

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Transformace orné půdy na přirozené sukcesní
společenstvo a její vliv na půdní vlastnosti**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Jan Meravý

Obor studia: Hodnocení a ochrana půdy

Vedoucí práce: doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Transformace orné půdy na přirozené sukcesní společenstvo a její vliv na půdní vlastnosti" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.04.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Lence Pavlů, Ph.D. za pomoc při psaní diplomové práce, za ochotu, trpělivost a samozřejmě za cenné rady, které mi při psaní poskytla. Dále bych rád poděkoval celé katedře pedologie a ochrany půdy za možnost realizace laboratorních pokusů.

Transformace orné půdy na přirozené sukcesní společenstvo a její vliv na půdní vlastnosti

Souhrn:

Tato diplomová práce je součástí dlouhodobého výzkumu zaměřeného na transformaci původně orné půdy na přirozené sukcesní společenstvo v oblasti prameniště Ctěnického potoka.

Hlavním cílem této práce je porovnání vybraných základních chemických vlastností půd a kvalitativních parametrů půdní organické hmoty sukcesního společenstva.

Utvářející se na ladem ponechané orné půdě se stále konvenčně zpracovávanou ornou půdou v těsném sousedství sukcesní plochy. V roce 2009 bylo vybráno zájmové území u prameniště Ctěnického potoka, které bylo před rokem 2009 obhospodařováno jako orná půda. Praměniště Ctěnického potoka se nachází na severovýchodní části hlavního města Prahy, pod katastrálním územím Vinoř. Pro odběr vzorku byla vytvořena vzorkovací síť 50 x 50 m. Všechny body jsou vyznačeny pomocí GPS. V roce 2021 se vzorky odebíraly na stejných bodech, plus k nim byly přidány 2 řady, které zasahovaly až do území stále využívaného jako orná půda. V každém bodu byl odebrán vzorek pomocí sondovací tyče, byla odebrána část půdního profilu zhruba do hloubky 90 cm. V každém bodě byly následně odebrány porušené půdní vzorky z povrchu půdy, a to v hloubce 0–20 cm. Vzorky půdy byly následně vysušeny, dále přesáty na jemnozem 0-2 mm a dále použity pro stanovení všech chemických parametrů.

Mezi stanovené chemické vlastnosti patří $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, pH_{KCl} , C_{ox} a $\text{Q}_{4/6}$ mezi fyzikální vlastnosti spadá stabilita půdních agregátů WSA. Výsledky byly zpracovány v programu Statistika 12 a Excel 2023. Pro všechny veličiny byly vypočítané průměrné hodnoty, směrodatné odchylky a variační koeficient, což je poměr průměrů. Následně pomocí programu ArcGis byly vytvořeny mapy S vyznačenými sondami, nejvyššími a nejnižšími hodnotami.

Aktivní půdní reakce $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ byla zaznamenána nejvyšší hodnota u varianty pastvina s hodnotou 8,1 a nejnižší u varianty pole 7,35, zatímco u pH_{KCl} nejvyšší mokřad 7,43 a nejnižší pole 6,90. U $\text{Q}_{4/6}$ byla naměřena nejvyšší hodnota 3,73 což znamená FK:HK. Zatímco u varianty pastvina 2,89 což značí HK:FK. Obsah organické hmoty C_{ox} byla nejvyšší hodnota u varianty mokřad 2,88 % a nejnižší u varianty pastvina 1,63 %. Černozemě jako takové mají velmi dobrou stabilitu půdních agregátů. U stability půdních agregátů (WSA) byla nejlepší varianta duby s hodnotou 0,93 a u variant pole a trávník byly hodnoty podobné. $\text{Q}_{4/6}$ nepřímo koreluje s $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ a pH_{KCl} a přímo koreluje s C_{ox} . Mezi C_{ox} a $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ byla zjištěna slabá negativní statistická závislost. Lze tedy říct, že vyšší obsahy organické hmoty odpovídají místům s její nižší kvalitou a rovněž místům s nižším pH půdy.

Klíčová slova: půda, půdní struktura, půdní organická hmota, vegetační kryt

Transformation of arable land into a natural successional ecosystem and its effect on soil properties

Summary

This diploma thesis is part of a long-term research focused on transforming originally arable land into a natural successional community in the area of the Ctěnický stream spring. The main goal of this thesis is to compare selected basic soil chemical properties and qualitative parameters of soil organic matter of the successional community developing on fallow arable land with conventionally cultivated arable land in close proximity to the successional area. In 2009, the area of interest was selected at the Ctěnický stream spring, which was managed as arable land prior to 2009. The Ctěnický stream spring is located in the northeastern part of the capital city of Prague, under the cadastral area of Vínůň. A sampling grid of 50 x 50 m was created for soil sampling, and all points were marked using GPS. In 2021, samples were taken at the same points, plus 2 rows were added that extended into the area still used as arable land. A soil sample was taken at each point using a probing rod, and a part of the soil profile was collected to a depth of about 90 cm. Then, disturbed soil samples were collected from the soil surface at a depth of 0-20 cm at each point. Soil samples were then dried, sieved through a 0-2 mm fine sieve, and used for determining all chemical parameters.

The chemical properties that were determined included soil $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ and pH_{KCl} , C_{ox} , and $\text{Q}_{4/6}$, while the physical property of soil aggregate stability (WSA) was also measured. The results were processed in the Statistics 12 and Excel 2023 software programs. For all variables, mean values, standard deviations, and the coefficient of variation, which is the ratio of means, were calculated. Subsequently, maps with marked points, the highest and lowest values were created using the ArcGis software.

