,079    | 0,074    | 0,075    | 0,133    | 0,053    | 0,060    | 0,041    |
|                 | paperchar A    | 0,162    | 0,090    | 0,077    | 0,074    | 0,078    | 0,153    | 0,075    | 0,078    | 0,053    |
|                 | paperchar B    | 0,151    | 0,090    | 0,077    | 0,074    | 0,088    | 0,145    | 0,059    | 0,077    | 0,046    |
| Písek           | bez papercharu | 0,065    | 0,043    | 0,031    | 0,037    | 0,030    | 0,032    | 0,013    | 0,016    | 0,012    |
|                 | paperchar A    | 0,089    | 0,061    | 0,043    | 0,037    | 0,039    | 0,052    | 0,015    | 0,035    | 0,014    |
|                 | paperchar B    | 0,100    | 0,057    | 0,040    | 0,041    | 0,039    | 0,039    | 0,019    | 0,034    | 0,011    |

**Tabulka 5.10** Sír, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva)

| Typ půdy        | Typ papercharu | 1. odběr | 2. odběr | 3. odběr | 4. odběr | 5. odběr | 6. odběr | 7. odběr | 8. odběr | 9. odběr |
|-----------------|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Zemědělská půda | bez papercharu | 0,107    | 0,069    | 0,073    | 0,074    | 0,069    | 0,050    | 0,034    | 0,039    | 0,055    |
|                 | paperchar A    | 0,122    | 0,081    | 0,061    | 0,072    | 0,066    | 0,046    | 0,035    | 0,036    | 0,044    |
|                 | paperchar B    | 0,138    | 0,082    | 0,060    | 0,069    | 0,066    | 0,044    | 0,036    | 0,033    | 0,040    |
| Lesní půda      | bez papercharu | 0,165    | 0,112    | 0,089    | 0,094    | 0,097    | 0,070    | 0,055    | 0,056    | 0,042    |
|                 | paperchar A    | 0,209    | 0,129    | 0,113    | 0,117    | 0,112    | 0,114    | 0,061    | 0,071    | 0,048    |
|                 | paperchar B    | 0,172    | 0,125    | 0,100    | 0,099    | 0,096    | 0,098    | 0,062    | 0,074    | 0,054    |
| Sterilní půda   | bez papercharu | 0,305    | 0,203    | 0,163    | 0,132    | 0,142    | 0,253    | 0,140    | 0,119    | 0,077    |
|                 | paperchar A    | 0,375    | 0,249    | 0,182    | 0,143    | 0,151    | 0,274    | 0,138    | 0,131    | 0,087    |
|                 | paperchar B    | 0,319    | 0,239    | 0,187    | 0,150    | 0,167    | 0,245    | 0,126    | 0,107    | 0,060    |
| Písek           | bez papercharu | 0,047    | 0,027    | 0,018    | 0,036    | 0,038    | 0,037    | 0,008    | 0,010    | 0,007    |
|                 | paperchar A    | 0,088    | 0,049    | 0,025    | 0,036    | 0,037    | 0,040    | 0,007    | 0,019    | 0,006    |
|                 | paperchar B    | 0,075    | 0,033    | 0,020    | 0,030    | 0,035    | 0,034    | 0,006    | 0,020    | 0,004    |

Jelikož výsledky inkubačního pokusu neprokázaly vliv papercharu, byl tento experiment předčasně ukončen. Jediné, co se projevilo jako kladné zjištění je, že i po dvou měsících se paperchar v půdě nerozložil a zachoval v půdě konstantní obsah anorganického uhlíku. K tomuto výsledku, došli ve své studii i Verheijen a kol. (2010), kteří tyto vlastnosti přisuzují biocharu, který je v půdě velmi odolný vůči rozkladu a efektivně zadržuje obsah uhlíku v půdě.

Jak zmiňuje Doan a kol. (2015) aplikací vermikompostu do půdy lze sledovat zlepšený růst a výnos rostlin, ale výsledky jsou významné pouze při omezené dostupnosti vody. V našem případě byla voda do zemin aplikována jednou týdně, což jsou optimální podmínky. Určitě by nestálo za škodu zopakovat tento pokus a vystavit



zeminy, popřípadě rostliny stresu. K těmto výsledkům autoři došli při aplikaci aditiva ke kukuřici a plevelu po dobu 3 let. Je možné že doba trvání studie pozitivně ovlivnila výsledky.

Toto téma, zabývající se snahou navrácení živin a oživení degradované půdy má velkou budoucnost. Kombinací vermikompostu a biocharu můžeme nejen zlepšit produktivitu rostlin, ale také snížit negativní dopad zemědělství na kvalitu vody (Doan a kol., 2015).

