

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

VLIV PŘÍMĚSI PŮDNÍCH ADITIV BIOCHARU
A HYDROGELU NA PŘEŽITÍ A PROSPERITU
SAZENIC LESNÍCH DŘEVIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.

Konzultant práce: Ing. Martina Kadlecová

Diplomant: Bc. Jakub Vogel

2023

Zadání

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Vogel

Regionální environmentální správa

Název práce

Vliv příměsí půdních aditiv biocharu a hydrogelu na přežití a prosperitu sazenic lesních dřevin

Název anglicky

Effect of admixture of biochar and hydrogel to the soil on the growth and prosperity of juvenile trees

Cíle práce

Zjistit zda vlastnosti hydrogelu a biocharu jako příměsí do půdy budou mít pozitivní vliv na prosperitu a růst semenáčků stromů. Na základě zahradního experimentu budou zodpovězeny následující otázky:

1. Zda biochar má příznivý vliv na růst sazenic stromů.
2. Zda hydrogel má příznivý vliv na růst sazenic stromů.
3. Stanovit, které půdní aditivum je vhodnější.

Metodika

Do nádob bude zasazeno celkem 144 semenáčků stromů. Sazenice budou pěstovány v zahradních podmínkách na pokusných pozemcích ČZU. Bude se jednat o čtyři u nás v lesním hospodářství nejhoněji zastoupené dřeviny, a to buk lesní, dub zimní, borovice lesní a smrk ztepilý. Semenáčky budou rozděleny do tří skupin. Bude zasazena kontrola bez příměsí a pak varianty s hydrogelem a s biocharem. Po dobu prvního měsíce se budou semenáčky zalévat. Po uplynutí doby jednoho měsíce se nechají přirozenému vývoji. Semenáčky se budou v pravidelných intervalech měřit. Bude se měřit jejich výška, počet větví, u listnatých stromů počet listů. Doba měření není pevně stanovena, bude záležet na délce vegetačního období. Naměřené hodnoty pak budou statisticky vyhodnoceny a bude určena nejlepší varianta pro pěstování semenáčků.

Doporučený rozsah práce

50 stran, 2 grafy

Klíčová slova

Biochar, Hydrogel, Růst, Buk, Dub, Smrk, Borovice

Doporučené zdroje informací

AHMED, Enas M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of advanced research*, 2015, 6.2: 105-121.

Raspberry (2022). Hydrogel pro rostliny: pokyny a aplikace na květiny. Dostupné z WWW: <https://cs.lacroix.com/1027-hydrogel-for-plants-instructions-and-application-to-f.html>.

Yang, F., Xu, Z., Huang, Y., Tsang, D. C., Ok, Y. S., Zhao, L., ... & Cao, X. (2021). Stabilization of dissolvable biochar by soil minerals: Release reduction and organo-mineral complexes formation. *Journal of hazardous materials*, 412, 125213.

Yuan, J. H., Xu, R. K., & Zhang, H. (2011). The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, 102(3), 3488-3497

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Kateřina Berchová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Konzultant

Ing. Martina Kadlecová

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2023

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 7. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Dekan

V Praze dne 28. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Vliv příměsi půdních aditiv biocharu a hydrogelu na přežití a prosperitu sazenic lesních dřevin** vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou 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 vědom, že odevzdáním diplomové 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

.....

Poděkování

Mé poděkování patří Paní doc. Ing. Kateřině Berchové Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala. Dále pak mé poděkování patří Paní Ing. Martině Kadlecové za velkou ochotu a pomoc při konzultování aspektů mé Diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce a pod ní spadajícího experimentu bylo zjistit, zda jsou biochar a hydrogel vhodným půdním aditivem pro pěstování sazenic hlavních lesních hospodářských dřevin ČR. Protože Českou republiku postihl problém s kůrovcovými kalamitami a v současné době jsou na našem území nezvyklé výkyvy teplot a nepravidelné srážky je vhodné hledat co nejlepší způsoby opětovného zalesňování a dělat vše pro přežití zasazených sazenic. V experimentu bylo zkoumán vliv půdního aditiva biocharu a hydrogelu na přežití a prosperitu sazenic stromů. Pro experiment byly zvoleny čtyři druhy lesních dřevin, a to *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*. Experiment byl koncipován tak, že pro každý druh byly založeny tři varianty v kontrolovaných podmínkách. 1. varianta byla kontrola bez příměsí půdních aditiv. 2. varianta byla přidání 2,5 % hydrogelu. 3. varianta byla přidání 2,5 % biocharu. Po skončení experimentu byla naměřená data statisticky vyhodnocena. Biochar a hydrogel měly téměř totožné výsledky v přežití sazenic. U listnatých dřevin biochar a hydrogel snížily mortalitu oproti kontrole o 30,8 %. U jehličnatých dřevin byla zaznamenána naopak vyšší mortalita v porovnání s kontrolou. Hodnocení vlivu biocharu a hydrogelu na růst sazenic jako takový bylo pozitivní. U většiny přeživších jedinců došlo ke stejnému výsledku jako u kontroly a i lepším, ale bohužel jen o pár jednotek %. Potenciál biocharu a hydrogelu se v tomto experimentu projevil vesměs pouze ve snížení mortality, a to jen u listnatých dřevin. Z výsledků této práce je patrné že je zapotřebí biochar a hydrogel ještě podrobit testům i na dalších dřevinách a zjistit tak jejich účinnost.

Klíčová slova: Biouhel, *Fagus sylvatica*, Hydrofilní gel, *Quercus petraea*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, růst

Abstract

The aim of this diploma thesis and the experiment falling under it was to find out whether biochar and hydrogel are a suitable soil additive for growing seedlings of the main forest economic tree species of the Czech Republic. Since the Czech Republic has been affected by the problem of bark beetles and there are currently unusual temperature fluctuations and irregular rainfall in our territory, it is advisable to look for the best methods of reforestation and to do everything for the survival of planted seedlings. In the experiment, the effect of the soil additive biochar and hydrogel on the survival and prosperity of tree seedlings was investigated. Four species of forest trees were chosen for the experiment, namely *Fagus sylvatica*, *Quercus petraea*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*. The experiment was designed in such a way that three variants were established for each species under controlled conditions. The 1st variant was a control without soil additives. The 2nd variant was added with two and a half percent hydrogel. The 3rd variant was added with two and a half percent biochar. After the end of the experiment, the measured data were statistically evaluated. Biochar and hydrogel have almost identical results in seedling survival. For deciduous trees, biochar and hydrogel reduce mortality by 30.8 % compared to the control. On the contrary, a higher mortality rate was recorded for conifers compared to the control. As such, the assessment of the effect of biochar and hydrogel on seedling growth was positive. Most of the surviving individuals had the same result as the control and even better, but unfortunately only by a few percent. In this experiment, the potential of biochar and hydrogel was mostly manifested only in the reduction of mortality, and only in deciduous trees. From the results of this work, it is evident that biochar and hydrogel still need to be tested on other wood species to find out their effectiveness.

Key Words: Biochar, *Fagus sylvatica*, growth, Hydrogel, *Quercus petraea*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*,

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce	2
3. Literární rešerše	3
3.1. Vliv půdních aditiv na půdu – stačí jeden odstave	3
3.2. Biochar	3
3.2.1. Vlastnosti biocharu.....	4
3.2.2. Stálost biocharu v půdě	6
3.2.3. Možnost využití biocharu.....	7
3.2.4. Předešlé studie zabývající se růstem rostlin s pomocí biocharu	7
3.3. Hydrogel.....	9
3.3.1. Rozdělení hydrogelů	11
3.3.2. Využití hydrogelových produktů	14
3.3.3. Technologie používané při přípravě hydrogelů	15
3.3.4. Technické vlastnosti hydrogelu.....	15
3.3.5. Předešlé studie zabývající se růstem rostlin s pomocí Hydrogelu	16
4. Metodika	19
4.1.1. Charakteristika nádob a použitých surovin	21
4.2. Použité dřeviny	24
4.2.1. Smrk ztepilý - (<i>Picea abies</i>)	24
4.2.2. Dub zimní - <i>Quercus petraea</i>	26
4.2.3. Buk lesní - <i>Fagus sylvatica</i>	28
4.2.4. Borovice lesní (<i>Pinus sylvestris</i>).....	30
4.3. Srážkové a teplotní poměry za sledované období v dané lokalitě.....	32
4.1. Statistické analýzy	32

5. Výsledky	33
5.1. Mortalita sazenic v závislosti na použitém aditivu	33
5.2. Váhový přírůstek sazenic v závislosti na použitém aditivu	35
5.3. Délkový přírůstek v závislosti na použitém aditivu	37
6. Diskuse.....	40
7. Závěr	42
8. Literatura.....	43
9. Seznam internetových zdrojů.....	47
10. Seznam obrázků.....	49
11. Seznam tabulek	51
12. Přílohy.....	51

1. Úvod

V posledních letech se stále více řeší příčiny globální oteplování, pozornost se zaměřuje zejména na vlivy lidského počinání, které k tomuto jevu přispívají a dle dosavadních studií tento jev i zrychlují. Snahou je jednotlivé složky a příčiny globálního oteplování odstraňovat a minimalizovat. U nás, v České republice, patří mezi nejvýznamnější následky sucha a eroze zemědělské půdy, do budoucna je tedy třeba zlepšit možnosti zadržování vody v povodí i celém našem území jak v povrchové formě, tak i vody podzemní (Mazín, 2017).

Možné řešení obou problémů se skýtá v lesních porostech a zeleni jako takové. Zeleň, a to jakákoliv, využívá pro svůj růst oxid uhličitý a tím zmenšuje jeho množství v atmosféře, a tedy pomáhá bojovat se skleníkovým efektem (Kozubek, 2011). Zeleň má rovněž obrovský potenciál, co se týká zadržování vody v půdě a v krajině. Tyto pozitiva se týkají především lesních komplexů a lesa jako takového. Proto je kvalita a rozloha lesa vysoce důležitá. Ale jak všichni víme, v posledních letech u nás došlo k rozsáhlé kůrovcové kalamitě a tím i ke značnému úbytku lesa. V některých chráněných oblastech naší republiky se les ponechává přirozenému vývoji, naopak v jiných částech je les obnovován výsadbou sazenic. Sazenice stromů jsou však velmi náchylné na vysychání půdy, což vede k jejich následnému úhynu. Vzhledem k dlouhým a velmi horkým a kolikrát i suchým létům dochází k poměrně významným ztrátám, anebo k zabrzdění růstu sazenic. Obnova lesa se tak stává nákladnější, a především je velmi zdlouhavá (Šafránek et al., 2018). Mnou uskutečněný pokus se zabývá možností podpory růstu sazenic, a to co se vláhových podmínek týká. Jde o snahu zadržet vodu v těsné blízkosti sazenic, aby v době, kdy je nedostatek srážek a panují velká vedra, měla sazenice stromu odkud vodu čerpat. Z doposud zkoumaných látek je pro tento účel nejvhodnější biochar a hydrogel (Waqar et al., 2022). Obě složky jsou poměrně snadno dostupné, a to jak finančně, a tak i množstvím a jednoduchostí jejich přípravy. Biochar a hydrogel jsou zároveň velice jednoduché na aplikaci do půdy (Pohořelý et al., 2019). V případě, že by aspoň jedna ze zmíněných látek vykazovala výraznější podporu růstu, mohla by se začít aplikovat při výsadbě sazenic a pomoci tak k snazší obnově lesů.

2. Cíle práce

Zjistit, zda vlastnosti hydrogelu a biocharu jako příměsi do půdy budou mít pozitivní vliv na prosperitu a růst sazenic stromů. Na základě zahradního experimentu budou zodpovězeny následující otázky:

1. Zjistit, zda biochar má příznivý vliv na růst sazenic stromů.
2. Zjistit, zda hydrogel má příznivý vliv na růst sazenic stromů.
3. Stanovit která ze dvou variant je vhodnější.

3. Literární rešerše

3.1. Vliv půdních aditiv na půdu – stačí jeden odstave

Jako půdní aditivum se označuje látka s takovými vlastnostmi, které nějakým způsobem změní fyzikální a chemické vlastnosti půdy. Tato změna vlastností by měla sloužit nejčastěji k větší zadržnosti vody v půdě, vyšším výnosům zemědělských plodin, zmírnění eroze, zafixování uhlíku v půdě. Jako půdní aditivum lze tedy považovat i kromě hydrogelu, biocharu tak i obyčejné půdní hnojivo (Břendová et al., 2014).

3.2. Biochar

Biochar, česky řečeno biouhel, je organický materiál, který vznikl procesem pyrolýzy (obr. 1). Pyrolýza je proces spalování buď s minimálním přístupem vzduchu pro hoření anebo s žádným přístupem vzduchu pro hoření. Tímto typem spalování organického materiálu vzniká materiál s velmi vysokým obsahem uhlíku. Tento materiál je podle doposud prezentovaných studií velice prospěšným doplňkem do půdy (Deem et Crow, 2017). Karami et al. a Uchimiya et al. (2011) popsali proces vzniku biocharu jako syntetizace biomasy (odpadů a kalů) pyrolýzou. Materiál takto vzniklý se vyznačuje poměrně jemnou zrnitostí, je velice bohatý na uhlík, je poměrně stabilní, co se degradace týká, jeho specifický a aktivní povrch vykazuje vysokou sorpční schopnost, a v neposlední řadě lze stoprocentně biologicky rozložit (Malinská, 2012).

Quéré et al. (2016) publikovali v „Global Carbon Budget 2018 (Globální uhlíkový rozpočet), informaci, že se do atmosféry za roky 1750 až 2011 dostalo velké množství (7000 Gt) oxidu uhličitého, a to z důvodu nesprávného způsobu likvidace biomasy. Způsob likvidace biomasy pyrolýzou s následným vznikem biocharu je velice přínosný, vzniklý biochar lze aplikovat do půdy, a tak se v půdě zafixuje velké množství uhlíku. Tímto využitím biocharu lze dosáhnout zmírnění skleníkového efektu, který je jinak zapříčiňován produkcí zemědělského odpadu. Jako bonus zapracování biocharu je zlepšení kvality půdy, protože biochar skvěle funguje jako sorpční prostředek pro vodu a živiny. Biochar též vykázal mírnou schopnost imobilizace kontaminujících látek (Yang et al., 2021).

Pro tyto pozitivní vlastnosti se biochar stal předmětem podrobnějšího zkoumání, a tak se objevily jeho další přednosti, které mohou příznivě ovlivnit charakteristiky půd, jako jsou biologické, chemické, a fyzikální vlastnosti (Deem et Crow, 2017). Proto se o biocharu do budoucna uvažuje jako o klíčovém faktoru v přístupu k desorpci a degradaci kontaminantů v půdách (Cabrera et al., 2014).

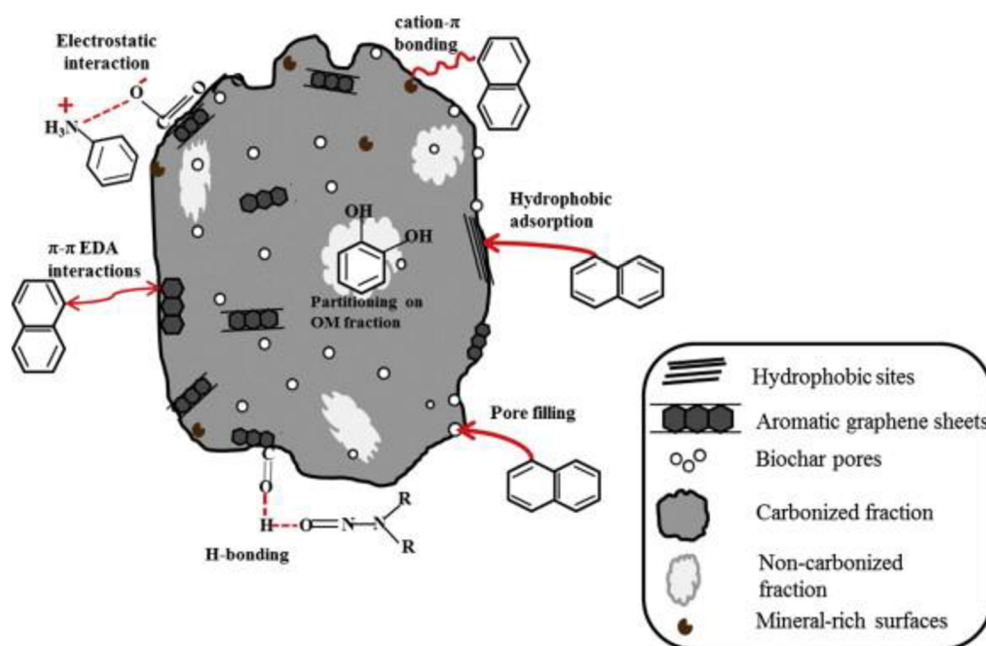


Obrázek 1 Ukázka podoby biocharu (soilscapesolutions, 2023)

3.2.1. Vlastnosti biocharu

Fyzikálně-chemické vlastnosti biocharu ovlivňuje druh vstupní biomasy a druh pyrolýzy, kterou biomasa projde. Jako nejdůležitější lze označit schopnost biocharu absorbovat poměrně vysoké množství vody (Amonette J.E. et Joseph S., 2012). Tuto na sorbovanou vodu pak dokáže v době sucha uvolňovat do svého okolí, rovněž na sebe dokáže navázat okolní živiny a pozvolna je během své degradace též uvolňovat do okolí (obr. 2). Pro růst rostlin je jeho přítomnost také příznivá, protože rostliny si mohou svým kořenovým systémem brát vláhu a živiny přímo z biocharu dříve, než dojde k jeho samotné degradaci a rozpadu. Tento proces přispívá ke zlepšení půdních vlastností a úrodnosti půdy. Při aplikaci biocharu do písčité půdy s téměř žádným obsahem živin došlo k nárůstu celkového obsahu uhlíku o 7-11 %, draslíku o 32-42 %,

fosforu o 68-70 %, a vápníku o 69-75 % ve srovnání s kontrolní půdou (Tomczyk et al., 2019).



Obrázek 2 Sorpční mechanismus biocharu (sciencedirect, 2023).