Active soil $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ showed the highest value in the meadow variant with a value of 8.1 and the lowest in the field variant with 7.35, while for pH_{KCl} , the highest value was in the wetland variant at 7.43 and the lowest in the field variant at 6.90. The $\text{Q}_{4/6}$ had the highest value of 3.73, which means FK:HK, while the meadow variant had a value of 2.89, which indicates HK:FK. The C_{ox} organic matter content had the highest value in the wetland variant at 2.88 % and the lowest in the meadow variant at 1.63 %. Chernozems have very good soil aggregate stability. The soil aggregate stability (WSA) was best in the oak variant with a value of 0.93, while the field and grass variants had similar values. $\text{Q}_{4/6}$ indirectly correlates with $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ and pH_{KCl} and directly correlates with C_{ox} . A weak negative statistical dependence was found between C_{ox} and $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$. It can therefore be said that higher organic matter contents correspond to places with lower quality and also to places with lower soil pH.

Keywords: soil, soil structure, soil organic matter, vegetation cover

Obsah

1	ÚVOD	7
2	VĚDECKÁ HYPOTÉZA A CÍLE PRÁCE	8
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	9
3.1	VZNIK PŮDY	9
3.2	PŮDOTVORNÉ FAKTORY	9
3.2.1	<i>Matečná hornina</i>	9
3.2.2	<i>Klíma</i>	10
3.2.3	<i>Organismy</i>	10
3.2.4	<i>Reliéf</i>	12
3.2.5	<i>Čas</i>	13
3.2.6	<i>Antropogenní faktor – vliv člověka na půdotvorné procesy</i>	13
3.3	VYBRANÉ CHEMICKÉ VLASTNOSTI PŮDY	14
3.3.1	<i>Půdní reakce (pH)</i>	14
3.3.2	<i>Organická hmota v půdě</i>	15
3.3.3	<i>Struktura půdy</i>	18
3.4	CHARAKTERISTIKA PŮDNÍCH TYPŮ	19
3.4.1	<i>Charakteristika Černozemě</i>	19
3.4.2	<i>Charakteristika Černic</i>	20
3.4.3	<i>Charakteristika Glejů</i>	21
3.5	SUKCESE	21
3.5.1	<i>Mechanismy sukcese</i>	22
4	METODIKA	24
4.1	CHARAKTERISTIKA STANOVIŠTĚ.....	24
4.2	ODBĚR VZORKŮ	25
4.3	METODIKA LABORATORNÍCH POKUSŮ	26
4.3.1	<i>Stanovení pH</i>	26
4.3.2	<i>Množství humus</i>	26
4.3.3	<i>Kvalita humusu</i>	27
4.3.4	<i>Stabilita půdních agregátů</i>	27
5	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	28
5.1	VÝSLEDKY	28
5.1.1	<i>Zhodnocení rozložení půdních vlastností v rámci studované lokality</i>	30
6	DISKUZE	41
6.1	POLE	41
6.2	PASTVINA.....	42
6.3	MOKŘAD.....	42
6.4	TRÁVNÍK	43
6.5	DUBY.....	44
7	ZÁVĚR	45
8	LITERATURA	46

1 Úvod

První průzkum prameniště Ctěnického potoka byl proveden v roce 2009, kdy na zmíněném území převažovala orná půda. Větší část území byla ponechána ladem a ponechána přirozené sukcesi. Menší část byla využita a přeměněna na pastvinu a zbylá část byla zalesněna. Průzkum probíhající v letech 2020-2021 měl za cíl zjistit změny půdních vlastností v důsledku změny využití půdy.

Na zkoumané lokalitě se nachází 5 variant: pole, les (dubový porost, uměle vysázený), trávník (travní společenstva a keře), mokřad a již zmíněná pastvina. Duby zde byly vysázeny do dvou řad mezi polem a úspěšným společenstvem travin. Varianta travin volně bujela s keři, kdy na prvotním začátku převládaly druhy pionýrské, které byly následně v průběhu let nahrazeny druhy dominantními. U varianty mokřad, která je podél Ctěnického potoka, byly před rokem 2009 zjištěny hydromorfnní půdní typy, ale až po ponechání sukcesi a konci obdělávání pole se vytvořila tak mokřadní společenstva okolo Ctěnického potoka. Varianta pastvina je využívána pro výběh koní během podzimních, jarních a letních měsíců.

Cílem současného průzkumu tedy bylo posoudit efekt různých typů vegetačního krytu a využívání půdy na změnu původně relativně homogenních půdních vlastností. Sukcese označuje vývoj a změnu ve společenstev ekosystémů, které se vytvářejí v průběhu času. Sukcese je důležitá jak pro půdní diverzitu, tak i rostlinou a živočišnou biodiverzitu v okolí. Ponechání orné půdy přirozené sukcesi, může přinést pozitivní vliv jak pro půdu, tak pro biodiverzitu a okolní prostředí díky nově vytvořenému biomu. Závěrečné a stabilní stádium sukcese se nazývá klimax. Sukcese, jak již bylo zmíněno může mít pozitivní vliv na chemické a fyzikální půdní vlastnosti, které se v průběhu několika let mohou měnit v závislosti na půdním typu.