Das a kol. (2020) se ve své studii zabývali novými poznatky o nejmodernějším potenciálu biocharu, a to odstraňování těžkých kovů a toxicky znečišťujících látek ve vodě nebo půdě. Biochar tedy lze významně použít ke snížení biologické dostupnosti různých persistentních a toxických organických polutantů, vyskytujících se ve vodě nebo půdě, prostřednictvím sorpční vlastnosti této látky.

Pokud jde o problematiku zmírnění změny klimatu, je třeba biochar posuzovat souběžně s jinými strategiemi zmírňování a nelze jej považovat za alternativu ke snížení emisí skleníkových plynů. Z hlediska ochrany půdy může být biochar součástí širšího praktického balíčku zavedených strategií, a kombinací s jinými technikami (Verheijn a kol., 2010).

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit vliv pyrolyzovaného kůrovcového dřeva na pH a vodivost vody v různých typech půdy pomocí inkubačního pokusu.

Do čtyř typů půd: zemědělské půdy, lesní půdy, křemičitého písku a sterilizované půdy byl aplikován paperchar o plošné hmotnosti cca 0,25–0,35 g, což odpovídalo velikosti proužku o rozměru 8×1 cm. Díky vlastnostem biocharu a papírenské vlákniny tyto papercharové proužky zůstaly po dobu pokusu nerozloženy a zůstaly vcelku. Do vzorků se v časových intervalech doplňovala voda, na které se po odběrech analyzovalo pH a konduktivita. Dále tyto vzorky byly použity pro další analýzy. V našem případě pro stanovení biogenních prvků, iontů a celkového dusíku a uhlíku.

Bohužel v tomto inkubačním pokusu se nepodařilo prokázat výrazný vliv papercharu na pH, konduktivitu, nebo zastoupení prvků či vybraných iontů. Nejspíše z důvodu toho, že paperchary neobsahovaly takové množství hnojiv, jaké bylo původně očekáváno.

Přesto, biochar má potenciál do budoucna k dalším studiím zabývající se touto tematikou. Například s využitím výrobních surovin bez obsahu ligninu (zbytky plodin, hnůj, bioodpad). Jak již bylo řečeno, jedna z variant, která to způsobuje je malé množství hnojiv aplikované do papercharu. Další variantou může být typ papírenské vlákniny, která má zásadité pH sama o sobě, tudíž může mít negativní vliv na zastoupení některých prvků.

V další etapě toho výzkumu by bylo dobré se zaměřit právě na jiné koncentrace hnojiv, které budou do papercharu aplikovány a na jiné vlákniny, např. sulfitová buničina nebo natronová buničina.

## 7 Seznam literatury

1. BUČKO, J., 2001: Chemické spracúvanie dreva v teórii a praxi. Zvolen: Technická univerzita ve Zvolenu, 427 s. ISBN 80-228-1089-4.
2. ČSN 48 1000: Ochrana lesa proti kůrovcům na smrku. Praha: Český normalizační institut, 2005. 8 s.
3. ČSN ISO 10523: Jakost vod – Stanovení pH. Praha: Český normalizační institut, 2010. 20 s.
4. ČSÚ, 2021: Těžba dřeva podle druhů dřevin a typu nahodilé těžby 2000-2020 (online) [cit.2022.02.04]. Dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/czso/tezba-dreva-podle-druhu-drevin-a-typu-nahodile-tezby>>
5. ČZU, 2019a: Biochar v zemědělské půdě (online) [cit.2022.02.02]. Dostupné z <<https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15155-biochar-v-zemedelske-pude/biochar-v-zemedelske-pude.html>>
6. ČZU, 2019b: Biochar v lesnictví (online) [cit.2022.02.02]. Dostupné z <<https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15185-biochar-v-lesnictvi/biochar-v-lesnictvi.html>>
7. ČZU, 2019c: Biochar v kompostu (online) [cit.2022.02.02]. Dostupné z <<https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15156-biochar-v-kompostu>>