Využití biocharu se odvíjí od jeho pH, protože tato hodnota je jedním z velice zásadních faktorů ovlivňující růst a prosperitu rostlin. Nejčastěji má biochar pH zásadité, což je zapříčiněno díky vysokému obsahu alkalických kationtů (Yuan et al., 2011). Biochar má rovněž nižší obsah popela a nižší hustotu než půda a větší specifických povrch. Právě tyto vlastnosti jsou velmi užitečné ke zlepšení půdních sorpčních schopností a zvýšení provzdušnění. Jako bonus má biochar velké množství funkčních skupin, díky kterým absorbuje kontaminanty v půdě. Díky tomu biochar půjde využít i pro sanace. Účinnost biocharu k sanacím bude závislá na určitém druhu biocharu a jeho specifickém povrchu (Tomczyk et al., 2019). Deem et Crow (2017) napsali, že biochar vykázal velice dobrou schopnost provázání se s půdou a sorpci látek. Tyto vlastnosti biocharu jsou ale znehodnocovány jeho poměrně rychlou degradací vlivem prostředí a zpětným uvolněním veškerých sorbovaných živin (Deem et Crow, 2017).

3.2.2. *Stálost biocharu v půdě*

Stálost biocharu v půdě testovala například studie Spokas et al. (2014). V pokusu s aplikací biocharu jako příměsi do půdy na poli byly hodnoceny faktory, které nějakým způsobem mohou ovlivnit délku degradace biocharu. Jako nejzásadnější faktory se ukázaly opakované smáčení a vysychání. Při těchto podmínkách došlo k největší degradaci biocharu. Biochar se zvolna rozpadal na menší a menší fragmenty. Čím menší fragmenty jsou tím rychleji a více se z nich uvolňují živiny a samotné části biocharu do půdního roztoku (Spokas et al. 2014). Další studie byly zacíleny na stálost sypkých částic biocharu. Autoři použili smáčený biochar, který se ukázal jako mnohem náchylnější na degradaci než sypký suchý biochar. Bylo zjištěno, že smáčený biochar je oproti suchému náchylnější k chemické a biologické degradaci. Spolu s tím se objevil problém s vymýváním rozpuštěných částic do povrchových i podzemních vod (Singh et al., 2012).

Spokas (2014) provedl pokus, ve kterém testoval, kolik materiálu se vyloučí z biocharu pouze vyluhováním v destilované vodě. Pomocí tohoto experimentu zjistil, že vyluhovatelnost biocharu do destilované vody se pohybuje okolo 10 % z celkového objemu biocharu. Braadbaart et al. (2009), naopak ve svém experimentu zkoumali, který biochar více či méně odolává degradaci rozpouštěním z pohledu teploty pyrolýzy při výrobě biocharu. Jako méně odolný degradaci se ukázal biochar vzniklý za nižších teplot pyrolýzy (<500 °C). Ztráty u nízkoteplotního biocharu činily až 50 % hmotnosti. V případě, že by se někomu podařilo objasnit, jak konkrétně tento proces rozpadání biocharu a vliv teploty pyrolýzy při vzniku funguje, mělo by to zásadní vliv na proces půdní stabilizace uhlíku obsaženého v biocharu po delší období (Yang et al., 2021).

Stabilitu biocharu ovlivňují různé složky v půdě jako organická půdní hmota, mikroorganismy, a jílové minerály a oxidy kovů (Cross et Sohi, 2011). Bylo ukázáno, že půdní minerály vytváří s půdní organickou hmotou komplexy, čímž dokázaly bránit chemické a biologické oxidaci a degradaci (Yang et al., 2021). Jako příklad potvrzující toto zjištění lze použít výzkum Clough et Skjemstad (2000), ti prezentovali fakt, že v půdách, které mají vysoký obsah vápníku se organická hmota, v tomto případě biochar, daleko méně degraduje.

Qu et al. (2016) došli ve svém výzkumu ke zjištění, že biochar obsahuje malé množství alifatického uhlíku, a naopak vyšší množství aromatického a karboxylového uhlíku v porovnání s huminovými látkami vyskytujícími se v půdě. Díky těmto chemickým vlastnostem má biochar o mnohem lepší schopnost spojení se s půdními minerály oproti klasické organické hmotě. Stabilitu biocharu v půdním prostředí je možné zvýšit spojením s kaolinitem (Yang et al., 2021).

3.2.3. Možnost využití biocharu

Všechny možnosti využití biocharu nejsou doposud objevené, ale už nyní je spektrum možného využití velmi široké. Jako jedna z jeho hlavních předností je využití v zemědělství, a to aplikací jako příměsí do půd. Biochar má obrovský potenciál ve schopnosti zadržovat uhlík v půdě a spojit ho s půdní složkou. Uhlík z biodpadu, který by se jinak uvolnil pozvolna do ovzduší, tak zůstává zafixován v půdě po mnohem delší dobu. Díky tomu biochar může pomoci snižovat skleníkový efekt a za druhé doplňuje potřebný uhlík do půdy (Yang et al., 2021). Význam biocharu je rovněž v jeho sorpčních schopnostech vody i živin. Vhodné je však biochar aplikovat s přidáním stabilizačních prvků, aby se zpomalila jeho degradace. Jedná se o látky např: chlorid vápenatý, goethit, bentonit. Biochar lze též použít pro asanaci těžkých kovů, ale jen na krátkou dobu (než začne degradovat) a pak se veškeré sorbované látky z biocharu vyluhují zpět. Vhodnost biocharu pro dané využití je dána také jeho vlastnostmi, které jsou rozdílné dle vstupní biomasy a dle druhu a teploty pyrolýzy (Yang et al., 2021, Tomczyk et al., 2019).

3.2.4. Předešlé studie zabývající se růstem rostlin s pomocí biocharu

Zadržování vody v půdě, fyziologické vlastnosti a růst rostlin kukuřice v reakci na aplikaci biocharu do půdy.

Tanure et al. (2019) zkoumali, jaký vliv má přidání biocharu o hmotnostech (0, 5, 10, 20, 40 a 60 g) na růstové a fyziologické vlastnosti rostlin kukuřice. Pro výzkum byly použity písčité hlíny Haplustoxu (jde o typ půdy s načervenalou barvou). Výzkum byl

proveden v kontrolovaných podmínkách skleníku. Autory zajímalo, zda má biochar přínosné vlastnosti pro růst kukuřice. Ve výzkumu se zaměřili na testování vlivu velikosti zrna biocharu a dostupnosti vláhy. Část rostlin byla vystavena stresu ze sucha a druhá měla konstantní dostupnost vody. Velikost zrna biocharu se ve výsledku ukázala jako nesignifikantní pro prosperitu rostlin. U rostlin vystavených stresu ze sucha nedošlo k téměř žádným změnám oproti kontrole. Rozdíly oproti kontrole byly zaznamenány pouze u rostlin s konstantní vláhou. Biochar přispěl k výrazným růstovým rozdílům oproti kontrole. Jednalo se o větší počet listů a jejich velikost a celkovou délku rostliny. Co se týká množství přidaného biocharu do půdy, tak čím více ho bylo, tím rostliny vykazaly větší přírůstky. Biochar zde fungoval jako důležitý doplněk organické hmoty pro růst. V této studii nebyl prokázán významný pozitivní vliv biocharu na podporu růstu rostlin při stresu ze sucha.

Biouhel v hnoji může potlačit vodní stres cukrové řepy (*Beta vulgaris*) a zvýšit obsah sacharózy v hlízách

Lebrun et al. (2022) publikovali článek porovnávající vlastnosti biocharu, hnoje a jejich spojení na množství vody v půdě vyplavování živin a prosperitu cukrové řepy. Při jejich výzkumu pozorovali snížení vyluhování živin z hnoje při přidání biocharu. Biochar při tomto výzkumu vykázal schopnost zadržení vody v porovnání s hnojem, a to zhruba dvakrát až třikrát oproti kontrole. Biochar také podpořil vyšší obsah cukru v řepách oproti hnoji a kontrole. Biochar tedy celkově kladně ovlivnil růst cukrové řepy a množství zadržené vody v půdě.

Účinky biohlu na klíčení a rozšíření kořenů u sazenic stromů mírného pásma v polních podmínkách

V tomto výzkumu byl použit biochar pro zlepšení růstu sazenic stromů. Pro výzkum bylo použito 14 druhů. Zkoumal se vliv biocharu na klíčení semen a na následný růst sazenic a rozvoj kořenového systému sazenic. Biochar vykázal schopnost podpory klíčení, ale daleko znatelnější byla podpora růstu sazenic po vyklíčení, a to až zdvojnásobení růstu oproti kontrole. Zdvojnásobený růst vykazaly sazenice *Picea mariana* (smrk černý), *Pinus resinosa* (borovice smolná), *Betula papyrifera* (bříza papírová), *Prunus virginiana* (střemcha viržinská) a *Ulmus americana* (jilm

americký). Biochar tedy výrazně podporuje růst sazenic. Mimo jiné biochar napomáhá udržovat konstantní vláhové podmínky a zvládat menší výkyvy sucha (Thomas., 2021)

Přidání biocharu do půdy ke zmírnění sucha a stresu rostlin.

Výzkum se zabýval problematikou stresu rostlin jak z důvodu sucha, tak přílišného zasolení. Aplikace biocharu v množství od 0,1 až po 30 % pomohla zásadně ovlivnit schopnost půdy zadržet vodu a odolat rostlinám stresu ze sucha. Biochar pozitivně ovlivnil i nadbytek soli. Snížil příjem sodíku a pomohl rostlinám k vyššímu příjmu draslíku (Ali et al., 2017).

Vliv zálivky šedou vodou na vlastnosti půdy po přidání biocharu

Při mém výzkumu v rámci bakalářské práce jsem se mimo šedé vody ve spojení s biocharem zabýval i vyluhováním látek z biocharu samotného. Výsledky vyluhování byly pro možné využití biocharu pro pěstování rostlin povzbudivé. Z biocharu se vyluhovaly v hojné míře makroprvky (sodík, hořčík, fosfor, draslík, síra a chlor). Z makroprvků zde byl hojně zastoupen především fosfor, draslík, sodík a síra. Jedná se o makroprvky důležité pro růst rostlin. Biochar je tak sám o sobě v jisté míře zásobárnou důležitých živin pro růst, ale zároveň látky umí i sorbovat, jak se ukázalo na tenzidech u šedé vody. Do biocharu lze tedy přidat další látky potřebné pro růst rostlin a obohatit ho tak aby obsahoval větší množství živin (Vogel, 2021).

3.3.Hydrogel

Hydrogel je materiál se sítí polymerních řetězců, který dokáže v obrovském množství sorbovat vodu (obr. 3). Především zde mluvíme o koloidních gelech, u kterých je voda disperzním médiem. Je to velice specifický vztah umožňující propojení vody a hydrogelu, který má schopnost sorpce vody. Zvláštností hydrogelu je, že voda jako taková má jenom minimální vliv na jeho degradaci a nerozpouští se v ní, na rozdíl od téměř čehokoliv jiného (Ahmed, 2015).

Hydrogely v posledních letech byly definovány jako dvou nebo vícesložkové systémy, které se skládají z trojrozměrné sítě polymerních řetězců a vody. Voda v hydrogelu

vyplňuje prostor mezi molekulami. Hydrogely mohou obsahovat různé množství vody, a to v závislosti na vlastnostech konkrétního použitého polymeru (Montesanom et al., 2015). Nejpodstatnější vlastností hydrogelu je hustota zesíťovaných spojů. U většiny hydrogelů je hmotnostní podíl v nabobtnalém stavu mnohem vyšší, než je obsah polymerů v daném hydrogelu. Pro dosažení maximálního nabobtnání se ale používají běžně syntetické polymery v nezasíťované formě. V průběhu mnohaletých výzkumů a pokusů s hydrogelem vědci definovali velké množství druhů hydrogelů. To sebou nese také jejich rozdílné vlastnosti a tím i jejich možné rozdílné využití. Jako nejběžnější a mnou zkoumaný je druh hydrogelu se sorpčními vlastnostmi vody. Tyto hydrogely vznikají jednoduchou reakcí monomerů (Ahmed, 2015).

Absorbční schopnost hydrogelů je způsobena hydrofilními skupinami navázanými na polymerní kostru. Jejich odolnost proti rozpouštění a rychlé degradaci je způsobena zesíťováním síťovými řetězci. Zesíťování hydrogelů a s tím spojená rozdílné vlastnosti jsou závislé především na druhu hydrogelu. Hydrogely můžeme primárně rozdělit do dvou hlavních skupin, a to na přírodní a pak na umělé neboli syntetické. Syntetické hydrogely mají dobře definované struktury polymerů a lze je dobře modifikovat. Modifikacemi hydrogelů se dosáhne optimálních vlastností pro dané konkrétní využití. Jedná se o modifikaci vlastností jako jsou například přizpůsobení se výkyvům teplot, délka doby degradace, množství na sorbované vody a o jeho podobu v suchém stavu (Ahmed, 2015).

Pro syntetizaci hydrogelů lze použít řadu „klasických“ chemických způsobů. Jedná se o postupy jednostupňové a vícestupňové. Mezi jednostupňové patří polymerace, paralelní síťování multifunkčních monomerů. Vícestupňové postupy zahrnují syntézu polymerních molekul s reaktivními skupinami s jejich následným síťováním, nebo reakcí polymerů s vhodnými síťovacími činidly (Montesanom et al., 2015). Formou vytváření hydrogelu a použitými polymery lze v molekulárním měřítku ovlivnit vlastnosti, jako jsou biodegradace, mechanická odolnost, chemická a biologická odezva například při užití v oblasti farmacie nebo při kombinaci s tělní tkání (Ahmed, 2015).



Obrázek 3 Jemnozrný smáčený hydrogel (hydrogel, 2023)

3.3.1. Rozdělení hydrogelů

Klasifikace na základě zdroje

Hydrogely lze rozdělit do dvou skupin na základě jejich přírodního nebo syntetického původu. Přírodní polymery tvořící hydrogel v sobě obsahují proteiny, jako je kolagen a želatina, a polysacharidy, jako je škrob, alginát a agaróza. Syntetické polymery, které tvoří hydrogely, se tradičně připravují pomocí metod chemické polymerace (Ahmed, 2015).

Klasifikace podle polymerního složení

Způsob přípravy vede k tvorbě některých důležitých tříd hydrogelů. Příkladem mohou být následující:

(A)

Hydrogely homopolydní mají polymerní síť odvozenou od jednoho druhu monomeru. Tento monomer je základní strukturální jednotkou.

(B)

Hydrogely kopolymerní skládající se ze dvou či více různých monomerů s nejméně jednou hydrofilní složkou. Monomery jsou uspořádány v náhodné, blokové, nebo střídavé konfiguraci podél řetězce polymerní sítě.

(C)

Multipolymer Interpenetrating polymeric hydrogel (IPN), je velice důležitá třída hydrogelů. Tyto hydrogely jsou vyrobeny ze dvou nezávislých síťovaných syntetických a/nebo přírodních polymerních složek, obsažených v síťové formě. V semi-IPN hydrogelu je jednou složkou zesíťovaný polymer a druhou složkou je nezesíťovaný polymer (Ahmed, 2015).

Klasifikace na základě konfigurace

Klasifikace hydrogelů závisí na jejich fyzikální struktuře a chemickém složení lze klasifikovat následovně:

(A) - Amorfni (nekrystalické).

(B) - Semikrystalický: Složitá směs amorfni a krystalické fáze.

(C) – Krystalický (Ahmed, 2015).

Klasifikace podle typu zesíťení

Rozdělit hydrogely lze podle typu zesíťení do dvou kategorií na základě chemické nebo fyzikální povahy zesíťovaných spojů. Chemické zesíťování mají trvalá spojení, zatímco fyzické sítě mají přechodná spojení, ta se objevují buď ze zapletení polymerních řetězců, nebo fyzikálních interakcí, jako jsou iontové interakce, vodíkové vazby nebo hydrofobní interakce (Ahmed, 2015).

Klasifikace podle fyzického vzhledu

Buď mají vzhled mikrokuličky (obr. 4) nebo krystalků (obr. 5), To, jakou podobu mají, závisí na technice výroby (Ahmed, 2015).



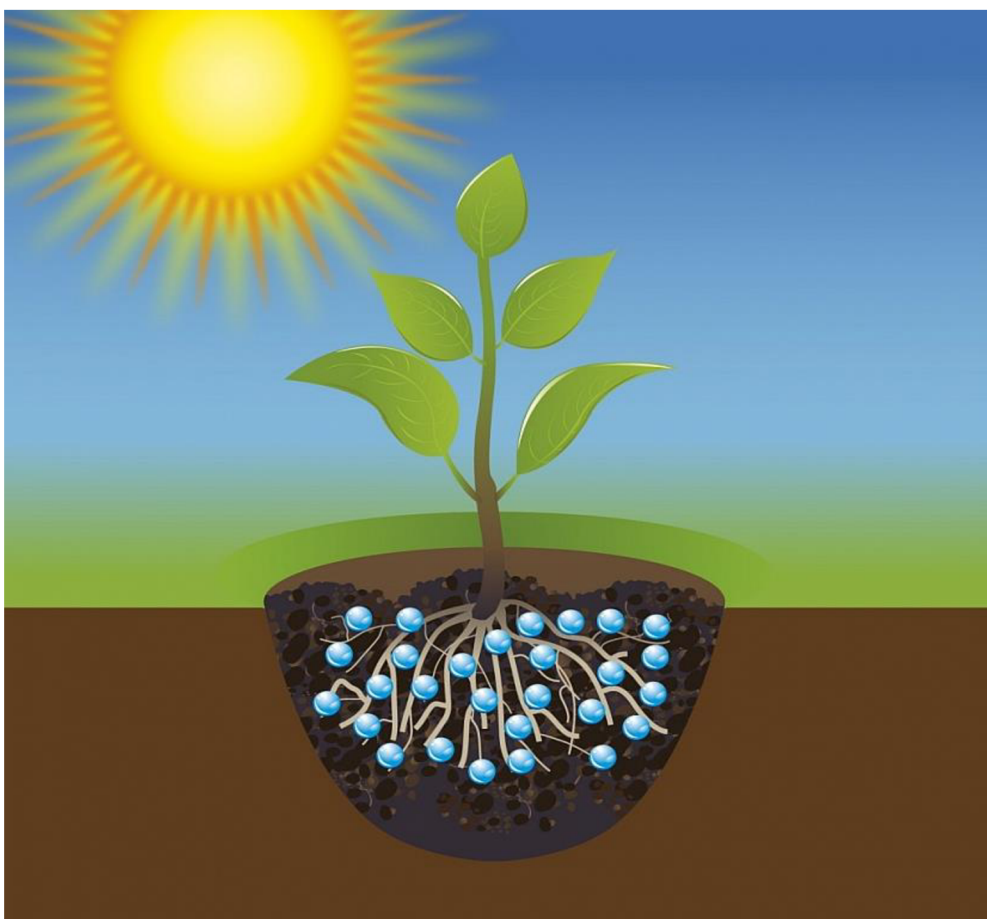
Obrázek 4 Smáčený hydrogel ve formě kuliček (nasezahrada, 2023)



Obrázek 5 Jemnozrný suchý hydrogel (osiva-semena, 2023)

3.3.2. *Využití hydrogelových produktů*

Využití různých druhů hydrogelů je velice široké. Jedná se především o využití pro hygienické produkty, zemědělství pro pěstování rostlin (obr. 6), systémy dodávání léků, těsnění, odvodnění uhlí, výrobě umělý sníh, potravinářské přísady, léčiva, biomedicínské aplikace, tkáňové inženýrství a regenerační léky, diagnostika, krytí ran, separace biomolekul nebo buněk a bariérové materiály pro regulaci biologických adhezí. Využití hydrogelů a jejich možnosti současného využití ve zmíněných případech jsou stále rostoucí tím, jak se stále rozšiřuje spektrum funkčních monomerů a makromerů (Koupai et al., 2008).