Chemické vlastnosti půd, a především vlastnosti půdní organické hmoty jsou vázány na vegetační kryt a na zpracování půdy, ale samozřejmě i na půdotvorný substrát a klimatické podmínky. Půda díky biologicko-chemickým a mikro-biologickým procesům ovlivňuje procesy cyklu uhlíku. Pomocí půdní mikrofauny se při vzniku SOM se uhlík v půdním prostředí shromažďuje, naopak při zpracovávání půdy se následně dostává zpět do atmosféry jako CO₂. Vyrovnaný půdní mechanismus tak může zaručit rovnováhu a ochranu ekosystému.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Tato diplomová práce je součástí dlouhodobého výzkumu zaměřeného na transformaci původně orné půdy na přirozené sukcesní společenstvo v oblasti prameniště Ctěnického potoka.

Hlavním cílem této práce je porovnání vybraných základních chemických vlastností půd a kvalitativních parametrů půdní organické hmoty sukcesního společenstva utvářejícího se na ladem ponechané orné půdě se stále konvenčně zpracovávanou ornou půdou v těsném sousedství sukcesní plochy.

Práce má potvrdit či vyvrátit následující vědecké hypotézy:

- 1) Půdní vlastnosti se významně liší v závislosti na způsobu využívání půdy.
- 2) Největší rozdíly mezi variantami využívání půdy jsou patrné v množství a kvalitě půdní organické hmoty.

3 Literární rešerše

3.1 Vznik půdy

Půda je brána jako svrchní vrstva souše, která se v průběhu času vyvíjela působením půdotvorných faktorů a procesů (Pavlů, 2019). Půda neboli pedosféra je svrchní zvětralá vrstva souše, která se nachází mezi hydrosférou, atmosférou, biosférou a litosférou. Půda je směsí primárních a sekundárních minerálů, vody, organické hmoty, vzduchu a živých organismů. Půda je označována jako medium převážně pro rostliny, kdy dle typu půdy každá rostlina roste jinak, a to lépe či hůře. Je to komplexní materiál s velkou variabilitou jak ve fyzikálních vlastnostech, tak v chemickém složení. Vzniká z mas odkrytých hornin a minerálů, které tvoří zemskou kůru. Samotný vznik je závislý na podmínkách prostředí (Ben-Dor et al., 2009). Na planetě zemi docházelo po dobu milionu let vlivem deště a větru ke zvětrávání a rozpadům nerostů a hornin dále i k ukládání odumřelých živočichů a rostlin do půdy. Pokryv naší planety takto vznikl.

„Půdu můžeme chápat jako srdce životního prostředí“ (Šarapatka, 2014).

Půdu lze chápat jako neobnovitelný zdroj. Její degradace může být rychlejší než proces obnovy a regenerace půdy.

3.2 Půdotvorné faktory

Půda se utváří vlivem zemských sfér, zároveň jako dynamický systém mění okolí kolem sebe (Brady and Weil, 2017). Půda je útvar, který se tvoří nahromaděním organické hmoty a minerálů na povrchu země, díky působení půdotvorných faktorů. Složení a stavba půd jsou závislé na charakteru a intenzitě půdotvorných činitelů. K půdotvorným faktorům patří matečná hornina, klima a podzemní voda a organismy. Mezi podmínky tvorby půdy patří reliéf terénu a čas. Vývoj a tvorbu půd z velké části ovlivňuje sám člověk (Šarapatka, 2014).

3.2.1 Matečná hornina

Podstatnou část půdní hmoty tvoří vrchní vrstva litosféry, která ovlivňuje chemismus a zrnitostní složení půd. Zrnitostní složení ovlivňuje propustnost půdy a zároveň i nepřímo může ovlivnit rychlost půdotvorných procesů. Samotný chemismus hornin ovlivňuje chemické složení půd a zároveň i tzv. minerální sílu (Šarapatka, 2014).

V malém procentu půda vzniká zvětráváním matečné horniny při účasti dalších půdotvorných faktorů a podmínek. Mnohem častěji se však stává, že spojení půdy s mateřskou horninou bylo porušeno. Jednou z možností, proč se tak děje je, že půdotvorný substrát není homogenní z důvodu jiných vrstev u sedimentů. Jako další možnost se považuje, že půda vzniká na zvětralině, která byla v průběhu času přetransportována na jinou matečnou horninu, nebo že během procesu do zvětraliny *in situ* byl během času přimíchán jiný materiál, který pozměnil už původní půdotvorný substrát (Šarapatka, 2014).

V takové souvislosti se může mluvit o mateční hornině podložní. Půda je pak převážně vytvořena z jiné horniny než z té, která je podložní. Převážná většina našich půd má jako mateřský substrát svahoviny (Šarapatka, 2014).

3.2.2 Klima

Klima je jedním z nejdůležitějších faktorů, které působí na matečný materiál. Určuje povahu a intenzitu zvětrávání. Hlavními klimatickými proměnnými, které ovlivňují tvorbu půdy, jsou srážky a teplota. Určují rychlost chemických, fyzikálních a biologických procesů (Brady and Weil, 2017).

U půdotvorných procesů má klima jak přímý, tak nepřímý vliv. Mezi přímé vlivy, které může klima formovat, patří tepelné a vodní režimy půdy. Během toho je půda periodicky ohřívána a opětovně ochlazována, tak i přivlhčována a vysoušena. Vzhledem těmto změnám je půda ovlivňována biologickými, chemickými a fyzikálními vlivy (Šarapatka, 2014).

Vzhledem k přebytku srážek jsou svrchní části půdního profilu vymývány a ochuzovány přesunem látek, do nižších vrstev profilu. Hlavní faktorem, který ovlivňuje reakce v půdě je již zmíněná teplota, díky které při vyšších teplotách dochází v půdě k rychlejším půdotvorným procesům. Jelikož jsou urychleny chemické reakce v půdě a v závislosti na to je činnost organismů intenzivnější. Zároveň se v půdě urychluje výpar vody, a mineralizace a humifikace probíhá mnohem intenzivněji, než kdyby teplota byla v normálních hodnotách nebo naopak pod bodem mrazu (Šarapatka, 2014).