8. ČZU, 2019d: Biochar jako krmivo (online) [cit.2022.02.02]. Dostupné z <<https://v4biochar.czu.cz/cs/r-15068-o-biocharu/r-15157-biochar-jako-krmivo/biochar-jako-krmivo.html>>
9. DAS, S. K., GHOSH, G. K., AVASTHE, R., 2020: Biochar aplication for enviromental management and toxic pollutant remediation (online) [cit.2022.03.22]. Dostupné z < <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-020-01078-1>>
10. DOAN, T. T., HENRY-DES-TUREAUX, T., RUMPEL, C., JANEAU, J. L., JOUQUET, P., 2015: Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. *Science of Total Environment*, 147–154.
11. HLÁSNÝ, T., KROKENE, P., LIEBHOLD, A. M., MONTAGNÉ-HUCK, C., MÜLLER, J., RAFFA, K. F., SCHELHAAS, M., SEIDL, R., SVOBODA, M., VIIRI, H., 2020: Život s kůrovcem: Dopady, výhledy a řešení – A Czech version of the study Living with bark beetles (online) [cit.2021.12.14]. Dostupné z <[https://www.researchgate.net/publication/344380551\\_Zivot\\_s\\_kurovcem\\_Dopady\\_vyhledy\\_a\\_rezeni\\_A\\_Czech\\_version\\_of\\_the\\_study\\_Living\\_with\\_bark\\_beetles](https://www.researchgate.net/publication/344380551_Zivot_s_kurovcem_Dopady_vyhledy_a_rezeni_A_Czech_version_of_the_study_Living_with_bark_beetles)>
12. HORÁKOVÁ, M., 2003. Analytika vody. Praha: VŠCHT Praha, 335 s. ISBN 978-80-7080-520-6.
13. HORÁKOVÁ, M., LISCHKE, P., GRÜNWARD, A., 1989: Chemické a fyzikální metody analýzy vod. Praha: SNTL a ALFA, 389 s. ISBN 04-606-89.

14. HPST, 2022: Konduktometry (online) [cit. 2022.03.08]. Dostupné z: <<https://www.labicom.cz/produkty/merici-techniky/elektrochemie/konduktometry>>
15. HRAZSKÝ, J., KRÁL, P., 1999: Výroba vláknin a papíru. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 218 s. ISBN 80-7157-355-8.
16. CHEREVKO, S., MAYRHOFER, K. J. J., 2017: On-Line Inductively Coupled Plasma Spectrometry in Electrochemistry: Basic Principles and Applications, *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*, 1–12.
17. KINDL, J., 2016: Výroba buničiny a papíru | MeziStromy.cz. Lesnicko–dřevařský vzdělávací portál. (online) [cit. 2022.02.24]. Dostupné z: <<https://www.mezistromy.cz/materialy-na-bazi-dreva/vyroba-buniciny-a-papiru-/odborny>>
18. KRÁNSKÝ, P., 2017: Lýkožrout smrkový *Ips typographus*
19. KŘUPALOVÁ, Z., 2004: Nauka o materiálech pro 1. a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář. 2. upravené vydání. Praha: Sobotáles. ISBN 80-86817-02-04.
20. MERCI, 2022: pH metr přenosný Milwaukee MW100 (online) [cit.2022.03.08]. Dostupné z <<https://www.mercishop.cz/product/220820520100-ph-metr-prenosny-milwaukee-mw100>>
21. MILVIT, 2022: Konduktivita neboli vodivost vody (online) [cit.2022.02.14]. Dostupné z <<https://www.milvit.cz/konduktivita-neboli-vodivost-vody.html>>

22. Ministerstvo zemědělství: Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 76/2018 Sb., o stanovení podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní stráže, Praha.
23. MODLINGER, R., 2017: Chodba lýkožrouta smrkového *Ips typographus* s larvami
24. MODLINGER, R., TRAGALA, K., 2019: Možné příčiny a důsledky kůrovcové kalamity v lesích Česka s ohledem specifikace při zpracování kalamitního dřeva. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 39 s. ISBN 978-80-213-2942-3.
25. PAVLŮ, L., 2019: Základy pedologie a ochrany půdy. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 76 s. ISBN 978-80-213-2952-2.
26. PITTER, P., 2015: Hydrochemie. Praha: VŠCHT Praha, 792 s. ISBN 978-80-7080-928-0.
27. POHOŘELÝ, M., SEDMIHRADSKÁ, A., TRAKAL, L., JEVIČ, P., 2019: Biochar – výroba, vlastnosti, certifikace, použití | Waste forum. 197-210 s. (online) [cit. 2022.01.12]. Dostupné z <[http://www.wasteforum.cz/cisla/WF\\_3\\_2019.pdf](http://www.wasteforum.cz/cisla/WF_3_2019.pdf)>
28. POLCAR, J., 2021: Biodegradace papírenské vlákniny z odpadního dřeva kůrovcového dřeva. Praha: Česká zemědělská univerzita, Katedra životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, 42 s. (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep SIC ČZU v Praze.