Obrázek 6 Nákres aplikace hydrogelu u kořenů rostliny (Zahradkarskaporadna, 2023)

3.3.3. Technologie používané při přípravě hydrogelů

Hydrogely jsou definovány jako polymerní sítě s hydrofilními vlastnostmi. Hydrogely jsou z velké většiny případů připravovány na základu hydrofilních monomerů. K regulaci vlastností se, ale někdy používají i hydrofobní monomery. Hydrogely lze z obecného pohledu připravit buď ze syntetických anebo přírodních polymerů. Syntetické polymery jsou v zásadě hydrofobní povahy, díky tomu jsou mnohem pevnější a chemicky stálější ve srovnání s přírodními polymery. Tím, že jsou velmi chemicky i mechanicky odolné a pevné má ve výsledku kladný vliv na velmi pomalou degradaci a jsou tak velmi trvanlivé ve většině prostředí. Z určitého pohledu se jedná o protikladné vlastnosti a je nutné je uvést do optimálního vyvážení správným návrhem množství jednotlivých druhů polymerů a případných činidel. Přírodní polymery lze aplikovat na přípravu hydrogelů za předpokladu, že tyto přírodní polymery mají vhodné funkční skupiny a nebyly funkcionalizované radikálově polymerovatelnými skupinami (Bashir et al., 2020).

Co nejjednodušší vysvětlení toho, co je hydrogel je, že se jedná o hydrofilní polymerní zcestovanou síť tak aby nějakým způsobem vytvářela elastickou strukturu. K samotné výrobě hydrogelu lze tedy použít jakoukoliv možnou techniku používanou k vytvoření zesíťovaného polymeru. Kopolymerace/zesíťování volných radikálů polymerace se běžně používají k výrobě hydrogelů reakcí hydrofilních monomerů s multifunkčními síťovacími činidly. Ve vodě rozpustné lineární polymery přírodního i syntetického původu jsou zesíťovány za vzniku hydrogelů mnoha způsoby (Matoušková, 2009).

3.3.4. Technické vlastnosti hydrogelu

Vlastnosti ideálního hydrogelu

- Nejvyšší absorpční kapacita (maximální rovnovážné bobtnání) ve fyziologickém roztoku.
- Požadovaná rychlost absorpce (preferovaná velikost částic a poréznost) v závislosti na požadavcích aplikace.
- Nejvyšší savost při zatížení (AUL).
- Nejnižší rozpustný obsah a zbytkový monomer.

- Nejvyšší trvanlivost a stabilita v bobtnajícím prostředí a při skladování.
- Nejvyšší biologická odbouratelnost bez tvorby toxických látek po degradaci.
- pH-neutralita po bobtnání ve vodě.
- Bezbarvý, bez zápachu a absolutně netoxický.

-Schopnost opětovného smáčení (je-li požadována) hydrogel musí být schopen vrátit nasátý roztok nebo jej udržet; v závislosti na požadavku aplikace (např. v zemědělských nebo hygienických aplikacích) (Hofrichterová, 2019).

Je velmi zřejmé, že je zatím zcela nemožné, aby vzorek hydrogelu současně splňoval všechny výše uvedené a požadované vlastnosti. Ve skutečnosti u syntetických složek dochází k potlačení některých jejich vlastností pro dosažení maximálního možného potenciálu pro danou věc. Proto v praxi musí být proměnné produkční reakce optimalizovány tak, aby bylo dosaženo vhodné rovnováhy mezi vlastnostmi. Například hygienické produkty z hydrogelů musí mít nejvyšší rychlost absorpce, nejnižší opětovné smáčení a nejnižší zbytkový monomer a hydrogely používané při dodávání léčiva musí být porézní a reagovat buď na pH nebo teplotu (Ahmed, 2015).

3.3.5. Předešlé studie zabývající se růstem rostlin s pomocí Hydrogelu

Účinky hydrogelu na zadržení vody v hlinitopísčitéch a hlinitých půdách a na růst sazenic ječmene, pšenice a cizrny

Výzkum z roku 2004 se zabýval schopností hydrogelu podpořit retenční kapacitu půd a tím zlepšení růstu a úspěšnosti přežití sazenic rostlin. Pro výzkum bylo použito dvou základních půd, a to písčité a jílovité (*Luvic*, *Yermosol*). Rostliny použité pro výzkum byly ječmen (*Hordeum vulgare*), pšenice (*Triticum aestivum*) a cizrna (*Cicer arietinum*). Hydrogel absorboval vodu velice rychle, nejrychleji vodu destilovanou. Ukázalo se, že čím více solí voda obsahuje tím je proces pomalejší. Přídavek hydrogelu o hmotnostech 0,1, 0,2 a 0,3 % z hmotnosti použité půdy pozitivně ovlivnil klíčení všech semen rostlin, ale jen v minimální míře. Za to u růstu samotného vykázal hydrogel znatelně větší růstové rozdíly v porovnání s kontrolou. Po ukončení závlivky hydrogel prodloužil dobu vadnutí sazeniček o čtyři až pět dnů oproti kontrole.

Hydrogel tak vykázal velice pozitivní vlastnosti na zadržení vody v půdě a její následné zpřístupnění rostlinám (Akhter et al., 2004).

Účinky úpravy hydrogelu na různé půdy na vodu dostupnou pro rostliny a přežití stromů v podmínkách sucha

Agaba et al. (2010) zkoumali možnost využití hydrogelu za účelem zlepšení dostupnosti vody v půdě pro rostliny a možnost zvýšení přežití rostlin v době sucha. Pro tento výzkum byl použit takzvaný SAP hydrogel, jedná se o superabsorpční polyakrylátový hydrogel a rostlinné druhy: eukalyptus velký (*Eucalyptus grandis*), eukalyptus citronový (*Eucalyptus citriodora*), borovice karibská (*Pinus caribaea*), blahočet cunninghamův (*Araucariacunninghamii*), zaderach (*Meliavolkensii*), grevillea jalovcová (*Grevillea volkensis*) a vrcholák pravý (*Terminalia superba*). Sazenice stromů byly zasazeny ve skleníku a měly rovnoměrné vláhové podmínky pomocí zavlažovacího systému. Rostliny byly pod závlahou po dobu osmi týdnů, pak byly ponechány bez závlahy a byl pozorován čas za jak dlouho uvadnou. Zároveň se měřila evapotranspirace rostlin. U všech rostlin s přidaným hydrogelem do půdy došlo k výraznému prodloužení vadnutí a u osmi druhů rostlin se snížila i evapotranspirace. Díky snížení evapotranspirace rostliny přicházely o méně vody, a to jim také nejspíše pomohlo přežít delší dobu než kontroly.

Doplnění hydrogelového substrátu zmírňuje účinky sucha na mladé citrusové rostliny

Tento výzkum se zaměřil na využití hydrogelu jako doplňku pro bez půdní média v oblasti pěstování mladých sazenic citrusů. Použití hydrogelu v množstvích 0,2 nebo 0,4 % a jako přídavku do bez půdních médií (perlit a směs sphagnum rašeliny s perlitem) podpořilo přežití sazenic citrusů při vystavení opakovaných cyklů stresu ze sucha a rehydratace. U sazenic s hydrogelem byl oproti kontrole změřen větší počet listů i hustota kořenového systému, dále pak byla zaznamenána zvýšená asimilace oxidu uhličitého. Proto se hydrogel v tomto odvětví jeví jako správný nástroj pro boj s vodním stresem a cyklováním období sucha (Arbona et al., 2005).

Vliv aplikace hydrogelu na přežití a růst sazenic borovice v rekultivacích

Výzkum byl zaměřen na vliv dvou různých hydrogelů na podporu růstu borovic lesních při rekultivacích. Sazenice byly sledovány po dobu období (od začátku vegetačního období roku 2003 až do konce vegetačního období roku 2005). Bylo použito hydrogelu Stockosorb 70 gramů / 10 litrů vody (agro gel), s výsledným pozitivním vlivem na úspěšnost přežití sazenic. Sazenice s tímto hydrogelem měly o 19 % vyšší míru přežití oproti kontrole. Dále byl použit hydrogel Stockosorb 60 gramů / 10 litrů vody (mikro granule). Zde bylo do jamky aplikováno sedm gramů hydrogelu. Nicméně množství se ukázalo jako příliš vysoké a došlo k větším úhynům sazenic. Celkově je hydrogel vhodným nástrojem pro podporu růstu sazenic ale je potřeba stanovit správné množství pro daný druh hydrogelu a rovněž správný a rovnoměrný postup aplikace hydrogelu do půdy (Sarvaš et al., 2007).

Účinky hydrogelů na výkon sazenic stromů v mírných půdách před a po vodním stresu

Tato studie zkoumala využití zesíťovaného hydrogelu SAP z hlediska podpory růstu sazenic stromů smrk ztepilý (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a buk lesní (*Fagus sylvatica*) za podmínek vodního stresu a bez vodního stresu. Sledovanými charakteristikami sazenic stromů bylo porovnávání kořenové a výhonkové biomasy. Pokus samotný probíhal po dobu šestnácti týdnů. Výsledky výzkumu prokázaly, že biomasa a přežití sazenic byla vyšší u všech testovaných druhů s přidavkem hydrogelu. Různé typy půd pak vykazaly rozdílné množství kořenové a výhonkové biomasy ale oproti kontrole byl výsledek vždy jasně lepší (Orikiriza et al., 2013).

Studie se prováděla z důvodu zjištění, které ze dvou aditiv hydrogelu a biocharu by mohlo být vhodnější pro zlepšení přežití a prosperity základních lesních produkčních dřevin v České republice. Studií zabývajících se možnostmi využití hydrogelu či biocharu pro pěstování rostlin je nespočet, ale pro pěstování lesních dřevin konkrétněji dřevin důležitých pro Českou republiku z hlediska lesního hospodářství je jen velice málo. Nenašel jsem studii, ve které by docházelo ke srovnání obou aditiv hydrogelu a biocharu a zároveň byla zaměřena na mnou zkoumané druhy. Dalším důvodem uskutečnění studie byl fakt, že podobná studie byla založena na ŠLP v Kostelci pod hlavičkou naší university. V této studii není experiment založen v kontrolovaném

prostředí, ale na lesní pasece a je tedy mnohem více ovlivněn jinými faktory, jako je nerovnoměrný zástin krajních sazenic, svažitost svahu či odlišné vláhové podmínky. Proto jsem uskutečnil vlastní studii v menším měřítku v přirozených, ale konstantních podmínkách.

4. Metodika

Účelem pokusu bylo prokázat, zda biochar a hydrogel mohou zlepšit schopnost přežití sazenic stromů. Za tímto účelem byl založen nádobový experiment, ve kterém byly testovány čtyři druhy lesních dřevin. Jednalo se o sazenice stromů stromy smrk ztepilý, buk lesní, borovice lesní a dub zimní (obr č. 7, 8, 9, 10). Od každého druhu bylo vysazeno 39 sazenic (celkem tedy bylo v experimentu použito 156 ks sazenic).



Obrázek 7 Sazenice buku lesního (Lesoskolky, 2023)



Obrázek 8 Sazenice borovice lesní (Lesoskolky, 2023)



Obrázek 9 Sazenice dubu (Lesoskolky, 2023) Obrázek 10 Sazenice smrku ztepilého (Lesoskolky, 2023)

Sazenice byly zasázeny do tří variant substrátů (v každém typu substrátu bylo vždy 13 sazenic studovaných druhů)

1. Lesní zemina + příměs biocharu 2,5 %
2. Lesní zemina + příměs hydrogelu 2,5 %
3. Lesní zemina – kontrola

Pokus byl započat na jaře konci měsíce května v roce 2022 a ukončen na konci roku 2022 spolu s koncem vegetačního období v měsíci listopadu. Sazenice byly pěstovány v zahradních podmínkách na pokusných pozemcích České zemědělské university v Praze. Z pohledu zástínu můj experiment byl založen na volné ploše s rovnoměrným slunečním svitem a podklad byl upraven, tak aby sazenice měly vláhu pouze ze srážek a nikoli z okolí. Na začátku pokusu budou sazenice změřeny a zváženy (obr. 13). Na každém začátku měsíce byly pravidelně zaznamenávány sledované faktory (délka kmínku a mortalita). Dále byla zaznamenána váha sazenic na začátku a konci experimentu.

4.1.1. Charakteristika nádob a použitých surovin

Pro experiment byly použity plastové květináky o velikosti 3 litrů, které byly naplněny 1,5 litru daného substrátu (obr. 13). Dále pak smáčený hydrogel a biochar. Biochar jsem měl k dispozici již připravený ve smáčené podobě. Ke smáčení biocharu bylo použito 2,1 litrů vody. Hydrogel jsem smáčel až sám při zakládání pokusu po dobu 1 hodiny. Pro smáčení hydrogelu bylo použito 10 litrů vody což už samo o sobě vypovídá o tom, že hydrogel má mnohem větší schopnost sorpce vody než biochar. Připravená půdní aditiva byla důkladně promíchána s odpovídajícím množstvím zeminy na 156 nádob o objemu zeminy 1,5 litru.

Pro experiment byla použita dovezená zemina z lesní paseky na souřadnicích 49.9561411 N, 14.82794117E s názvem Giga paseka. Zemina byla dovezena z Giga paseky z důvodu možnosti srovnání výsledků mé diplomové práce s již probíhajícím pokusem na Giga pasece.

Do takto připravených nádob byly zasazeny sazenice (obr. 11). Nádoby se sazenicemi se umístily do latinských čtverců, aby bylo zajištěna rovnoměrná dostupnost světla. Před umístěním nádob byl terén srovnán a vyložen geotextílií, aby kořeny nemohly prorůst nádobou a brát si vláhu z půdy mimo nádobu. Z důvodu zabránění přílišnému vysychání a zahřívání nádob byly nádoby obsypány zeminou (obr 12). Po dobu 3 týdnů byly sazenice zalévány a následně na to ponechány po zbytek pokusu bez jakékoli závlahy kromě přirozených srážek. Takto byl pokus ponechán až do konce měření.



Obrázek 11 Příprava a sázení sazenic do nádob



Obrázek 12 Sazenice po zasazení a obsypání zeminou



Obrázek 13 Poslední měření sazenic

4.2. Použité dřeviny

4.2.1. Smrk ztepilý - (*Picea abies*)

Smrk ztepilý je strom rozšířený po celé severní polokouli, avšak jeho původní areál je jen v Evropě a západní Asii. Přirozený areál výskytu je převážně ve výškách nad 900 m n. m., ale velice dobře se mu daří i v nižších polohách. V nižších polohách však může vytvářet nestálé porosty. Zatím co přirozené mono dominantní (klimaxové, zonální) smrčiny se ve střední Evropě vyskytují v nadmořských výškách nad 1100 m n. m., níže pouze na zrašeliněných a inverzních stanovištích; představují tím tak u nás nesmírně vzácný ekosystém. Smrk ztepilý roste především na vlhčích a pokud možno kyselejších půdách. Koneckonců kyselejší prostředí vyváří i svým opadem jehličí. Jedná se o strom trochu více náročný vláhu, pokud dojde k nedostatku vláhy poměrně snadno podléhá parazitů viz kůrovec a jiným neduhům. Jeho náročnost na vláhu je podmíněna i tím, že koření velice mělce jen v řádech desítek centimetrů oproti jiným druhům rostoucích v ČR (obr. 14). V současné době je smrk ztepilý zastoupen cca 53 % z celkové zalesněné plochy v ČR (Lesy ČR, 2023). Jeho obvyklá maximální výška činí 50 metrů s kuželovitou korunou. V horských oblastech a oblastech s řidším porostem smrku často bývá za větven až k zemi a vytváří tak kryt pro zvěř. Má tmavě zelené jehlice o délkách až okolo 2 centimetrů. Plodem jsou šišky (obr. 15), ve kterých se ukrývají semena s malou blankou. Semena se po dozrání uvolní z šišky a za pomoci větru, který se opírá do jejich blanky transportována do okolí stromu. Šiška má délku až 15 centimetrů po dozrání hnědou barvu a je otočena směrem dolů (Leugnerová, 2007, Hieke K, 2008).