3.2.3 Organismy

Živé organismy lze rozdělit do dvou typů. Jsou to organismy žijící celým tělem v půdě a organismy žijící pouze částí těla v půdě. Mezi první skupinu, tedy organismy žijícím v půdě částí těla patří hlavně rostliny, které ovlivňují půdu kořenovou soustavou. Díky prorůstání ovlivňují půdu jak mechanickým, tak chemickým působením, které působí do velké hloubky a různé vzdálenosti. Díky transpiraci ovlivňují rostliny v půdě obsah a toky živiny i půdní vlhkost. Rhizosféra, která se nachází okolo jemných vlásečnicových kořenů, které zvětšuje dosah a pohlcuje více živin. Důležitou funkcí rostlin a celkového vegetačního pokryvu je ochrana proti erozím. Mezi skupinu druhou dále řadíme edafon. Edafon znamená společenstvo organismů, kteří v půdě žijí, a jejich vztah je s půdou velmi blízký. Dle chemismu půdy a dle jejího zrnitostního složení pak v půdě žijí jiné typy edafických společenstev (Pavlů, 2019).

Činnosti organismů lze podle (Šarapatky, 2014) rozdělit následovně:

1. Půdní mikroorganismy – Pomáhají a účastní se syntézy a rozkladu minerálních a organických látek. Příkladem jsou rozkladači organické hmoty v ekosystému.
2. Rostliny – Jsou důležité pro zvětrávání mateřské horniny. Zaplňují půdu organickou hmotou, napomáhají tvorbě humusu a jsou zapojeny do cyklu prvků v půdě. Mají vliv na fyzikální vlastnosti půdy.

3. Živočichové – Podílejí se na koloběhu prvků, pasivním vlivem obohacují půdu o organické látky. Někteří živočichové svým kopáním, hrabáním napomáhají k provzdušňování půdy, kde míchají organické frakce s anorganickými.

Rostliny mají i nepřímý vliv na vytváření půd i na mikroorganismy, které v půdě žijí (Šarapatka, 2014). Velká většina organických látek bývá v půdě zpracována organismy, svojí činností napomáhají k rozkladům více složitých organických látek, které mění na anorganické – nízkomolekulární sloučeniny. Také dokážou syntézou vytvořit složité organické sloučeniny, které jsou součástí humusu. Organická hmota se dostává do půdy ve formě dřeva, odpadu, odumřelých kořenů, odumřelých živočichů a samotných mikroorganismů. Půdní živočichové jsou propojeni s mikroorganismy a společně tvoří symbiotickou strukturu a další vztahy (Šarapatka, 2014). Chemické složení rostlinných zbytků s organickou hmotou v půdě z velké části ovlivňuje strukturu mikrobiálních společenstev spolu s mikrobiální aktivitou v půdě. Společně s ní stoupá rychlost rozkladu. Hlavní zdroj živin a energie pro společenstvo představuje hlavně dřevní hmota, a opad listů a odumřelé kořeny rostlin. Stárnutím opadu listů se mění bilance prvků v půdě, je tam rozdíl mezi hlavními živinami uhlíkem, dusíkem a fosforem. Strategie mikrobiálních společenstev se dle obsahu hlavních živin v půdě mění. Mikrobiální společenstva se dále přizpůsobují změnám zdrojů a následně rychle ovlivňují samotnou stechiometrii posunu živin při rozkladu. Organická hmota v půdě hraje velice důležitou roli z hlediska určení dynamiky draslíku v půdě, kde jsou organické koloidy s negativním nábojem, které vzniknou díky disociaci fenolických a karboxylových skupin během rozkladů organické hmoty. Následně se stává zbytkový draslík dostupnější díky působení organických kyselin, které se uvolňují při rozkladu organické hmoty (Erriguens et al., 2007).

Kořeny rostlin a edafon, které během několika let odumřou, se v průběhu času začínají pomalu rozkládat. Poté se začínají transformovat pomocí mikroflóry a následně se humus začne hromadit. Organická hmota je velice důležitá pro udržení živin a půdní úrodnosti. Počet mikroorganismů a edafonu se díky organické hmotě začne v půdě zvyšovat, v návaznosti se v půdě začne značně zvyšovat biologická aktivita. Organická hmota do půdy dodává množství živin, vylepšuje vododržnost, aby voda, která se do profilu dostane, rychle neprotekla. Vzhledem tomu se v půdě začne ve velké míře zlepšovat provzdušňování pro semínka rostlin a první růst kořenů (Bernard-Reversat et al., 2011). Úrodnost půdy je následně z velké části spojena s mineralizací živin, které jsou obsažené v organické hmotě a jsou poté uvolňovány v rostlině. Následně jsou do půdního roztoku vypuštěny v přijatelné formě. Bakterie nitrogenní pomáhají vázat atmosférický molekulární dusík, který se následně naváže v probíhajícím koloběhu do různorodých organických a minerálních sloučenin. V průběhu času začne vznikat primitivní půda, kde se následně začínají rozvíjet půdotvorné procesy. Tento proces odpovídá stanovištním podmínkám a následně pokračuje pozvolný vývoj půdy (Šarapatka, 2014). Nitrifikace je proces biologický, který díky zvýšené teplotě, vlhkosti a v dobře provzdušněných půdách postupuje rychleji. Nitrifikace bývá zpomalena při teplotách nižších než 15 °C. Dusičnany vytvářejí záporně nabitý iont, který se nepřitahuje k půdní organické hmotě nebo k půdním částicím jako u kationtu (NH_4^+). Nicméně je ale dobře rozpustný ve vodě a může se dobře pohybovat pod zakořeněnými plodinami za určitých podmínek. Naopak denitrifikace je proces, během kterého dochází k přechodu aniontu dusičnanového (NO_3^-) na jiné (oxid dusičitý