29. PRÁŠILOVÁ, J., KAMENÍČEK, J., 2016: Výroba papíru (online) [cit.2022.02.10]. Dostupné z <[http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/vkpch/vyroba\\_papiru\\_text\\_pro\\_ucitele.pdf](http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/vkpch/vyroba_papiru_text_pro_ucitele.pdf)>
30. PROCESS SCIENCES, 2021: Ion Chromatography Services (online) [cit. 2022.03.08]. Dostupné z <[https://www.process-sciences.com/Ion\\_Chromatography\\_Services](https://www.process-sciences.com/Ion_Chromatography_Services)>
31. SIXTA, H., 2006: Handbook of pulp. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 1369 s. ISBN 3-527-30999-3.
32. SJÖSTROM, E., ALEN, R., 1999: Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 316 s. ISBN 978-3-642-08317-4.
33. SKALAR, 2022: The latest developments in TOC and TN analysis (online) [cit. 2022.03.08]. Dostupné z <<http://cs.skalar.com/novinky/clanek/the-latest-developments-in-toc-and-tn-analysis>>
34. SRP, F., 2021: Simulace výroby papírenské vlákniny z kůrovcové kalamity za účelem udržitelnosti lesního hospodářství. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, 55 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
35. ŠKRABÁLEK, K., 2021: Mechanické vlastnosti papercharu. Praha: Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva a biomateriálů, 50 s. (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

36. VERHEIJEN, F., JEFFERY, S., BASTOS, A.C., VAN DER VELDE, M., DIAFAS, I., 2010: Biochar Application to Soils. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 166 s. ISBN 978-92-79-14293-2.
37. VÚLHM, 2018: Odvětvený a přikrytý podložený lapák (online) [cit.2022.03.22]. Dostupné z <[https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/02/TZ\\_Atraktivita\\_lapaku\\_r1.pdf](https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/02/TZ_Atraktivita_lapaku_r1.pdf)>
38. ZAHRADNÍK, P., 2016: Lýkožrout smrkový, Kůrovcové info portál (online) [cit.2022.01.18]. Dostupné z <<https://www.kurovcoveinfo.cz/lykozrout>>
39. ZAHRADNÍK, P., ZAHRADNÍKOVÁ, P., 2016: Feromonové lapače na pasece, Silvarium.cz (online) [cit.2022.03.12]. Dostupné z<<https://www.silvarium.cz/lesnictvi/pouziti-feromonovych-lapacu-v-ochrane-lesa-proti-lykozroutu-smrkovemu>>



## 8 Seznam obrázků

**Obrázek 8.1** Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (str. 14)

**Obrázek 8.2** Chodba lýkožrouta smrkového *Ips typographus* s larvami (str. 15)

**Obrázek 8.3** Odvětvený a přikrytý podložený lapák (str. 16)

**Obrázek 8.4** Feromonové lapače na pasece (str. 17)

**Obrázek 8.5** Laboratorní holandr (str. 24)

**Obrázek 3.6** Laboratorní rozvlákňovač (str. 25)

**Obrázek 8.6** Laboratorní archovač (str. 25)

**Obrázek 8.7** Inkubační pokus (A – zemědělská půda, B – lesní půda, C – sterilní půda, D – písek) (str. 29)

**Obrázek 8.8** pHmetr (str. 30)

**Obrázek 8.9** Konduktometr (str. 30)

**Obrázek 8.10** Princip ICP-OES analýzy (str. 31)

**Obrázek 8.11** Princip iontové chromatografie (str. 32)

**Obrázek 8.12** Princip analýzy celkového dusíku a uhlíku (str. 32)

**Obrázek 8.13** Závislost pH na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek) (str. 33)

**Obrázek 8.14** Závislost vodivosti na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným m suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek) (str. 34)

**Obrázek 8.15** Závislost množství dusíku na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek) (str. 35)

**Obrázek 8.16** Závislost množství fosforu na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek) (str. 35)

**Obrázek 8.17** Závislost množství draslíku na délce trvání inkubačního pokusu (○–vzorek bez papercharu, ●–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a roztokem hnojiv, ■–vzorek s papercharem tvořeným suspenzí biocharu, vermitea a hnojiv, ●–zemědělská půda, ●–lesní půda, ●–sterilní půda, ●–písek) (str. 36)

## 9 Seznam tabulek

### **Tabulka 5.1** Organický uhlík, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 34)

### **Tabulka 5.2** Dusičnany, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 36)

### **Tabulka 5.3** Fosforečnany, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 37)

### **Tabulka 5.4** Sířany, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 37)

### **Tabulka 5.5** Vápník, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 38)

### **Tabulka 5.6** Železo, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 38)

### **Tabulka 5.7** Hořčík, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 39)

### **Tabulka 5.8** Mangan, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 39)

### **Tabulka 5.9** Sodík, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 40)

### **Tabulka 5.10** Sířa, g·kg<sup>-1</sup>

(paperchar A – suspenze biochar, vermitea a roztok hnojiv; paperchar B – suspenze biochar, vermitea a hnojiva) (str. 40)