Obrázek 14 *Picea abies* – smrk ztepilý (Deti.vls, 2023)



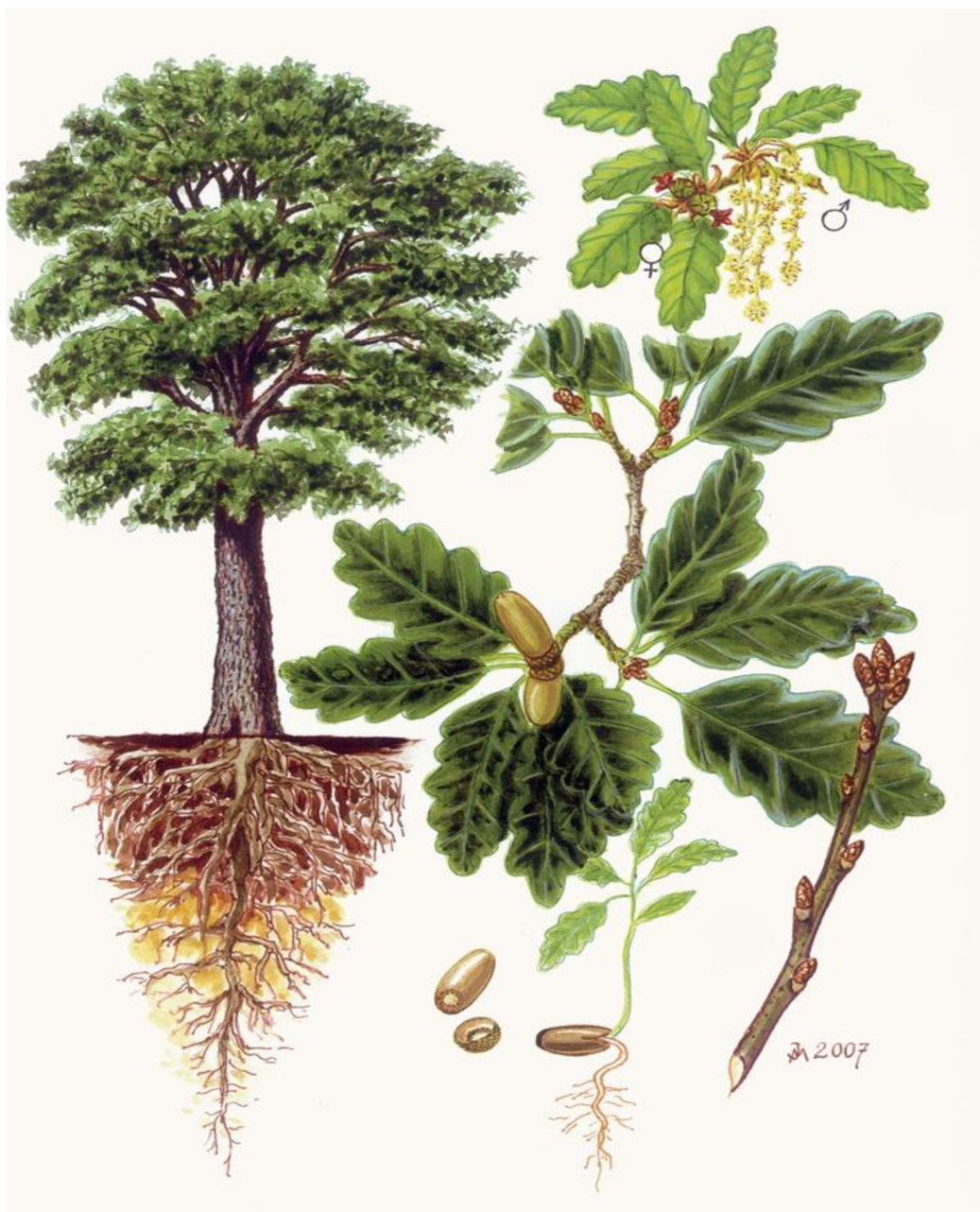
Obrázek 15 Detail šišek smrku ztepilého (Mapouic, 2023)

4.2.2. *Dub zimní - Quercus petraea*

Dub zimní je strom rozšířený po západní, střední, a jihovýchodní Evropě, na jihu Skandinávie, směrem na jih až po Sicílii. Jeho přirozeným areálem rozšíření jsou polohy do 700 m n. m. Je to světlomilná a vcelku teplomilná rostlina s nenáročností na geologické podloží. Není nijak náročný na vláhové podmínky. Možná i díky tomu, že se jedná o jeden z nejhloběji kořenících stromů v ČR (obr. 16). Sazenice dokonce občas po zaschnutí nadzemní části dokáží vytvořit další výhon, pokud je ještě dostatek energie v semenu.

V současné době zastoupení dubů v lesích České republiky činí přibližně 8 %, přičemž jeho původní rozšíření je odhadováno na 20 % (Cílek et al., 2022). Průměrný věk stromu je okolo 300 až 500 let. Velikostně dosahuje výšky až 40 metrů. Tvar jeho koruny je proměnlivý podle toho, zda roste soliterně či v lese. Jako soliterní strom dosahuje průměru koruny v řádech desítek metrů, v lese naopak roste nahoru za světlem a koruny bývají často menší a nevýrazné. Semena se nazývají žaludy (obr. 17). Množství semen je závislé na cyklech. Tyto cykly nazýváme semenným rokem a u dubu bývá zpravidla jednou za 6 let, může se to však lišit v závislosti na přírodních podmínkách. V České republice původní dřevinou a je rozšířen vcelku rovnoměrně po celém území. Jeho dřevo je vysoce kvalitní a je velmi ceněno jak pro výrobu nábytku, podlah, v minulosti krovů, tak i jako dřevo palivové. Pro svou hustotu a tvrdost se dub

zimní řadí do skupiny dřevin tvrdých stejně jako buk či akát (Leugnerová, 2007), (Štursa J., 2016).



Obrázek 16 *Quercus petraea* – dub zimní (Deti.vls, 2023)



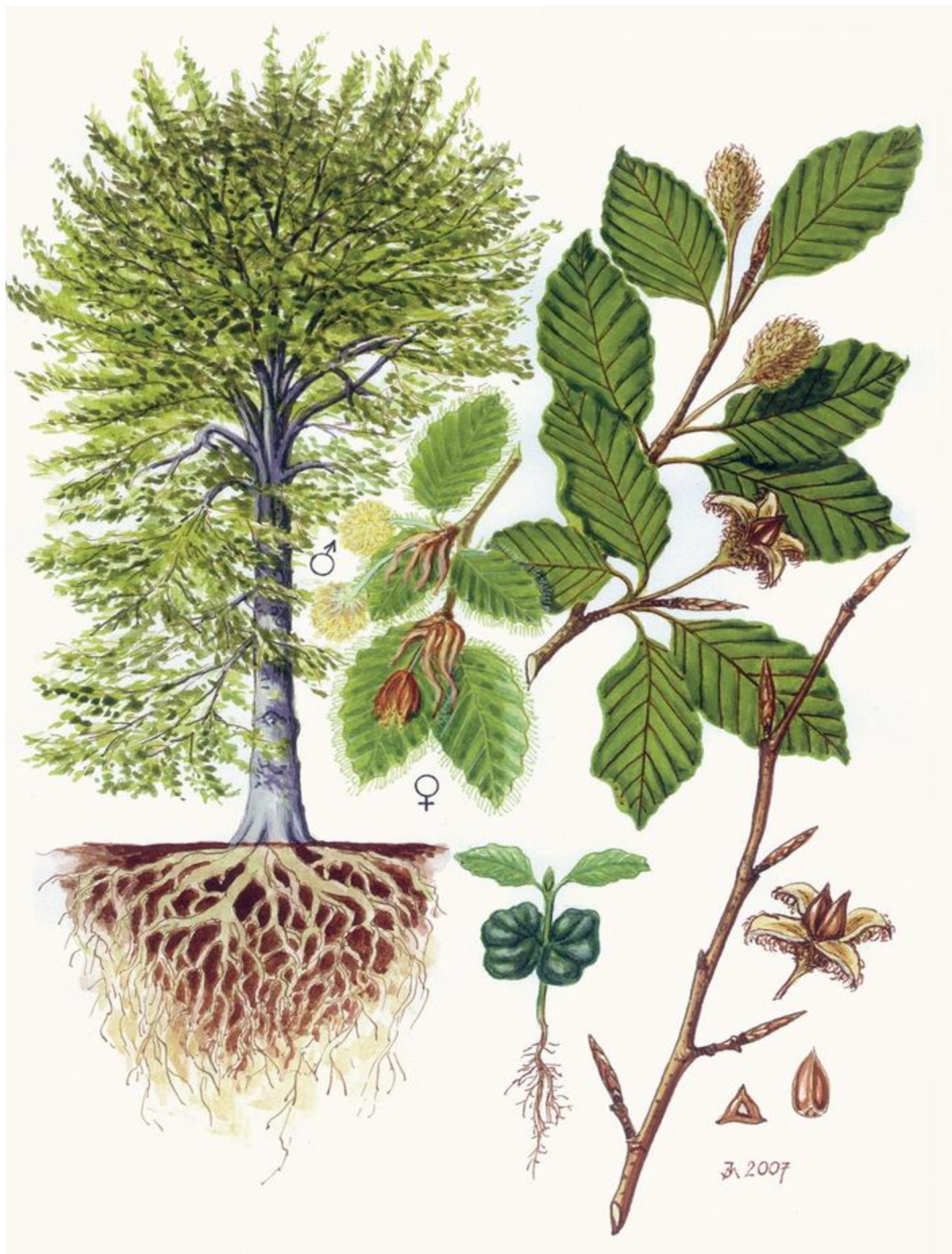
Obrázek 17 Detail žaludů dubu zimního (Naturfoto, 2023)

4.2.3. Buk lesní - *Fagus sylvatica*

Buk lesní je strom rozšířený zejména po střední, západní, a jižní Evropě. Přirozeně se vyskytuje od poloh těsně nad mořem až do 2000 m n. m, ale to je pouze výjimečně. V evropských lesích je zastoupen asi 10 %. V České republice je v současnosti zastoupen 6,1 %, většina původních bučin byla proměněna ve smrkové monokultury. Přirozené zastoupení činí 40,2 %.

Buk nejlépe prosperuje na půdách s vyšší vlhkostí a vyšším obsahem organické hmoty. Buk lesní je náročný na vlhkost, a to jak na její dostatek, tak zároveň na nadměru vláhy, kdy dochází až k odumírání stromu. A to i přesto že má rozsáhlý kořenový systém sahající i do spodnějších vrstev půdy (obr.18). Sazenice jsou velmi náročné na vláhové podmínky a rovněž se mu nejlépe daří v polostínu, a proto přirozeně vytváří více etážové porosty. Jedná se o silný a mohutný strom dorůstající až do výšky 50 metrů a o šíři kmene i přes 1 m v průměru. Buk lesní má specifické plody zvané bukvice v těchto plodech ukrývá semena, která při dozrání a seschnutí bukvice vypadávají na zem (obr. 19). Obvykle se dožívá i více jak 200 let, přičemž jeho maximum bývá okolo 400 let. Představuje jednu ze základních hospodářských dřevin u nás a je označován jako dřevo tvrdé. Využití dřeva je především v interiéru,

kvůli jeho špatným schopnostem odolávání vlhku (vhodný např. pro výrobu nábytku, parket a dále pak jako palivové dřevo) (Leugnerová, 2007, Horáček P, 2019).



Obrázek 18 *Fagus sylvatica* – buk lesní (Deti.vls, 2023)



Obrázek 19 Detail bukvice buku lesního (Chrudimka, 2023)

4.2.4. Borovice lesní (*Pinus sylvestris*)

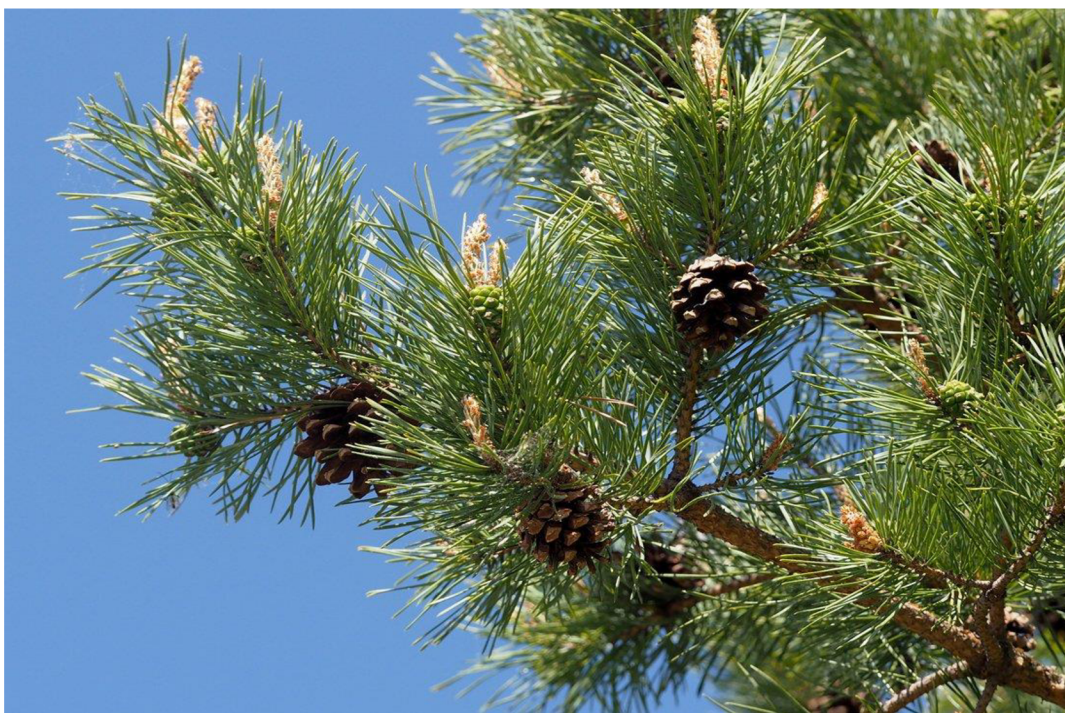
Borovice lesní je široce rozšířená dřevina od Atlantiku až po Pyreneje tak po celé Evropě, části Skandinávie a téměř po celé Sibiři. Rozmezí jejího výskytu je od 0 m n. m. až okolo 2500 m n. m. Vyhledává spíše písčité a nehostinné půdy, ale prosperuje i na půdách s vyšším obsahem organické hmoty. Poměrně dobře snáší jen minimální množství vláhy a zároveň dokáže přežít i v podmínkách s větším množstvím vláhy. Když je vzrostlejší, tak relativně dobře snáší vodní stres, protože má kořenový systém sahající do hlubších partií (obr. 20). V raných fázích růstu je však poměrně náchylná na nedostatek vláhy, nicméně oproti jiným dřevinám je jedna z nejodolnějších. U nás přirozeně roste pouze na takzvaných reliktních borech zbytek rozšíření je zásluhou vysazování většinou ve formě monokultur. V současné době u nás v ČR borovice lesní zaujímá 16,2 % celkové zalesněné plochy v ČR (Vulhm, 2023). Borovice je poměrně vysoký jehličnan dorůstající výšky okolo 40 metrů. Obvyklá doba délky života borovice je okolo 250 let, ale jsou zaznamenány případy stáří i 600 let. Plody borovice se nazývají šišky a jsou poměrně kulaté (obr. 21) (Leugnerová, 2007).

Borovice je v dnešní době velice využívaná dřevina, a to především jako dřevina rekultivační k zalesnění a výsypek z dolů, zalesnění povrchových dolů a podobných zničených a poměrně nehostinných stanovišť. Zároveň se používá jako stavební dřevo například pro výrobu terasových prken, tak dřevo pro výrobu nábytku, tak i v hojně

míře jako dřevo palivové. Borové dřevo se vyznačuje v celku vysokým obsahem pryskyřice, a to ho činí odolné vůči vlhku (Leugnerová, 2007).



Obrázek 20 *Pinus sylvestris* – borovice lesní (Deti.vls, 2023)



Obrázek 21 Detail šišek borovice lesní (Blanokridlivpraze, 2023)

4.3. Srážkové a teplotní poměry za sledované období v dané lokalitě

Srážkové a teplotní poměry jsou v Příloze č. 1.

4.1. Statistické analýzy

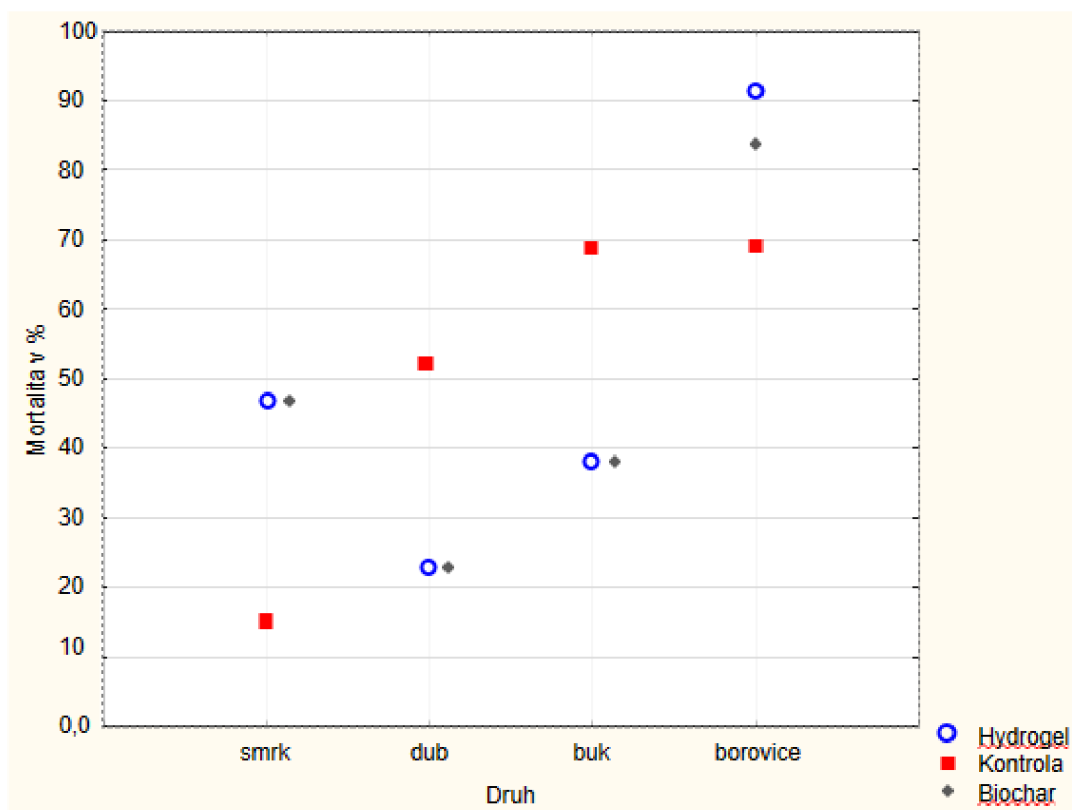
Statistické zpracování bylo provedeno pro závislé proměnné váha a výška sazenic, jako nezávislé proměnné byly použity druhy dřevin a typ substrátu. Výška i váha byla analyzována pomocí Repeated-Measures ANOVA pro zohlednění opakovaných měření na jednotlivých sazenicích. U obou závislých proměnných byla ověřena distribuce blízká normálnímu rozdělení pomocí Kolmogorov-Smirnov testu, Shapiro-Wilkovu testu a Lilieforsova testu a proměnná mortalita byla transformována pomocí arcsin-transformace. Tyto testy ukázaly, že obě proměnné mají ve všech časech rozdělení blízké normálnímu. K testování závislosti mortality na použitém aditivu byl použit zobecněný lineární model pro binomické rozdělení (GLM binom). U všech analýz byla použita stanovená hladina významnosti $\alpha = 5 \%$. Statistické testy byly provedeny v programu STATISTICA. Výstupní grafy byly vytvořeny rovněž v tomto programu a v programu excel.