(NO₂), oxid dusný (N₂O), dusík (N₂) a oxid dusnatý (NO) pomocí bakterií v půdě. Dané plyny jsou následně vypouštěny do atmosféry. Dusičnanový aniont (NO₃⁻) využívají denitrifikační bakterie jako zdroj kyslíku během metabolických procesů. Denitrifikace probíhá v půdách podmáčených s dostatečným množstvím organické hmoty a poskytuje pro bakterie energii. Denitrifikace může probíhat rychleji jen v případě, když jsou půdy dostatečně nasyceny vodou a jsou dostatečně teplé po dobu 2 nebo 3 dní. Při dočasném snížení množství dostupného dusíku pro rostliny může docházet k jeho imobilizaci. Bakterie, které následně rozkládají zbytky s vysokým obsahem uhlíku a nízkým obsahem N, jako jsou např. kukuřičná stébla nebo obilná sláma, spotřebovávají více N, aby tento materiál byly schopny strávit, než je přítomno v rostlinných reziduích. K imobilizaci dochází, když se dusičnanový aniont (NO₃⁻) popřípadě amonný kation (NH₄⁺), který je přítomný v půdě, využije k tvorbě bílkovin mikrobiálním společenstvím. Bakterie, které jsou aktivně rostoucí, mohou rozkládat organiku v půdě, a následně dochází k uvolnění dusíku N ve vegetačním období (Fernandez et al., 2014).

3.2.4 Reliéf

Reliéf působí na vznik půd jako morfostrukturní charakteristika, ale stejně tak na vznik půdy působí relativní a absolutní nadmořská výška (Tomasek, 2000). Reliéf ovlivňuje rozložení slunečního záření (expozici svahu). Zajímavé a charakteristické půdní vlastnosti vykazuje stanoviště jižních a jihozápadních ploch. Tyto plochy mají největší rozdíly mezi minimálními a maximálními teplotami následně i nejvyšší výpar, dokonce i při dostatečných srážkách. Svahy, které jsou orientovány na východ díky pohybu oceánského atmosférického proudění (ze západu), jsou vystaveny srážkovému stínu. Zatím co v zimních měsících jsou vystaveny naopak mrazivým a kontinentálním větrům. Tím pádem svahy východní jsou podobné svahům jižním. U expozice severní je i při podobném ročním srážkovém úhrnu obecně známo, že mají nižší průměrné roční teploty a zároveň i menší výkyvy mezi teplotami minimálními a maximálními. Velký vliv mají rostlinná společenstva, která podporují biologické a chemické zvětrávání a snižují evapotranspiraci, díky tomu na severních svazích dochází k tvorbě nejmenších půdních částic a následnému vzniku hlubších půdních profilů. Vzhledem k chladným a vlhkým severozápadním větrům dochází na severních svazích k vyšší humiditě, což napomáhá k urychlování pochodů zvětrávacích. Zatímco západně orientované svahy díky vyšším úhrnům srážek a převládajícímu severozápadnímu atmosférického proudění se svojí charakteristikou přibližují spíše svahům severním (Rejšek and Vácha, 2018).

Samotné rozdíly teplotních režimů dále ovlivňují vodní režim půd a vegetaci. Vzhledem k expozici svahu lze pozorovat rozdíl ve vegetaci. Reliéf má velký vliv na vsakování vody do půdy, kdy pod svahem na rovině se nachází voda v hojném množství, protože na svahu nemá takovou možnost se zachytit a vsáknout. (Šarapatka, 2014).

Nicméně může docházet k vyluhování karbonátů a intenzivnímu oglejení. Zvýšená vlhkost může zpomalovat rozklad organických látek, a naopak v sušších lokalitách může dojít ke vzlínání vod. Tedy k zasolení půd, které ve vodě byly obsaženy (Šarapatka, 2014).

3.2.5 Čas

Čas jako jeden z pedogenetický faktorů má velice blízké až intimní spojení s půdotvorným materiálem (Rejšek a Vácha 2018). Za staré půdy označujeme v České republice půdy, které jsou silně zvětralé, vznikaly v terciárním období a v období kdy panovaly jiné klimatické podmínky, nežli panují dnes (Tomasek, 2000).

Čas je tedy brán jako primární faktor odlišnosti půdy v České republice. Čas jako fyzikální pojem mechanik je potřeba brát ze dvou úhlů pohledu:

- Čas jako délka vývoje půdy – Čas vymezuje dobu, po kterou na ní mohou působit ostatní pedogenetické faktory. Půdy krajinného segmentu, které jsou oddělené délkou svého vývoje, v průběhu času vytvářejí chronosekvence půdní nebo soubor starých půd. Ty vzhledem k svojí sukcesní sounáležitosti, která byla vyhodnocována v daném okamžiku, pojednávají o roli času na daném stanovišti velice zřetelně. Dle toho dělíme půdy na monogenetickou a polygenetickou. Na monogenetickou půdu po celou délku vývoje působí nezměněné, pedogenetické faktory. Zatím co na půdy polygenetické, jsou půdy, u kterých se za dobu jejich existence objevují nové, kvalitativní okolnosti (Rejšek and Vácha, 2018).
- Čas jako okamžik na hodnocení půdy – Čas určuje okamžik při vzorkování půdy, a tak jako vstupuje do odběru tak i do interpretace výsledků z laboratorních analýz z úhlu pohledu půdních vlastností. U různých půdních vlastností víme o jejich dynamice denní, sezónní a o jejich dlouhodobě stabilním charakteru. Všechny tyto skutečnosti se ukazují právě u vzorkování a hlubšího porozumění odebraných hodnot, právě z úhlu pohledu souvztažnosti s vzorkovacím časem (Rejšek and Vácha, 2018).