5. Výsledky

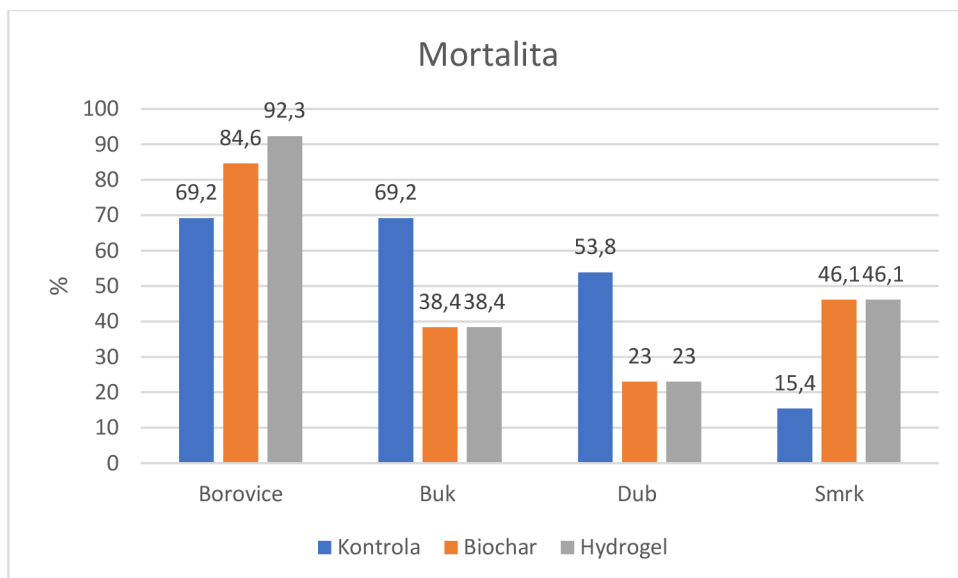
5.1. Mortalita sazenic v závislosti na použitém aditivu

Výsledky statistické analýzy pro testování závislosti mortality na použitém aditivu (hydrogel, biochar) vyšly neprůkazné (GLM, Wald Stat._{151,1} = 0.42057, p = 0.8103), jako průkazný se projevil pouze druh (GLM, Wald Stat._{151,3} = 17.869, p = 0.0005), nicméně byla prokázána marginálně signifikantní interakce mezi druhem a aditivem (GLM, Wald Stat._{151,6} = 11.966, p=0.062711). Data jsou v Příloze 2.

Biochar a hydrogel měly po dobu tří měření prakticky totožný vliv na sazenice, nicméně u listnatých dřevin došlo k snížení mortality, naopak u jehličnatých stromů došlo k výraznému zvýšení mortality oproti kontrole při aplikaci půdních aditiv biocharu a hydrogelu. Procentuálně se jedná o snížení mortality u buku a dubu oproti kontrole o 30,8 % při použití biocharu jako půdního aditiva. U smrku jde naopak o 30,7 % mortality vyšší v porovnání s kontrolou při použití biocharu jako půdního aditiva. U borovice je mortalita v porovnání s kontrolou vyšší o 15,4 % při použití biocharu jako půdního aditiva. U hydrogelu se jednalo o snížení mortality oproti kontrole o 30,8 % u dubu a buku. U borovice byla mortalita vyšší než u kontroly a to o 23,1 % při použití hydrogelu jako půdního aditiva. U smrku byla mortalita při použití půdního aditiva hydrogelu také vyšší než kontrola a to o 30,7 % (obr. 22). Pro lepší přehlednost výsledků ještě doplněn graf z programu Excel (obr. 23). Přehled výsledků je uveden v Tabulce č. 1. Celková data jsou v Příloze č. 3.



Obrázek 22 Dosažená průměrná mortalita sazenic v závislosti na použitém aditivu



Obrázek 23 Mortalita sazenic v závislosti na použitém aditivu

Procentuální porovnání mortality půdních aditiv s kontrolou			
Druh	Půdní aditivum	Vyšší /nižší mortalita	%
Borovice	Biochar	vyšší než kontrola o	15,4
Buk	Biochar	nižší než kontrola o	30,8
Dub	Biochar	nižší než kontrola o	30,8
Smrk	Biochar	vyšší než kontrola o	30,7
Borovice	Hydrogel	vyšší než kontrola o	23,1
Buk	Hydrogel	nižší než kontrola o	30,8
Dub	Hydrogel	nižší než kontrola o	30,8
Smrk	Hydrogel	vyšší než kontrola o	30,7

Tabulka 1 Procentuální porovnání mortality sazenic dřevin v závislosti na použitém půdním aditivu v porovnání s kontrolou

5.2. Váhový přírůstek sazenic v závislosti na použitém aditivu.

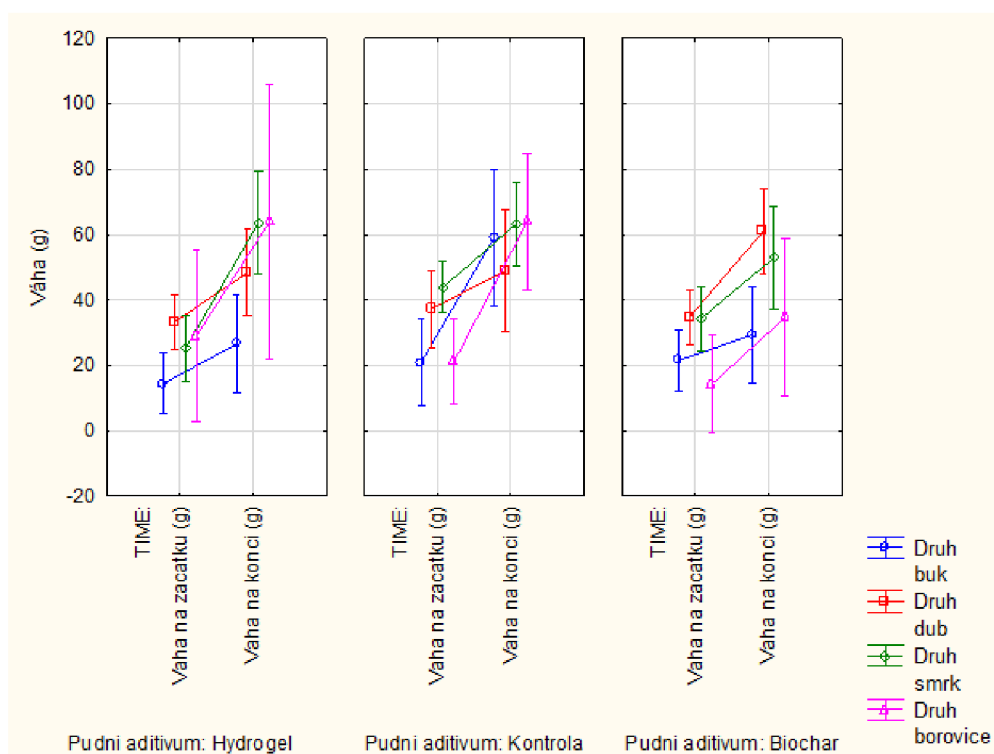
Výsledek statistické analýzy pro předpoklad, že je váha sazenice ovlivněna přidaným aditivem vyšel statisticky průkazný pouze v interakci s časem a druhem ($p < 0,05$). Dále vyšel statisticky významný faktor času a druhu, což není překvapivé (váha sazenice s časem přibývá a je rovněž ovlivněna druhem). Výsledky analýzy jsou pro přehlednost uvedeny v Tabulce č. 2.

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (data_survival) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition		
	DF	F	p
Druh	3	6,1112	0,000985
Pudni aditivum	2	2,3481	0,103481
Druh*Pudni aditivum	6	1,0059	0,429150
Error	66		
TIME	1	76,6776	0,000000
TIME*Druh	3	1,3490	0,266139
TIME*Pudni aditivum	2	1,4403	0,244205

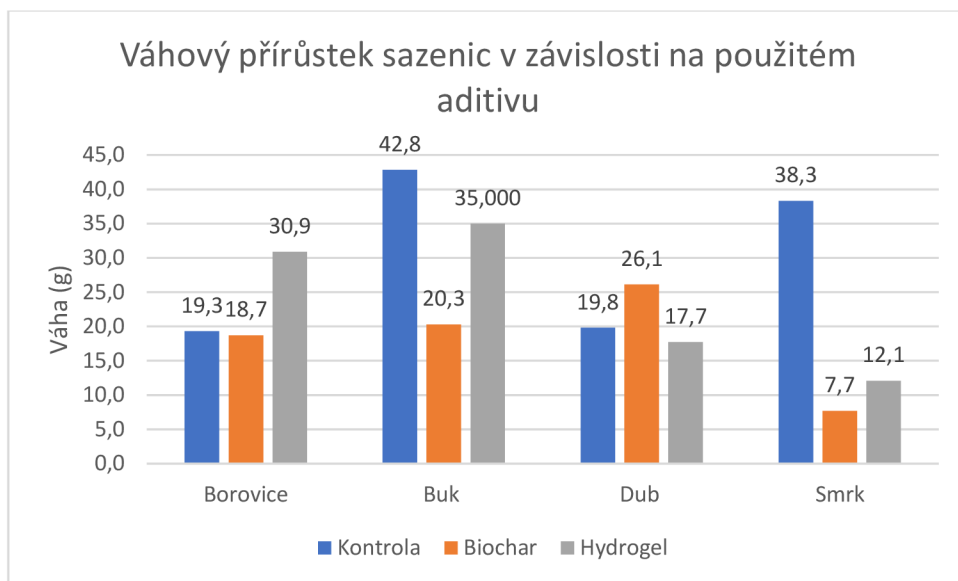
TIME*Druh*Pu dni aditivum	6	2,7254	0,019951
Error	66		

Tabulka 2 Výsledky Repeated Measures Analysis of Variance pro proměnnou váha. P = dosažená hladina významnosti. F = hodnota testovací statistiky, DF = stupně volnosti. Červeně jsou zvýrazněny statisticky významné hodnoty ($p < 0,05$).

Vliv přidání půdních aditiv biocharu a hydrogelu podle statistické analýzy není statisticky průkazný (tabulka č.2 a obr. 24), ale z dat a grafu z programu Excel je patrné že jistý potenciál biochar a hydrogel má. Jedná se o váhový přírůstek u dubu, kdy biochar podpořil průměrný váhový přírůstek oproti kontrole o 6,3 g. Bohužel u ostatních druhů stromů biochar váhový přírůstek v porovnání s kontrolou nijak nepodpořil. V případě hydrogelu došlo k podpoření také pouze jednoho druhu stromu, a to borovice lesní. Borovice měla lepší průměrný váhový přírůstek v porovnání s kontrolou o 11,6 g (obr. 25). Celková data pro váhový přírůstek jsou v Příloze č. 4.



Obrázek 24 Průměrný váhový přírůstek sazenic v závislosti na použitém aditivu



Obrázek 25 Váhový přírůstek sazenic v závislosti na použitém půdním aditivu

5.3. Délkový přírůstek v závislosti na použitém aditivu

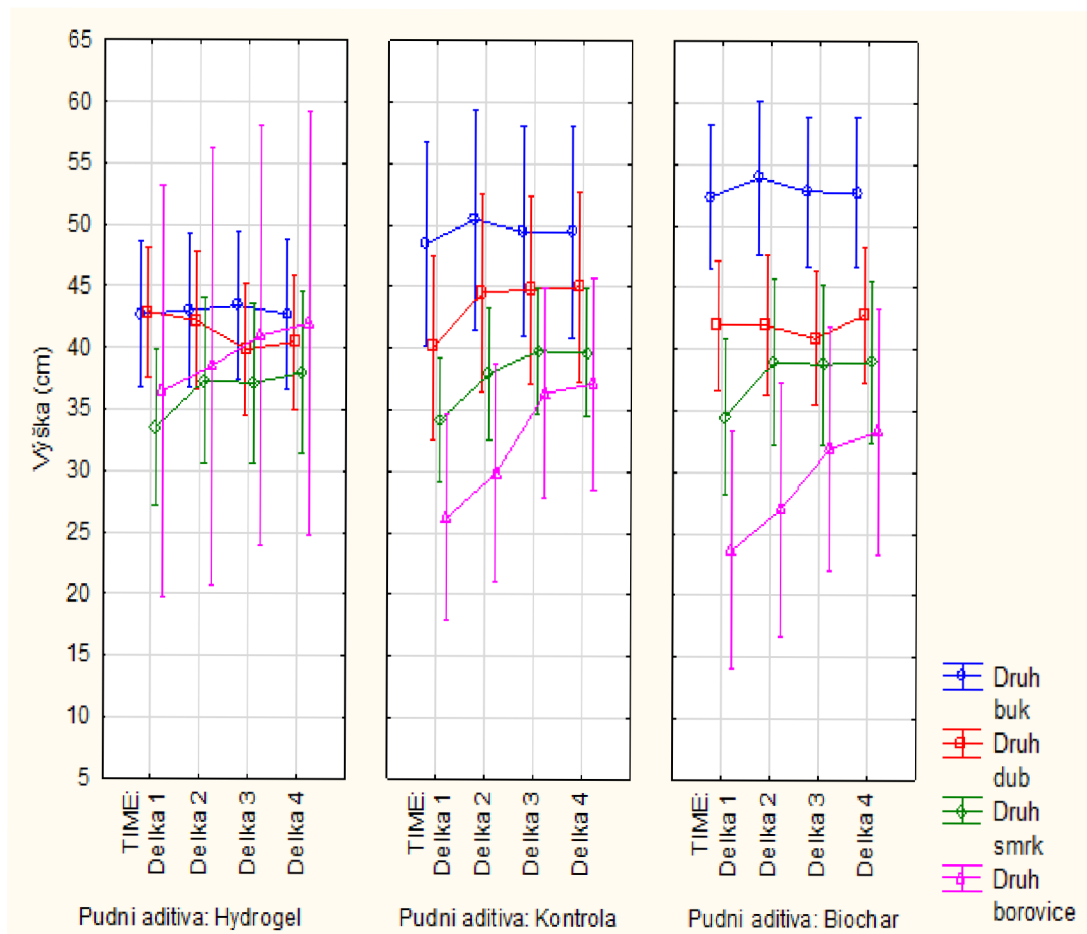
Výsledek statistické analýzy pro předpoklad, že je délkový přírůstek sazenice je ovlivněn druhem vyšel neprůkazný ($p > 0.05$). Jako průkazný se projevil faktor druh a čas, což není překvapující. Pro přehlednost jsou výsledky uvedeny v Tabulce č.3.

Effect	Repeated Measures Analysis of Variance (data_survival) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition		
	DF	F	p
Intercept	1	1259,988	0,000000
Druh	3	8,379	0,000085
Pudni aditiva	2	0,036	0,964877
Druh*Pudni aditiva	6	0,959	0,459889
Error	66		
TIME	3	11,497	0,000001
TIME*Druh	9	3,088	0,001717
TIME*Pudni aditiva	6	1,072	0,380415

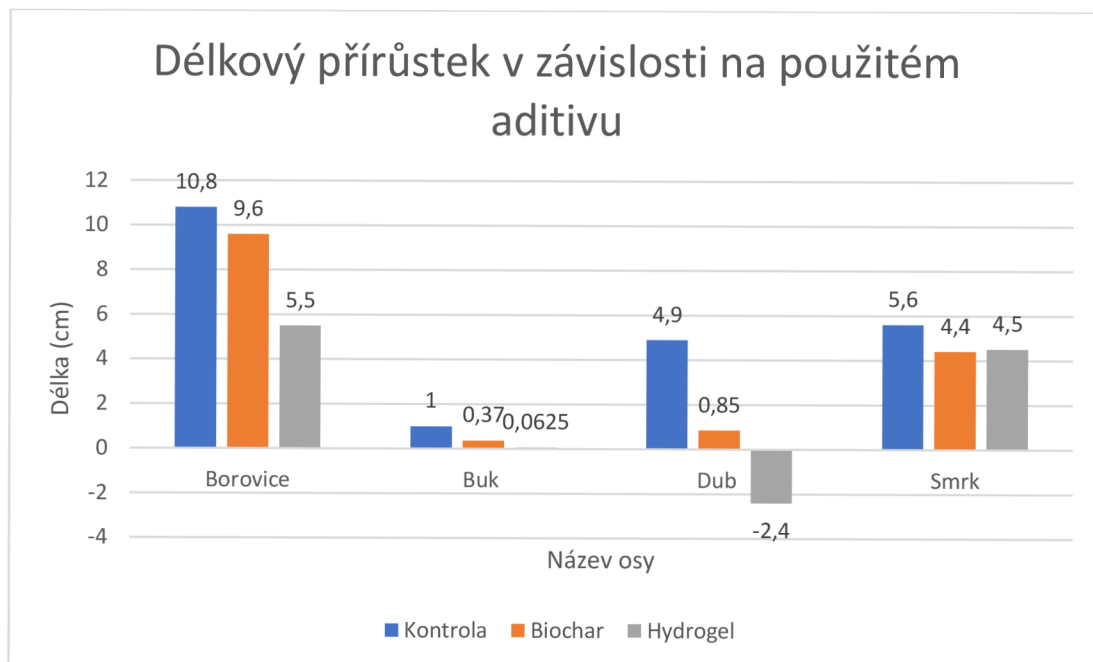
TIME*Druh*Pu dni aditiva	18	0,408	0,985100
Error	198		

Tabulka 3 Výsledky Repeated Measures Analysis of Variance pro proměnnou délka. P = dosažená hladina významnosti. F = hodnota testovací statistiky, DF = stupně volnosti. Červeně jsou zvýrazněny statisticky významné hodnoty ($p < 0,005$).

Statistická analýza pro souvislost s vlivem půdního aditiva na výškový růst sazenic vyšla neprůkazná (Tabulka 3. a obr. 26.) A i z celkových výsledků průměrného přírůstku spracovaných v programu excel je to stejné. Průměrný délkový přírůstek u všech testovaných druhů byl horší při použití půdních aditiv biocharu a hydrogelu v porovnání s kontrolou. U borovice a smrku nebyl rozdíl s kontrolou tak významný. Kontrola měla lepší průměrné přírůstky vyšší, ale v případě biocharu se jednalo jen o zhruba 1 g. Stejně tak tomu bylo i u varianty smrk s hydrogelem. U dubu došlo dokonce u varianty s přidaným půdním aditivem hydrogelem k záporným výsledkům ve výškovém přírůstku (obr.27). Tento záporný výsledek u dubu byl způsoben odumíráním vrchních terminálů či částí terminálů sazenic. Celková data jsou k dispozici v Příloze č.5.



Obrázek 26 průměrný výškový přírůstek sazenic v závislosti na použitém půdním aditivu



Obrázek 27 Délkový přírůstek sazenic v závislosti na použitém půdním aditivu

6. Diskuse

Studii na podobné téma, jakým se zabývá tato práce, lze nalézt poměrně dost. Nicméně, většina sleduje účinky půdních aditiv na přežití a prosperitu plodin produkujících zrna či plod. Studií zabývajících se lesními dřevinami je jen velmi málo. Práce, které by současně zkoumaly účinky půdních aditiv hydrogelu a biocharu na přežití a prosperitu stromů jsem nedohledal žádné. V dostupných studiích, ze kterých jsem vycházel v teoretické části, bylo několik výzkumů podobných tomu mému, ale kromě dvou se ani jedna práce netýkala pěstování sazenic lesních hospodářských dřevin, konkrétně buku, borovice, dubu a smrku. Pro tuto práci byly stěžejní výsledky předešlých studií týkajících se hydrogelu, jako půdního aditiva (Orikiriza et al., 2013) a dále pak studie Sarvaš et al. (2007), která se zabývala vlivem hydrogelu na přežití a růst sazenic borovice lesní v rekultivacích. Dobrým podkladem pro srovnání výsledků vlivu biocharu byl článek zabývající se podobnými dřevinami, jako byly použity v mém výzkumu, autoři sice zkoumali jiné kultivary, ale rody jsou stejné (Thomas, 2021). Jako podklad pro další srovnání výsledků sloužil i článek zabývající se zadržováním vody v půdě a posuzováním růstu rostlin kukuřice v reakci na aplikaci biocharu do půdy (Tanure a jeho kolegů 2019).

Orikiriza et al. (2013) zkoumali tři stejné druhy, jako tato práce, konkrétně smrk ztepilý, borovici lesní a buk lesní. Autoři došli k závěru, že u všech druhů, k nimž byl aplikován hydrogel, došlo k lepšímu růstu a přežití oproti kontrole. Toto zjištění je částečně v rozporu s mými výsledky, kdy hydrogel vykázal pouze vyšší podporu přežití u buku a dubu. Jehličnaté dřeviny měly naopak vyšší mortalitu, ale pokud nedošlo u k úhynu, tak u smrku byl v hydrogelu zaznamenán vyšší růst. Rozdíl ve výsledcích mezi mnou a výše zmíněnou studií, může být způsoben několika faktory. Jedná se například o jiná množství použitého hydrogelu, jiné stáří použitých dřevin či rozdílné půdy. Největší roli bude patrně sehrávat množství přidaného hydrogelu. V mém výzkumu bylo použito 2,5 % do objemu zeminy 1,5 l oproti Orikiriza et al. (2013). Naopak Sarvaš et al. (2007) dospěli k podobným výsledkům, jako má studie. Jejich výzkum měl za cíl podpořit přežití a růst borovice lesní na rekultivacích. Pro podporu růstu použili půdní aditivum hydrogel v množství 0,6 % na 10 l v mikrogranulách a 0,7 % v gelu na 10 l. Ve výzkumu zkoumali nejen různé množství hydrogelu, ale i jeho formy. Autoři zjistili, že vyšší množství přidaného hydrogelu v mikrogranulách

vzpůsobilo vyšší mortalitu studovaných sazenic. Naopak hydrogel o množství 0,7 % na 10 l měl příznivé účinky na růst rostlin. Z těchto závěrů soudím, že mé zvolené množství krystalického hydrogelu 2,5 % na 1,5 l zeminy bylo příliš vysoké a způsobilo, tak vyšší mortalitu u jehličnatých druhů, a ne úplně dobrou prosperitu u listnatých druhů.

Thomas (2021) zkoumal vliv půdního aditiva biocharu na klíčení a růst kořenů stromů mírného pásma, pro mne důležité výsledky byly závěry u smrku černého, borovice smolné, břízy papírové a jilmu amerického. Autoři uvádí, že biochar podpořil klíčení stromů a zároveň podpořil i jejich následný růst. Růst semenáčků v biocharu byl téměř dvojnásobný v porovnání s kontrolou. Tyto výsledky jsou částečně v rozporu s výsledky mé práce, kde bylo zjištěno, že biochar pozitivně ovlivnil růst pouze dubu, a to jen co se hmotnosti týká. Biochar podpořil úspěšnost přežití dubu a buku, ale bohužel nijak zvláště neprokázal schopnost zlepšit i růst sazenic. Je možné, že jsou výsledky ovlivněny jiným postupem autorů, kdy byly studované druhy v biocharu už rovnou klíčeny, oproti mé práci, kdy jsem sledoval vliv efektu biocharu na sazenice zhruba 2–3 roky staré. Toto považuji za největší rozdíl a možný důvod odlišných výsledků. Obdobných výsledků jako Thomas et al. (2021) dosáhli ve svém výzkumu i Tanure (2019), kteří se zabývali otázkou, zda biochar při použití jako půdní aditivum bude mít příznivý vliv na růst kukuřice. Ukázalo se, že biochar napomohl prosperitě kukuřice. Jednalo se o větší počet listů a jejich velikost a celkovou délku rostliny v porovnání s kontrolou. Co se týká množství přidaného biocharu do půdy, tak autoři zjistili, že s větším přírůstkem biocharu vykazují rostliny vyšší přírůstky. Porovná-li tedy výsledky mého výzkumu s výsledky Tanure et al. (2021), tak vidím odlišnosti. Nicméně tyto rozpory mohou být způsobeny odlišnými zkoumanými druhy. Z výsledků tedy vyplývá, že biochar může mít pozitivní či negativní vliv v závislosti na použité rostlině.

Ze všech výzkumů vyplývá, že hydrogel i biochar mohou mít prospěšný vliv na růst některých semenáčků. Největší vliv na úspěšný růst a přežití sazenic má použitý druh a množství aplikovaného půdního aditiva. Je však třeba podotknout, že úspěšnost růstu mohou významně ovlivňovat i další faktory, např. teplotní a vláhové poměry. Celkově lze biochar a hydrogel označit za vhodné půdní aditivum. Pro plošnou aplikaci a využití biocharu a hydrogelu v lesnictví, je však zapotřebí stanovit vhodné množství a

druhy dřevin, pro které vykazuje biochar a hydrogel příznivé vlivy na jejich přežití a prosperitu.

7. Závěr

Výsledky studie ukázaly, že biochar a hydrogel jsou vhodná aditiva z hlediska přežití některých zkoumaných sazenic. U buku a dubu došlo díky biocharu a hydrogelu ke snížení mortality, a to o 30,8 % pro obě aditiva, což je velice dobrý výsledek a lze tedy obě aditiva doporučit pro pěstování sazenic buku. U borovice se jednalo o pravý opak, kdy mortalita byla menší u kontroly a větší u biocharu a hydrogelu. V případě biocharu se jednalo o rozdíl 15,4 % kdy biochar zvýšil mortalitu borovice. U hydrogelu se jednalo dokonce o 23,1 %. Z tohoto důvodu biochar ani hydrogel nelze doporučit pro pěstování sazenic borovice. Pro smrk se ukázal biochar a hydrogel též nevhodný, protože u biocharu a hydrogelu byla naměřena o 30,7 % vyšší mortalita než u kontroly.

V růstu sazenic nebyly statisticky průkazné rozdíly mezi kontrolou, hydrogelem a biocharem, kromě smrku, kde došlo ke zlepšení růstu pouze ve spojení s hydrogelem. Toto zlepšení se týkalo především kořenového systému, protože z hlediska délky kmínku byly rozdíly oproti zbylým variantám zanedbatelné. Půdní aditiva biochar a hydrogel můžeme tedy označit jako vhodná pouze pro určité druhy. Pro jehličnaté druhy dřevin se zdá, že biochar a hydrogel jsou naopak škodlivé, alespoň co se týká počátečního přežití a uchycení sazenic, které zkoumala tato práce. Zvláštní je, že negativní vliv měla aditiva pouze na jehličnaté dřeviny, a naopak listnaté dřeviny v přežití podpořila (viz tabulka č. 1). Závěrem lze tedy říci, že můj výzkum potvrdil možnost užití půdních aditiv biocharu a hydrogelu pro pěstování sazenic určitých druhů stromů. Toto zjištění by bylo dobré ověřit dalším výzkumem dané problematiky, aby se stanovilo správné množství aditiv a vhodné druhy stromů, nebo se aditivum biochar a hydrogel pro pěstování některých druhů úplně vyloučilo.

8. Literatura

1. Agaba, H., Baguma Orikiriza, LJ, Osoto Esegu, JF, Obua, J., Kabasa, JD, & Hüttermann, A. (2010). Účinky úpravy hydrogelu na různé půdy na vodu dostupnou pro rostliny a přežití stromů v podmínkách sucha. *Clean–Soil, Air, Water* , 38 (4), 328-335.
2. Ahmed, EM (2015). Hydrogel: Příprava, charakterizace a aplikace: Přehled. *Journal of advanced research* , 6 (2), 105-121.
3. Akhter, J., Mahmood, K., Malik, KA, Mardan, A., Ahmad, M., & Iqbal, MM (2004). Účinky hydrogelové úpravy na skladování vody v hlinitopísčitéch a hlinitých půdách a na růst semenáček ječmene, pšenice a cizrny. *Plant Soil and Environment* , 50 (10), 463-469.
4. Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, MF, Ok, YS, Ibrahim, M., Riaz, M., ... & Shahzad, AN (2017). Dodatek k půdě s biouhlem o zmírnění sucha a stresu u rostlin: kritický přehled. *Environmental Science and Pollution Research* , 24 , 12700-12712.
5. Amonette, JE a Joseph, S. (2012). Charakteristika biouhlu: mikrochemické vlastnosti. In *Biochar pro environmentální management* (str. 65-84). Routledge.
6. Arbona, V., Iglesias, DJ, Jacas, J., Primo-Millo, E., Talon, M., & Gómez-Cadenas, A. (2005). Doplnění hydrogelového substrátu zmírňuje účinky sucha na mladé citrusové rostliny. *Plant and Soil* , 270 , 73-82.
7. Bashir, S., Hina, M., Iqbal, J., Rajpar, AH, Mujtaba, MA, Alghamdi, NA, ... & Ramesh, S. (2020). Základní pojmy hydrogelů: Syntéza, vlastnosti a jejich aplikace. *Polymers* , 12 (11), 2702.
8. Braadbaart, F., Poole, I., & Van Brussel, A. A. (2009). Preservation potential of charcoal in alkaline environments: an experimental approach and implications for the archaeological record. *Journal of archaeological science*, 36(8), 1672-1679.
9. Břendová, K., Tlustoš, P., Száková, J., & Bohuněk, M. (2014). Využití biouhli (biocharu) k úpravě půdních vlastností. In *Sborník z 20. mezinárodní konference, Racionální využití hnojiv zaměřené na zdroje živin a využití odpadních látek v zemědělství konané 27. 11. 2014 na ČZU v Praze* , Česká zemědělská univerzita v Praze.
10. Cabrera, A., Cox, L., Spokas, K. U. R. T., Hermosín, M. C., Cornejo, J., & Koskinen, W. C. (2014). Influence of biochar amendments on the sorption–

- desorption of aminocyclopyrachlor, bentazone and pyraclostrobin pesticides to an agricultural soil. *Science of the total environment*, 470, 438-443.
11. Clough, A., & Skjemstad, J. O. (2000). Physical and chemical protection of soil organic carbon in three agricultural soils with different contents of calcium carbonate. *Soil Research*, 38(5), 1005-1016.
 12. Cross, A., & Sohi, S. P. (2011). The priming potential of biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status. *Soil biology and biochemistry*, 43(10), 2127-2134.
 13. Deem, L. M., Crow, S. E. (2017). Biochar. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, Elsevier, ISBN 9780124095489.
 14. Hieke K., 2008 Encyklopedie jehličnatých stromů a keřů. Nakladatelství CPRESS, Brno, 248 s.
 15. HOFRICHTEROVÁ, Tereza. *Mechanické vlastnosti hydrogelů - srovnání měření modulu pružnosti pomocí DMA a AFM*. Praha, 2019. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta, Kabinet výuky obecné fyziky. Vedoucí práce Valentová, Helena.
 16. Horáček P., 2019 Encyklopedie listnatých stromů a keřů. Nakladatelství CPRESS, Brno, 752 s.
 17. Karami, N., Clemente, R., Moreno-Jiménez, E., Lepp, N. W., & Beesley, L. (2011). Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. *Journal of hazardous materials*, 191(1-3), 41-48.
 18. Koupai, J. A., Eslamian, S. S., & Kazemi, J. A. (2008). Enhancing the available water content in unsaturated soil zone using hydrogel, to improve plant growth indices. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8(1), 67-75.
 19. Kozubek, M. (2011). Dlouhodobé změny vybraných stratosférických polí souvisejících s cirkulací a zesilující skleníkový efekt
 20. Le Quéré, C., Andrew, RM, Canadell, JG, Sitch, S., Korsbakken, JI, Peters, GP, ... & Zaehle, S. (2016). Globální uhlíkový rozpočet 2016. *Earth System Science Data*, 8 (2), 605-649.
 21. Lebrun, M., Bouček, J., Bimová, KB, Kraus, K., Haisel, D., Kulhánek, M., ... & Trakal, L. (2022). Biouhel v hnoji může potlačit vodní stres cukrovky (Beta

- vulgaris) a zvýšit obsah sacharózy v hlízách. *Science of The Total Environment* , 814 , 152772.
22. Malinska, K. (2012). Biochar as a response to current environmental problems. *Engineering and Environmental Protection*; Czestochowa University of Technology, Institute of Environmental Engineering: Czestochowa, Poland, 15, 387-403.
 23. Matoušková, M. (2009). *Využití hydrogelů ve výživě rostlin* [Bakalářská práce]. Universita Pardubice.
 24. Mazín, V. A. (2017). Zmírnění negativních dopadů klimatických změn na zemědělskou krajinu. *KLIMATICKÉ ZMĚNY A MY*, 29.
 25. Montesano, F. F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A., & Serio, F. (2015). Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 451-458.
 26. Orikiriza, L. J., Agaba, H., Eilu, G., Kabasa, J. D., Worbes, M., & Hüttermann, A. (2013). Effects of hydrogels on tree seedling performance in temperate soils before and after water stress.
 27. Pohořelý, M., Sedmihradská, A., Trakal, L., & Jevič, P. (2019). Biochar–výroba, vlastnosti, certifikace, použití. In *Waste Forum* (Vol. 3, pp. 197-210).
 28. Qu, X., Fu, H., Mao, J., Ran, Y., Zhang, D., & Zhu, D. (2016). Chemical and structural properties of dissolved black carbon released from biochars. *Carbon*, 96, 759-767.
 29. Sarvaš, M., Pavlenda, P., & Takáčová, E. (2007). Vliv aplikace hydrogelu na přežívání a růst sazenic borovice v rekultivacích. *Journal of Forest Science* , 53 (5), 204-209.
 30. Singh, B. P., Cowie, A. L., & Smernik, R. J. (2012). Biochar carbon stability in a clayey soil as a function of feedstock and pyrolysis temperature. *Environmental science & technology*, 46(21), 11770-11778.
 31. Spokas, K. A., Novak, J. M., Masiello, C. A., Johnson, M. G., Colosky, E. C., Ippolito, J. A., & Trigo, C. (2014). Physical disintegration of biochar: an overlooked process. *Environmental Science & Technology Letters*, 1(8), 326-332.

32. Šafránek, Z., Martiník, A., & Vala, V. (2018). Modelové ekonomické srovnání variant obnovy lesa po kalamitě alochtonní smrčiny: konvenční umělá obnova vs. přípravný březový porost. *Zprávy lesnického výzkumu*, 63(2), 92-101
33. Štursa J., 2016 *Dřeviny*. Nakladatelství Aventinum, Praha, 5120 s.
34. Tanure, MMC, da Costa, LM, Huiz, HA, Fernandes, RBA, Cecon, PR, Junior, JDP a da Luz, JMR (2019). Zadržování vody v půdě, fyziologické vlastnosti a růst rostlin kukuřice v reakci na aplikaci biouhlu do půdy. *Soil and Tillage Research*, 192, 164-173.
35. Thomas, S. C. (2021). Biochar effects on germination and radicle extension in temperate tree seedlings under field conditions. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(1), 10-17.
36. Tomczyk, A., Boguta, P., & Sokołowska, Z. (2019). Biochar efficiency in copper removal from Haplic soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(8), 4899-4912.
37. Uchimiya, M., Chang, S., & Klasson, K. T. (2011). Screening biochars for heavy metal retention in soil: role of oxygen functional groups. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 432-441.
38. Václav Cílek, Martin Polívka, Zdeněk Vacek., 2022 *Český a moravský les*. Nakladatelství Dokořán, s.r.o., Praha, 464 s.
39. Vogel, J. (2021). *Vliv závlivky šedou vodou na vlastnosti půdy po přidání biocharu* [Bakalářská práce]. Česká zemědělská universita v Praze.
40. Waqar, A., Bano, A., & Ajmal, M. (2022). Effects of PGPR Bioinoculants, Hydrogel and Biochar on Growth and Physiology of Soybean under Drought Stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(7), 826-847..
41. Yang, F., Xu, Z., Huang, Y., Tsang, D. C., Ok, Y. S., Zhao, L., ... & Cao, X. (2021). Stabilization of dissolvable biochar by soil minerals: Release reduction and organo-mineral complexes formation. *Journal of hazardous materials*, 412, 125213.
42. Yuan, J. H., Xu, R. K., & Zhang, H. (2011). The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource technology*, 102(3), 3488-3497.