Čas se projevuje ve zvětrávání a stupni půdotvorných procesů, konkrétněji v:

- hloubce půdy;
- kvalitě podzemní vody;
- stupni komplexity biocenóz;
- významnosti eluvií a deleuvií, včetně akumulace v půdních horizontech;
- louhování – eluviaci – z půdních horizontů.

3.2.6 Antropogenní faktor – vliv člověka na půdotvorné procesy

V průběhu let se pro člověka stala půda výrobním prostředkem. V tu chvíli začal člověk výrazně ovlivňovat půdu po celém světě. Vliv člověka se rozděluje na přímý a nepřímý. Mezi nepřímý vliv se řadí změny původní vegetace, při kterých se mění hydrologické podmínky a dále i vliv imisí. Na druhou stranu mezi přímé vlivy patří kultivace a obhospodařování půd a využívání hnojiv (Šarapatka, 2014). Jednou z velkých změn, bylo výrazné odlesňování z důvodu zvětšování hospodářských ploch. Vysoká těžba dřevin, kvůli průmyslu vedla i ke změně seskupení druhů. U lesních společenstev došlo v převážně náhradě ostatních dřevin za smrk. Tato skutečnost pak měla velký vliv na změnu stavby půd (Šarapatka, 2014). Půdy, které dříve byly jako lesní a luční, byly využívány k intenzivnímu zemědělství. Během kultivace

člověk dlouhodobě ovlivňuje dynamickou stránku půdotvorných procesů. Velkým využíváním hnojení, jak organickým, tak minerálním, se mění samotné chemické půdotvorné procesy. Mechanickým obděláváním půd, při kterém dochází ke změně dynamiky vzduchu a vody v půdě, ovlivňuje rozklad organické hmoty a proplavování půd. Hluboká orba, může ovlivnit i svrchní vrstvu horizontů a horizonty mezi sebou promíchat. Remediací a rekultivací vznikají nové půdy, které vytváří samotný člověk (Šarapatka, 2014).

3.3 Vybrané chemické vlastnosti půdy

Diplomové práce se z velké části zabývá porovnáním vybraných chemických vlastností a parametrů půd a půdní organické hmoty sukcesního společenstva, které vzniklo na ladem ponechané orné půdě se stále konvenčně obdělávanou ornou půdou, která se nachází v blízkosti sukcesí plochy. V následující kapitole se diplomová práce věnuje vybraným chemickým vlastnostem jako jsou půdní reakce, množství a kvalita organické hmoty a půdní struktura, na které může mít sukcese vliv.

3.3.1 Půdní reakce (pH)

Půdní reakce je jednou z nejzákladnějších fyzikálně chemických vlastností, díky které dělíme půdu na kyselou a alkalickou. Dokáže vyjádřit měnící se koncentraci hydroxylových a vodíkových iontů v půdním roztoku (Rejšek and Vácha, 2018).

Půdní reakce je přímo vázaná na volné disociované ionty železa (Fe), hliníku (Al) a vodíku (H). Pro vyjádření kvantitativní se používá hodnota pH, tedy hodnoty záporných dekadických logaritmů koncentrací již zmíněných vodíkových iontů (Šarapatka, 2014).

Hydroxylové a vodíkové ionty mají velký vliv na přeměnu organické hmoty a půdotvorné procesy, dokonce i na růst rostlin (Šarapatka, 2014).

Důraz je kladen na koncentraci hydroxylových aniontů OH^- a na koncentraci vodíkových kationtů H^+ . Jejich množství totiž ovlivňuje rozpustnost živin např. zinku (Zn), hořčíku (Mg), železa (Fe), manganu (Mn).

Půdní reakce se dělí na aktivní ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) a výměnnou (pH_{KCl} , nebo $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) (Rejšek and Vácha, 2018).

- Aktivní půdní reakce – $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ – reakce je aktivována volnými H^+ ionty, při uvolnění z minerálních a organických kyselin, vlivem disociace. Měření se provádí nejčastěji ve vodě, popřípadě ve vodní suspenzi půdy (Šarapatka, 2018). Kategorie půd podle aktivní půdní reakce jsou vidět v tabulce 1.
- Výměnná půdní reakce – výměnné H^+ ionty, které se vyskytují v půdě, jsou adsorbované na půdní částice. Během extrakce, se vyměňují za ionty bazické (Ca_2^+ , K^+). Reakce nadále probíhá v roztoku KCl (pH_{KCl}) nebo CaCl_2 ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) (Travník et al., 2012). Kategorie půd podle výměnné půdní reakce jsou dále popsány v tabulce 1 a 2.

Tabulka 1: Dělení půd dle aktivní reakce (Valla et al. 2002).

pH_{H2O}	Hodnocení
< 4,9	Silně kyselá
4,9 - 5,9	Kyselá
5,9-6,9	Slabě kyselá
6,9 - 7,1	Neutrální
7,1 - 8,0	Slabě alkalická
8,0 - 9,4	Alkalická
> 9,4	Silně alkalická

Tabulka 2: Dělení půd dle výměnné reakce (Valla et al. 2002).

pH_{KCl}	Hodnocení
< 4,5	Silně kyselá
4,5 - 5,5	Kyselá
5,5 - 6,5	Slabě kyselá
6,5 - 7,2	Neutrální
> 7,2	Alkalická

Půdní reakce má vliv na spoustu procesů, které probíhají v půdě, a proto je jedna z nejdůležitějších chemických vlastností.