9. Seznam internetových zdrojů

1. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2023-03-12]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/>
2. Lesy ČR [online]. [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://lesy-cr.cz/tiskova-zprava/lesy-cr-vysadily-51-milionu-stromku/><https://lesy-cr.cz/tiskova-zprava/lesy-cr-vysadily-51-milionu-stromku/>)
3. LEUGNEROVÁ, Gabriela, 2007. PINUS SYLVESTRIS L. – borovice lesní. *Botany.cz* [online]. [cit. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>
4. VÝZKUMNÝ ÚSTAV LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A MYSLIVOSTI, V. V. I. *Jaká budoucnost čeká borové lesy?* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.vulhm.cz/jaka-budoucnost-ceka-borove-lesy-v-ceske-republice/>
5. Obr. 1 Ukázka podoby biocharu (Soilscape Solutions® Biochar. In: *Soilscape Solutions* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://soilscapecolutions.com/product/soilscape-solutions-biochar/>)
6. Obr. 2 Sorpční mechanismus biocharu (INYANG, Mandu a Eric DICKENSON, 2015. The potential role of biochar in the removal of organic and microbial contaminants from potable and reuse water: A review. *Chemosphere* [online]. 134, 232-240 [cit. 2023-03-30]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2015.03.072)
7. Obr. 3 Jemnozrnný smáčený hydrogel (*Hydrogel* [online]. In: . [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.hydrogel.cz/hydrogel-ekologie.html>)
8. Obr. 4 Smáčený hydrogel ve formě kuliček HLAVÁČOVÁ, JANA, 2021. HYDROGEL ZAJIŠŤUJE DLOUHODOBOU VLHKOST ROSTLINÁM. NÁVOD, JAK JEJ POUŽÍVAT. In: *Naše zahrada* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.nasezahrada.com/hydrogel-zajistuje-dlouhodobou-vlhkost-rostlinam-navod-jak-jej-pouzivat/>

9. Obr.5 jemnozrný suchý hydrogel (Hydrogel - Jemná frakce. In: Osiva-semena.cz [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.osiva-semena.cz/specialni-substraty/2178-hydrogel-jemna-frakce-20-g.html>)
10. Obr. 6 náčrt aplikace hydrogelu u kořenů rostliny (AGRO CS, 2015. Hydrogel - Jemná frakce. In: *Zahradkářská poradna* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://zahradkarskaporadna.cz/clanek-15492-hydrogel-pomocnik-na-zahrade>)
11. Obr. 7 sazenice buku lesního *LESOŠKOLKY* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://lesoskolky.cz/nase-nabidka/fagus-sylvatica-buk-lesni.html>
12. Obr. 8 sazenice borovice lesní (*LESOŠKOLKY* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://lesoskolky.cz/nase-nabidka/pinus-sylvestris-borovice-lesni.html>)
13. Obr. 9 sazenice dubu (*LESOŠKOLKY* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://lesoskolky.cz/nase-nabidka/quercus-robur-dub-letni.html>
14. Obr. 10 sazenice smrku ztepilého (*LESOŠKOLKY* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://lesoskolky.cz/nase-nabidka/picea-abies-smrk-ztepily.html>)
15. Obr. 14 Picea abies – smrk ztepilý (*VOJENSKÉ LESY A STATKY DĚTEM* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://deti.vls.cz/cz/tipy-do-lesa/zivot-v-lese/stromy/smrk-ztepily>)
16. Obr. 15 větve a šišky Picea abies – smrku ztepilého (*Arboretum Kunratice* [online]. In: . [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.mapotic.com/arboretum-kunratice/638423-smrk-ztepily-picea-abies>)

17. Obr.16 *Quercus petraea* – dub zimní (*VOJENSKÉ LESY A STATKY DĚTEM* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://deti.vls.cz/cz/tipy-do-lesa/zivot-v-lese/stromy/dub-zimni-drnak>Začátek formuláře)
18. Obr. 17 větve a žaludy *Quercus petraea* – dubu zimního (*NTURFOTO.cz* [online]. In: . [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.naturfoto.cz/dub-zimni-fotografie-24141.html>)
19. Obr. 18 *Fagus sylvatica* – buk lesní (*VOJENSKÉ LESY A STATKY DĚTEM* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://deti.vls.cz/cz/tipy-do-lesa/zivot-v-lese/stromy/buk-lesni>)
20. Obr. 19 větve a bukvice *Fagus sylvatica* – buku lesního (*Chrudimka.cz* [online]. In: . [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.chrudimka.cz/serial-stare-a-pamatne-stromy-chrudimska-xi-buk-lesni>)
21. Obr. 20 *Pinus sylvestris* – borovice lesní (*VOJENSKÉ LESY A STATKY DĚTEM* [online]. [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://deti.vls.cz/cz/tipy-do-lesa/zivot-v-lese/stromy/borovice-lesni>)
22. Obr. 21 větve a šišky *Pinus sylvestris* – borovice lesní (*Blanokřídli v Praze* [online]. In: . [cit. 2023-03-30]. Dostupné z: <https://www.blanokridlivpraze.cz/rostliny/detail/?rosId=93>)

10. Seznam obrázků

Obrázek 1 Ukázka podoby biocharu (soilscapesolutions, 2023)	4
Obrázek 2 Sorpční mechanismus biocharu (sciencedirect, 2023).	5
Obrázek 3 Jemnozrnný smáčený hydrogel (hydrogel, 2023).....	11
Obrázek 4 Smáčený hydrogel ve formě kuliček (nasezahrada, 2023).....	13

Obrázek 5 Jemnozrnný suchý hydrogel (osiva-semena, 2023).....	13
Obrázek 6 Nákres aplikace hydrogelu u kořenů rostliny (Zahradkarskaporadna, 2023)	14
Obrázek 7 Sazenice buku lesního (Lesoskolky, 2023) Obrázek 8 Sazenice borovice lesní (Lesoskolky, 2023)	19
Obrázek 9 Sazenice dubu (Lesoskolky, 2023) Obrázek 10 Sazenice smrku ztepilého (Lesoskolky, 2023).....	20
Obrázek 11 Příprava a sázení sazenic do nádob	22
Obrázek 12 Sazenice po zasazení a obsypání zeminou	23
Obrázek 13 Poslední měření sazenic.....	23
Obrázek 14 Picea abies – smrk ztepilý (Deti.vls, 2023)	25
Obrázek 15 Detail šišek smrku ztepilého (Mapouic, 2023).....	26
Obrázek 16 Quercus petraea – dub zimní (Deti.vls, 2023).....	27
Obrázek 17 Detail žaludů dubu zimního (Naturfoto, 2023)	28
Obrázek 18 Fagus sylvatica – buk lesní (Deti.vls, 2023).....	29
Obrázek 19 Detail bukvice buku lesního (Chrudimka, 2023)	30
Obrázek 20 Pinus sylvestris – borovice lesní (Deti.vls, 2023)	31
Obrázek 21 Detail šišek borovice lesní (Blanokridlivpraze, 2023)	32
Obrázek 22 Dosažená průměrná mortalita sazenic v závislosti na použitém aditivu	34
Obrázek 23 Mortalita sazenic v závislosti na použitém aditivu.....	34
Obrázek 24 Průměrný váhový přírůstek sazenic v závislosti na použitém aditivu....	36
Obrázek 25 Váhový přírůstek sazenic v závislosti na použitém půdním aditivu	37
Obrázek 26 průměrný výškový přírůstek sazenic v závislosti na použitém půdním aditivu.....	39
Obrázek 27 Délkový přírůstek sazenic v závislosti na použitém půdním aditivu	39

11. Seznam tabulek

Tabulka 1 Procentuální porovnání mortality sazenic dřevin v závislosti na použitém půdním aditivu v porovnání s kontrolou 35

Tabulka 2 Výsledky Repeated Measures Analysis of Variance pro proměnnou váha. P = dosažená hladina významnosti. F = hodnota testovací statistiky, DF = stupně volnosti. Červeně jsou zvýrazněny statisticky významné hodnoty ($p < 0,05$). 36

Tabulka 3 Výsledky Repeated Measures Analysis of Variance pro proměnnou délka. P = dosažená hladina významnosti. F = hodnota testovací statistiky, DF = stupně volnosti. Červeně jsou zvýrazněny statisticky významné hodnoty ($p < 0,005$). 38

12. Přílohy

Příloha 1.

Datum	Průměrná teplota (°C)	Maximální teplota (°C)	Minimální teplota(°C)	Min. přízemní teplota(°C)	Srážky za den(mm)	Sluneční svit (h)
30.5.	12,1	16,5	3,8	1,4	0,1	7,5
31.5.	14,3	21	9,2	8,2	2	10,1
1.6.	15,7	22,4	8,9	7,1	0	9,1
2.6.	16	21,3	7,3	5,2	0	12,8
3.6.	20,3	26,6	13,6	14,1	2,2	13,2
4.6.	18,5	23,6	9,9	8,4	0,2	5,2
5.6.	21,4	26,3	16	15,8	13,4	9,1
6.6.	19,3	24,7	14,8	14,7	2,5	5,8
7.6.	16	19,6	12,7	12,1	8,7	1,9
8.6.	18,8	23,8	14,2	13,4	0,2	9
9.6.	15,5	17,8	12,9	11,7	0	0,1
10.6.	18,6	22,3	11,8	10,2	0	11,2
11.6.	19,1	25,2	13,9	12,8	0	10,9
12.6.	21,9	27,8	14,4	12,8	1,7	11
13.6.	14,2	19,8	7,8	6	8	6,8
14.6.	16,2	20,6	7,8	5,6	0	14,1
15.6.	15	19,1	8	6,1	0	10,3
16.6.	19	24,6	12,1	8,2	1,1	8,1

17.6.	18,2	24	13,7	11,6	0	13,9
18.6.	24,6	31,3	18	15,9	0	13,8
19.6.	27,7	35,1	17,8	15,4	0	14
20.6.	17,2	28	8	6,9	4,2	3,3
21.6.	17	21,9	8,7	7	0	13,2
22.6.	21,1	27,7	12,5	10,6	0	10,8
23.6.	23,1	29,1	13	9,1	0	15,7
24.6.	19,1	26,8	16,5	16,7	52,9	6,9
25.6.	21,3	28	15,4	14	0	13,1
26.6.	23,3	28,6	17,4	14,8	0	14,5
27.6.	24,6	32,1	16,9	17,4	27	12,4
28.6.	20,4	23,6	16,8	16,9	13,7	5,5
29.6.	19	22,9	16,9	16,8	28,3	0
30.6.	22,1	27,3	16,8	16	0,8	8,2
1.7.	17,8	25,8	10,3	9,1	7,8	4,6
2.7.	18,2	22,9	11,4	10,1	0	15,5
3.7.	22	28,1	15,4	13,6	0	15,1
4.7.	21,2	27,2	15,2	13,9	4	4,4
5.7.	19,4	25,8	13,1	12	neměřitelné	8,5
6.7.	17,7	22,5	11,1	9,5	0,1	6,7
7.7.	14,5	17,4	11,6	11,1	6	0,7
8.7.	15,9	20,1	10,4	9,3	0	4,1
9.7.	15,7	21,8	10,7	10,4	2,2	3,9
10.7.	13,8	16,9	10,9	10,1	neměřitelné	4,5
11.7.	15,5	21,5	9,2	7,2	0	9,1
12.7.	16,8	23,9	13,4	11,3	0	9,4
13.7.	22,3	29,4	16,8	16,4	neměřitelné	3,4
14.7.	20,6	27,2	9,7	8,2	6,6	4,4,
15.7.	15,9	21,3	10,1	9	0	9,4
16.7.	16,7	22,6	7,8	5,2	0	10
17.7.	18,2	24,5	9,4	7,6	0	14
18.7.	19,8	27,7	13,2	10,4	0	11,9
19.7.	24	31,5	15,9	13,1	0	14,5
20.7.	27	33,3	16,6	14	0	14,4
21.7.	23,1	31,8	16,3	14,5	1,6	8,8
22.7.	25	31,2	16,9	15,6	0,8	13,3
23.7.	19,5	29	13,2	11,1	2,9	3,1
24.7.	21	26,9	15,7	13,7	0	13,8
25.7.	25,8	32,1	19,9	18,9	neměřitelné	13,9
26.7.	22,2	27,1	14,9	12,5	0,1	4,6
27.7.	16,1	19,4	9,5	6,1	0	8
28.7.	19,9	24,8	13,5	12	0	14,1
29.7.	20,5	25	15,9	16	43	4,4
30.7.	17,1	20,4	13,1	11,1	2,1	0,4

31.7.	20,9	25,9	16,1	16,3	0,1	9,5
1.8.	20,2	26,5	13,7	12,6	0,1	4,9
2.8.	22,3	27,2	15,5	14	0	10,9
3.8.	24,4	30,5	16,4	14	0	12,8
4.8.	26,4	31,9	17,6	14,6	0	14,3
5.8.	26,8	33,6	13,6	13,9	13,5	12,5
6.8.	17	21	11,2	7	neměřitelné	10
7.8.	18,2	22,4	11,7	7,7	0	13,9
8.8.	19,4	23,8	12,6	8,8	0	13,9
9.8.	20,2	25,2	12,9	9,4	0	12,4
10.8.	20,6	25,5	11,7	9,5	0	12,9
11.8.	19,8	24,8	12,6	7,7	0	13,2
12.8.	19,6	25,3	13,4	9	0	11,3
13.8.	20	24,2	17	14,3	1	6,3
14.8.	20,8	26,9	15,3	14,4	0	6,5
15.8.	22,4	28,7	15,9	13,6	0,1	8,3
16.8.	24	29,3	16,1	13,8	0	12,7
17.8.	24,8	30,7	16,8	14,2	0	12,6
18.8.	25,9	32	18,2	16,7	0	6,7
19.8.	21	25,8	17,2	17,3	4,2	3,9
20.8.	16,7	17,7	15,5	15,7	31,3	0
21.8.	17,6	22	14	11,6	0	7
22.8.	15	17,1	14,1	14	8,3	0
23.8.	16,8	17,8	14,9	16,7	3,9	0
24.8.	20	23,7	15,1	12,8	neměřitelné	2,8
25.8.	20,9	26,7	17,1	14,9	2,3	9,3
26.8.	21	28,2	16,2	14,9	4,8	8
27.8.	19,6	22,7	17,3	17	6,2	2,8
28.8.	17,1	20,8	11,4	9,4	neměřitelné	1
29.8.	17,2	22,8	12	9,1	0	12,2
30.8.	17,8	21,9	13,7	12,3	0	7,8
31.8.	16,4	19,8	12,3	11,2	0	0,1
1.9.	15,5	20,4	9,2	6,6	0	3,1
2.9.	15,1	19,5	7,2	4,9	0	10,2
3.9.	15,8	20,9	10,3	13,4	0	10,1
4.9.	19,3	24,2	12,3	10,8	0	10,4
5.9.	18	22,7	13,5	12,5	0	6,6
6.9.	18,1	23,9	12,4	10,9	0,6	6,9
7.9.	18,2	25,1	12,8	12	neměřitelné	6,9
8.9.	15,6	19,5	12,3	10,9	0,8	2
9.9.	16	22,1	10	8,3	neměřitelné	5,9
10.9.	14,7	19,3	12,5	12,6	0,3	3,6
11.9.	13,1	19,5	9,7	8,2	1	5,3
12.9.	15	19,9	8,9	6,1	0	5,2

13.9.	15,7	21,2	10,8	13,2	2,4	4,3
14.9.	16,9	17,9	14,8	14,6	6,6	0
15.9.	13,6	15,7	10,5	8,1	5,7	0,1
16.9.	11,4	16,6	7,5	6,4	0,9	4,1
17.9.	9,4	13,2	7,7	6,5	1,8	2,9
18.9.	8,8	13,3	6,1	5,4	5,4	3,7
19.9.	9,4	13,4	7	7,1	4,6	3,1
20.9.	8,1	12,9	5,9	3,9	2,6	3,4
21.9.	9,2	13,6	5,6	3,9	0,8	3,5
22.9.	9,7	15,1	1,6	-0,3	0	8,7
23.9.	9,5	15,7	3,3	3,3	0	10,3
24.9.	11,3	16,8	5,3	6,1	0	8,4
25.9.	12,4	17,3	9,4	8,4	4,7	3,3
26.9.	10,9	16	8,6	7	0,7	4,2
27.9.	10	13,3	6,2	5	1	2,6
28.9.	7,8	12,3	3,1	0,6	3,5	3,8
29.9.	7,9	13,1	3,4	5	0,2	5,3
30.9.	10,3	15,1	5,5	3,6	0	4
1.10.	10,3	13,3	8,6	7,1	1,3	1,1
2.10.	11,5	14,1	8	7	0	4,2
3.10.	11,3	13,8	9,3	8,9	0,2	1,2
4.10.	11,4	16,8	5	3,1	0	5,2
5.10.	12,6	18,9	5,8	6,7	0	4,1
6.10.	11	18,3	4,2	2,9	neměřitelné	6,2
7.10.	10,5	16	5	6,3	0	6,9
8.10.	12,2	16,9	3,7	1,5	0,1	0,4
9.10.	8,4	14,1	2,9	0,1	0	10,8
10.10.	12,1	17	4,7	5,2	0,2	8,4
11.10.	9,7	13,6	5,6	2,9	0,1	1
12.10.	9,5	14,9	4,1	2,5	0	8,4
13.10.	11,5	16,4	6,7	7,3	neměřitelné	2,6
14.10.	12,5	16,4	10,2	11,1	0,2	1,3
15.10.	13,6	15,6	11,8	11,6	2,7	0,1
16.10.	16,1	21,3	8	5,9	0	2
17.10.	13,5	20,4	7,7	5,7	0	8,8
18.10.	12,4	19,7	7,9	4,6	4,9	1,4
19.10.	8,2	11,9	1,1	-1,6	0	2,3
20.10.	6,5	12,9	0,6	3	0,1	8,3
21.10.	7,9	10,7	4,9	4,1	1,9	1,6
22.10.	11,7	16,4	6,1	5,2	2,5	3,4
23.10.	10,3	16,7	5,8	10,7	1,1	7,3
24.10.	13,8	15,9	9,2	5,7	1	0
25.10.	11,9	16,8	6,1	4	0	7,7
26.10.	10,1	13,8	7,3	7,4	neměřitelné	0,8

27.10.	13,2	19,1	7,2	5,7	0	9,3
28.10.	12,2	17,9	7,1	6,2	0,1	5
29.10.	12,2	19,8	7,3	6,1	0	5,8
30.10.	11,3	16,4	5,5	3,4	0	2,3
31.10.	9,9	16,9	6,8	8,3	neměřitelné	8,5
1.11.	9,4	13,3	7,1	3,7	0,1	0
2.11.	8,6	13,7	2,2	0,2	0	4,9
3.11.	6,3	10,6	2,5	2,4	neměřitelné	7,4
4.11.	7,4	8,9	6,2	5,6	22,3	0
5.11.	6,8	11	1,9	-0,8	0,1	2,4
6.11.	5,9	10	3,5	2,5	0,2	6,8
7.11.	9,5	13,1	5,5	3,9	0	4,8
8.11.	9,5	14,5	2,7	1,2	0	8,1
9.11.	6,9	9,7	3,6	6,9	6,6	3,6
10.11.	9	12,4	5,4	3,2	0	6,2
11.11.	7,6	11,8	2,1	-0,9	0	1,1
12.11.	3,9	11,9	1,4	2,1	0	7,1
13.11.	3,5	6,1	0,1	-0,9	0	0
14.11.	5	10,9	0,9	-0,8	0	7
15.11.	3,1	4,2	1,9	3,6	0,2	0
16.11.	5	5,9	3,6	3,9	1,7	0
17.11.	4,3	4,7	2,9	3,4	3,7	0
18.11.	0,2	3,5	-4,6	-2,8	3,2	0
19.11.	-4,4	-1,4	-7,8	-6,6	neměřitelné	0,2
20.11.	-1,3	3,4	-3,8	-1,2	0,9	0,2
21.11.	1,8	5	-1,7	-2,1	2	0,2
22.11.	1,2	2,2	-0,5	1,1	0	0
23.11.	1,4	2,3	-0,2	1,3	0	0,3
24.11.	3,6	6	-0,2	-1,1	0	0
25.11.	1,3	2,4	-0,4	-1,2	0	0,3
26.11.	2,1	3,1	-0,2	-1,1	0	0,4
27.11.	1,8	4,3	-1,6	-2,1	3	0,1
28.11.	1,3	2	-0,3	-1,1	0	0,5
29.11.	1,5	2,3	-0,5	-1	0	0,3
30.11.	2,1	3,2	-0,3	-1,2	0,1	0,2

Příloha 2

Effect	Mortalita - Test of all effects (data_survival) Distribution : BINOMIAL, Link function: LOGIT Modeled probability that Mortalita = 0		
	Degr. of Freedom	Wald Stat.	p

Intercept	1	0,02747	0,868367
Druh	3	17,86909	0,000468
Aditivum	2	0,42057	0,810353
Druh*Aditivum	6	11,96690	0,062711

Příloha 3

Vzorek	Druh	Půdní aditiva	Mortalita
HB13	smrk	Hydrogel	0
CA6	dub	Kontrola	0
CD2	buk	Kontrola	0
HD1	buk	Hydrogel	1
HA4	dub	Hydrogel	1
HC12	borovice	Hydrogel	0
HD7	buk	Hydrogel	1
HA13	dub	Hydrogel	0
CD4	buk	Kontrola	1
HB12	smrk	Hydrogel	0
HC13	borovice	Hydrogel	0
HA1	dub	Hydrogel	1
HC5	borovice	Hydrogel	0
HB11	smrk	Hydrogel	0
CA8	dub	Kontrola	0
CD1	buk	Kontrola	1
HD4	buk	Hydrogel	0
CB13	smrk	Kontrola	1
CC8	borovice	Kontrola	0
BB13	smrk	Biochar	1
BC13	borovice	Biochar	1
BD10	buk	Biochar	1
BA13	dub	Biochar	0
CB12	smrk	Kontrola	1
BD9	buk	Biochar	0
BA12	dub	Biochar	1
BC11	borovice	Biochar	1
BB12	smrk	Biochar	0
CC9	borovice	Kontrola	1
BC10	borovice	Biochar	0
BB11	smrk	Biochar	0

BD2	buk	Biochar	1
BA11	dub	Biochar	1
CB11	smrk	Kontrola	1
CC13	borovice	Kontrola	0
BA10	dub	Biochar	1
CD5	buk	Kontrola	1
CB10	smrk	Kontrola	0
HB10	smrk	Hydrogel	1
HA2	dub	Hydrogel	1
BB10	smrk	Biochar	0
HA5	dub	Hydrogel	1
HB9	smrk	Hydrogel	0
CB9	smrk	Kontrola	1
CD3	buk	Kontrola	1
BB9	smrk	Biochar	0
BA9	dub	Biochar	1
HA6	dub	Hydrogel	0
BB8	smrk	Biochar	1
BA8	dub	Biochar	0
CB8	smrk	Kontrola	1
HB8	smrk	Hydrogel	1
CC12	borovice	Kontrola	0
CA7	dub	Kontrola	1
BC12	borovice	Biochar	0
BD3	buk	Biochar	1
HC1	borovice	Hydrogel	0
HD6	buk	Hydrogel	1
CC11	borovice	Kontrola	1
HD5	buk	Hydrogel	0
HC9	borovice	Hydrogel	0
BD4	buk	Biochar	0
BC9	borovice	Biochar	0
CA5	dub	Kontrola	1
BC8	borovice	Biochar	0
BD5	buk	Biochar	1
HC8	borovice	Hydrogel	0
HD3	buk	Hydrogel	1
CC10	borovice	Kontrola	0
CA4	dub	Kontrola	1
CC7	borovice	Kontrola	1
CB1	smrk	Kontrola	1
HA7	dub	Hydrogel	1

BD1	buk	Biochar	1
BC7	borovice	Biochar	0
BC6	borovice	Biochar	0
BD8	buk	Biochar	1
BC5	borovice	Biochar	0
CC6	borovice	Kontrola	0
CC5	borovice	Kontrola	1
HD9	buk	Hydrogel	1
HD11	buk	Hydrogel	1
HC6	borovice	Hydrogel	0
HA8	dub	Hydrogel	1
BD11	buk	Biochar	1
HB7	smrk	Hydrogel	1
BA7	dub	Biochar	1
BB7	smrk	Biochar	1
CA3	dub	Kontrola	0
CB2	smrk	Kontrola	1
HD12	buk	Hydrogel	1
CB3	smrk	Kontrola	1
CA1	dub	Kontrola	1
BB6	smrk	Biochar	1
BA6	dub	Biochar	1
HB6	smrk	Hydrogel	1
HD2	buk	Hydrogel	1
HA3	dub	Hydrogel	1
HB5	smrk	Hydrogel	0
BA5	dub	Biochar	1
BB5	smrk	Biochar	0
CA2	dub	Kontrola	1
BB4	smrk	Biochar	1
BA4	dub	Biochar	1
BD6	buk	Biochar	1
CB5	smrk	Kontrola	1
CB7	smrk	Kontrola	1
HB4	smrk	Hydrogel	0
CB4	smrk	Kontrola	1
BA3	dub	Biochar	0
BB3	smrk	Biochar	0
BA2	dub	Biochar	1
HC10	borovice	Hydrogel	0
HA9	dub	Hydrogel	1
CB6	smrk	Kontrola	0

BB2	smrk	Biochar	1
HC4	borovice	Hydrogel	0
HC2	borovice	Hydrogel	1
HC7	borovice	Hydrogel	0
BC1	borovice	Biochar	1
BD7	buk	Biochar	0
CC3	borovice	Kontrola	0
HA10	dub	Hydrogel	1
BB1	smrk	Biochar	1
HB3	smrk	Hydrogel	1
CC4	borovice	Kontrola	0
HA11	dub	Hydrogel	1
CC2	borovice	Kontrola	0
BC4	borovice	Biochar	0
HB2	smrk	Hydrogel	1
BC 2	borovice	Biochar	0
HC3	borovice	Hydrogel	0
BA1	dub	Biochar	1
HC11	borovice	Hydrogel	0
HB1	smrk	Hydrogel	1
BC3	borovice	Biochar	0
HA12	dub	Hydrogel	0
CC1	borovice	Kontrola	0
CD6	buk	Kontrola	0
CD7	buk	Kontrola	0
CD8	buk	Kontrola	0
CD9	buk	Kontrola	0
CD10	buk	Kontrola	0
CD11	buk	Kontrola	0
CD12	buk	Kontrola	0
CD13	buk	Kontrola	0
BD12	buk	Biochar	0
BD13	buk	Biochar	0
HD13	buk	Hydrogel	0
HD10	buk	Hydrogel	0
HD8	buk	Hydrogel	0
CA10	Dub	Kontrola	0
CA11	Dub	Kontrola	0
CA12	Dub	Kontrola	0
CA13	Dub	Kontrola	0
BC2	Borovice	Biochar	0

Příloha 4.

Vzorek	Druh	Pudni aditivum	Vaha na zacatku (g)	Vaha na konci (g)
HD1	buk	Hydrogel	21,000	34,000
HA4	dub	Hydrogel	34,000	49,000
HD7	buk	Hydrogel	12,000	34,000
CD4	buk	Kontrola	32,000	115,000
HA1	dub	Hydrogel	22,000	64,000
CD1	buk	Kontrola	9,000	17,000
CB13	smrk	Kontrola	31,000	60,000
BB13	smrk	Biochar	25,000	49,000
BC13	borovice	Biochar	10,000	25,000
BD10	buk	Biochar	19,000	26,000
CB12	smrk	Kontrola	54,000	83,000
BA12	dub	Biochar	25,000	38,000
BC11	borovice	Biochar	12,000	38,000
CC9	borovice	Kontrola	16,000	45,000
BD2	buk	Biochar	42,000	33,000
BA11	dub	Biochar	73,000	74,000
CB11	smrk	Kontrola	46,000	67,000
BA10	dub	Biochar	10,000	98,000
CD5	buk	Kontrola	22,000	48,000
HB10	smrk	Hydrogel	6,000	93,000
HA2	dub	Hydrogel	15,000	24,000
HA5	dub	Hydrogel	34,000	65,000
CB9	smrk	Kontrola	53,000	74,000
CD3	buk	Kontrola	21,000	57,000
BA9	dub	Biochar	23,000	77,000
BB8	smrk	Biochar	9,000	22,000
CB8	smrk	Kontrola	54,000	56,000
HB8	smrk	Hydrogel	35,000	113,000
CA7	dub	Kontrola	51,000	66,000
BD3	buk	Biochar	12,000	26,000
HD6	buk	Hydrogel	22,000	34,000
CC11	borovice	Kontrola	18,000	75,000
CA5	dub	Kontrola	28,000	51,000
BD5	buk	Biochar	15,000	18,000
HD3	buk	Hydrogel	17,000	31,000
CA4	dub	Kontrola	35,000	0,041
CC7	borovice	Kontrola	26,000	78,000
CB1	smrk	Kontrola	36,000	55,000
HA7	dub	Hydrogel	45,000	74,000

BD1	buk	Biochar	18,000	21,000
BD8	buk	Biochar	19,000	24,000
CC5	borovice	Kontrola	25,000	58,000
HD9	buk	Hydrogel	11,000	20,000
HD11	buk	Hydrogel	9,000	17,000
HA8	dub	Hydrogel	53,000	57,000
BD11	buk	Biochar	26,000	55,000
HB7	smrk	Hydrogel	13,000	28,000
BA7	dub	Biochar	27,000	57,000
BB7	smrk	Biochar	34,000	54,000
CB2	smrk	Kontrola	32,000	49,000
HD12	buk	Hydrogel	16,000	32,000
CB3	smrk	Kontrola	38,000	59,000
CA1	dub	Kontrola	58,000	60,000
BB6	smrk	Biochar	47,000	74,000
BA6	dub	Biochar	45,000	74,000
HB6	smrk	Hydrogel	17,000	33,000
HD2	buk	Hydrogel	8,000	11,000
HA3	dub	Hydrogel	23,000	26
BA5	dub	Biochar	35,000	49,000
CA2	dub	Kontrola	15,000	68,000
BB4	smrk	Biochar	27,000	36,000
BA4	dub	Biochar	53,000	62,000
BD6	buk	Biochar	22,000	32,000
CB5	smrk	Kontrola	33,000	47,000
CB7	smrk	Kontrola	70,000	87,000
CB4	smrk	Kontrola	37,000	59,000
BA2	dub	Biochar	15,000	23,000
HA9	dub	Hydrogel	45,000	64,000
BB2	smrk	Biochar	63,000	78,000
HC2	borovice	Hydrogel	29,000	64,000
BC1	borovice	Biochar	21,000	41,000
HA10	dub	Hydrogel	26,000	42,000
BB1	smrk	Biochar	35,000	58,000
HB3	smrk	Hydrogel	44,000	65,000
HA11	dub	Hydrogel	36,000	45,000
HB2	smrk	Hydrogel	33,000	51,000
BA1	dub	Biochar	43,000	58,000
HB1	smrk	Hydrogel	28,000	63,000

Příloha 5.

Vzorek	Druh	Pudni aditiva	Delka 1	Delka 2	Delka 3	Delka 4
BC13	borovice	Biochar	25	23,5	29,5	31
BC11	borovice	Biochar	21,5	22	32,3	34
BC1	borovice	Biochar	24,5	35,5	34	35
BD10	buk	Biochar	56,5	60	56,5	55
BD2	buk	Biochar	61	64	68	71
BD3	buk	Biochar	53,5	47	48	52
BD5	buk	Biochar	47,5	49,5	49	45
BD1	buk	Biochar	45	49,5	44	45
BD8	buk	Biochar	44,5	46,5	46	47
BD11	buk	Biochar	51,5	55,5	52	50
BD6	buk	Biochar	59,5	59,5	59	57
BA12	dub	Biochar	39	41,5	40	42
BA11	dub	Biochar	42,5	45	46,5	48
BA10	dub	Biochar	62	59,5	60	63
BA9	dub	Biochar	51,5	43	38,5	42
BA7	dub	Biochar	37	36	30	32
BA6	dub	Biochar	41,5	42,5	42	45
BA5	dub	Biochar	35	36,5	37	39
BA4	dub	Biochar	31	31,5	33	34
BA2	dub	Biochar	52,5	52,5	52	52
BA1	dub	Biochar	27,5	31,5	30	31
BB13	smrk	Biochar	32,5	35,5	36,5	36
BB8	smrk	Biochar	21	22,5	22	22
BB7	smrk	Biochar	37,5	40,5	42	42
BB6	smrk	Biochar	35,5	40	40	41
BB4	smrk	Biochar	44	45	44	43
BB2	smrk	Biochar	37	48,5	47	48
BB1	smrk	Biochar	34,5	40,5	40	41
HC2	borovice	Hydrogel	36,5	38,5	41	42
HD1	buk	Hydrogel	41,5	46,5	48	42
HD7	buk	Hydrogel	60	60,5	60	60
HD6	buk	Hydrogel	54,5	54	55	55
HD3	buk	Hydrogel	44,5	43	43	43
HD9	buk	Hydrogel	33,5	35	35	35
HD11	buk	Hydrogel	30,5	29,5	31	31
HD12	buk	Hydrogel	44,5	43,5	44,5	45
HD2	buk	Hydrogel	32,5	32,5	31	31
HA4	dub	Hydrogel	36,5	40	41	46
HA1	dub	Hydrogel	51,5	46,5	44,5	45
HA2	dub	Hydrogel	50,5	40	38,5	38
HA5	dub	Hydrogel	33	33	34,5	33

HA7	dub	Hydrogel	44,5	46	46	46
HA8	dub	Hydrogel	53	52,5	53	54
HA3	dub	Hydrogel	42	44,5	44	47
HA9	dub	Hydrogel	39	41,5	44	44
HA10	dub	Hydrogel	36	35,5	38	37
HA11	dub	Hydrogel	43	42,5	15	15
HB10	smrk	Hydrogel	31	31,5	30,5	34
HB8	smrk	Hydrogel	30	35	35	34
HB7	smrk	Hydrogel	24,5	30,5	30	31
HB6	smrk	Hydrogel	33	35	36	37
HB3	smrk	Hydrogel	44,5	48,5	49,5	50
HB2	smrk	Hydrogel	30	36,5	35	35
HB1	smrk	Hydrogel	41,5	44,5	44	45
CC9	borovice	Kontrola	27,5	33	34,5	37,5
CC11	borovice	Kontrola	16,5	25,5	31	31
CC7	borovice	Kontrola	26,5	27	37	37
CC5	borovice	Kontrola	34,5	34	43	43
CD4	buk	Kontrola	52,5	56,5	56	53
CD1	buk	Kontrola	32	34,5	33	34
CD5	buk	Kontrola	56,5	57,5	55,5	58
CD3	buk	Kontrola	53	53,5	53,5	53
CA7	dub	Kontrola	39	38	39	40
CA5	dub	Kontrola	54,5	58,5	60	57
CA4	dub	Kontrola	23	32	32	33
CA1	dub	Kontrola	47,5	49,5	49	50
CA2	dub	Kontrola	36,5	44,5	44	45
CB13	smrk	Kontrola	29,5	35	35	36
CB12	smrk	Kontrola	42,5	48	47,5	47
CB11	smrk	Kontrola	33,5	37	35,5	42
CB9	smrk	Kontrola	36,5	43	41,5	31
CB8	smrk	Kontrola	29,5	35	33	34
CB1	smrk	Kontrola	25,5	3	34	35
CB2	smrk	Kontrola	34,5	40,5	40	40
CB3	smrk	Kontrola	24,5	40,5	40	40
CB5	smrk	Kontrola	39	43,5	42,5	44
CB7	smrk	Kontrola	43	47,5	46	46
CB4	smrk	Kontrola	37,5	44,5	43	42