Má vliv na průběh biologických reakcí a živou složku půdy, na chemické vlastnosti, například sorpční charakteristiky, na přeměnu kvality humusu a organické hmoty v půdě, na rozložitelnost, dostupnost živin, mobilitu, a dokonce i na rozpustnost rizikových prvků následně i na vývoj půdotvorných procesů (Brady and Weil, 2017).

Hodnota pH je velice důležitá pro rostliny, může ovlivnit příjem živin dále i transport rizikových prvků, které se vstřebávají do rostliny. pH je pro rostliny zásadní v sekci příjmu živin a ve všech ostatních půdně biochemických procesech (Rejšek a Vácha, 2018).

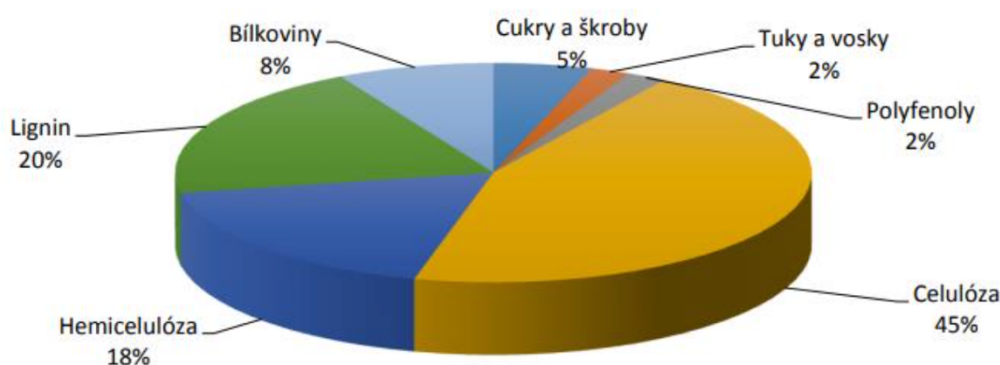
Když je reakce kyselá, dochází následovně ke snížení všech mikrobiálních aktivit, včetně změn ve složení mikrobiálních společenstev a k tomu vázaných úbytků bakterií, kde následně je zřetelný vyšší výskyt hub. Dále dochází ke zpomalení proměn organické hmoty (Šarapatka, 2018).

3.3.2 Organická hmota v půdě

Organická hmota je velice důležitá, protože přispívá ke stabilitě struktury půdy a k její úrodnosti. Tyto skutečnosti jsou důležité zejména u svrchní vrstvy půdy. Hlavním prvkem v organické hmotě je uhlík. Při oxidaci organické hmoty se uhlík uvolňuje spolu s živinami N, P a S ve formách, které jsou pro rostliny přijatelné (Kononova, 2013).

Půdní organická hmota (SOM) je směs heterogenních materiálů, které jsou členěny na organickou hmotu primární, která je tvořena složkou nemumifikovanou a která obsahuje mono – polymerní látky jak živočišné, tak rostlinné, a humifikovanou složku. Organická hmota je tvořena směsí proteinů, polysacharidů (celulóza, škrob, hemicelulóza, pektin 40-60 %) dále

chitinu, peptidoglykenu a ligninu (10-15 %). Mezi další látky, které se v organické hmotě nacházejí, patří směs polyfenolických látek a proteinů, např: kutin, chlorofyl a suberin nebo i jiných alifatických sloučenin, mezi které patří: vosky, mastné kyseliny, terpeny (Lützow et al., 2006). Všechny tyto substance jsou díky rozkladům biochemicky přetvářeny. Při procesu mineralizace, při kterém vznikají minerální produkty, popřípadě při procesu humifikace za vzniku humusu (Schnitzer and Khan, 1978). Některé látky, které se v půdě vyskytují, jsou těžce rozložitelné, následná dekompozice by zabrala hodně času. Zastoupení látek v organické hmotě je převážně dáno druhovým složením vegetace (Lützow et al., 2006). Složení organického materiálu je zobrazeno v obrázku 1.



Obrázek 1: Průměrné složení organického materiálu v půdě (Brady and Weil, 2017)

Humus vzniká pomocí dekompozice, díky půdní mikrobiální fauně. Bakterie, které žijí v půdě, přetvářejí nedostupné látky na dostupné živiny pro rostliny. Během těchto procesů je spotřebována organická hmota. Tato společenstva, předělávají ty látky, které jsou nedostupné pro rostliny na látky dostupné. Během tohoto procesu je organická hmota v půdě spotřebovávána (Rejšek and Vácha, 2018). Hlavní část půdní organické hmoty je tvořena biomasou mikrobiální z odumřelých těl bakterií (Frouz, 2022). Hlavním zdrojem organické hmoty v půdě je organický materiál z opadu listů z nadzemní části, jak ze stromového, bylinného tak keřového patra nebo z rostlinných částí podzemních, jako jsou části rostliny a kořenová biomasa (Rejšek and Vácha, 2018).

Obsah organické hmoty v půdě ukazuje kvalitu půdy, díky které víme, jaká půda je nejvíce úrodná a je možné jí následně využívat pro zemědělství (Rejšek and Vácha, 2018). Vznik samostatné organické hmoty a její následné udržení se převážně zajišťuje díky edafonu. Největší akumulace organické hmoty je dosaženo na místech s aktivní mikrobiální biomasou a místy s vysokým výskytem hub (Kallenbach et al., 2016). Pro nastolení rovnováhy mezi rozkladem a zůstatkem SOM v půdě, záleží na dobrém poměru mezi humifikací a mineralizací (Rejšek and Klement, 2018).

- Nemumifikované látky v SOM = Organický materiál nehumifikovaný tvoří 15-20 % SOM. Jsou to látky odumřelé bioty rostlin a živočichů. Postupem času a vlivem mikroorganismů jsou tyto látky postupně mineralizovány (Vrba and Huleš, 2006). Dle Rejška, 2018 dělíme

mineralizaci na dva procesy, které na sebe vzájemně navazují, je to proces primární a sekundární mineralizace.

- Primární mineralizace = Během primární mineralizace je organická hmota dokonale rozložena, díky práci půdního mikroprostředí. Na začátku jsou rozloženy aminokyseliny, proteiny a cukry. Během rozkladu se uvolňují anionty, kationty a následně během rozkladu vzniká oxid uhličitý a voda.

Finální jednoduché látky, mohou opustit půdu čtyřmi cestami:

1. Mohou být vytěkány do ovzduší (oxid uhličitý CO_2), sulfany, H_2S a amoniak NH_3);
2. Vyplaveny (SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+});
3. Popřípadě mohou být přijaty rostlinou, minerály;
4. Chemicky – fyzikálně sorbovány na půdní koloidy (H^+ nebo K^+).

- Sekundární mineralizace = Během sekundární mineralizace se humusové látky, které dříve byly v půdě vytvořeny díky procesu humifikace, rozkládají (Rejšek and Vácha, 2018). Proces sekundární mineralizace je velice pomalý, (Šarapatka, 2014).
- Humifikované látky v SOM = Po zpracování mikroorganismy a navázání na jílové minerály se organická složka z rostlinné biomasy stává stabilní a utváří většinovým podíl půdní organické hmoty. Tento proces probíhá díky půdní mikrobiotě, která se postupně rozvíjí, roste, odumírá a vytváří stabilní složku půdní organické hmoty. Toto znamená, že půdní organická hmota není tvořena převážně rostlinnou biomasou, ale především mrtvou biomasou mikroorganismů (Frouz, 2022). Látky následně podléhají humifikaci.
- Humifikace = Je syntéza humínových látek, které byly vytvořeny pozvolným rozkladem organické hmoty. Proces humifikace nejlépe funguje při střídání aerobních a anaerobních podmínek v půdě. Nejdůležitější pochody humifikace jsou biochemické, mikrobiální a enzymatické. Pomocí nich se vytváří humínové látky. Samotná humifikace je postavena na dvou procesech. Jako první proces je vznik pomocí syntézy polykondenzace molekul z rostlinných prekurzorů. Druhý stojí hlavně na transformaci a biochemické modifikaci rozkladu organických látek (Šarapatka, 2014).

Produkty, vzniklé díky humifikaci obvykle rozdělujeme na:

- Fulvokyseliny (FK)
 - Nejsvětlejší barva;
 - Nejpohyblivější v půdním prostředí;
 - Vznik při nízké biologické aktivitě, popřípadě při štěpení humusových látek;
 - Rozpustné v loužích, minerálních kyselinách a vodě;
 - 40-49 % C, 1-5 % N, 4-6 % H, 42-49 % O.
- Humínové kyseliny (HK)
 - Tmavá barva;
 - Rozpustné pouze v loužích v kyselinách se vysráží;
 - Střední odolnost vůči rozkladu;

- V půdě jako humáty ve formě solí nebo jako různé kationty;
- 52-65 % C, 2-6 % N, 2-6 %H, 30-39 % O.
- Humíny
 - Nerozpustné jak v zásadách, tak kyselinách, odolný vůči mikrobiálnímu rozkladu;
 - Není součástí půdotvorných procesů.

3.3.3 Struktura půdy

Struktura půdy je seskupení půdních částic do hrudek nebo částí, které se dále nazývají agregáty. Vznik půdní struktury probíhá přirozeně, na vzniku se podílí jak kvalita, tak i obsah organické hmoty, biologická činnost a obsah půdních koloidů (Brady and Weil, 1999). Agregáty vznikají s jiným tvarem a velikostí, dle velikosti se následně agregáty dělí mikroagregáty a makroagregáty. Mikroagregáty jsou menší než 0,25 mm, zatímco makroagregáty jsou větší nežli 0,25 mm (Šarapatka, 2014). Dle procesů, které pomáhají při vzniku a tvorbě agregátů, dělíme strukturu následovně:

- Elementární – Hlavní částice nejsou spojené v agregáty. Za sucha je zemina sypká-písek.
- Koherentní – Půdní částice jsou spjaty do pevných útvarů. Díky hydroxidům Al, Fe, jílu a kyseliny křemičité dochází k pevnému spojení.
- Agregátová – Ke spojení dochází pomocí vlivu organo-minerálních sloučenin, jílu a humusových látek (Šarapatka, 2014).

Na tvorbu struktury mají velký vliv biologické, fyzikální a fyzikálně-chemické procesy. Mezi biologické procesy patří samotný vznik půdních agregátů, kde díky činnostem půdních živočichů např. žížal se promíchávají minerální částice s částicemi organickými každá s různým rozměrem. Mezi další patří produkce tmelících látek, které produkují půdní živočichové. Houby se z velké části podílejí též na tvorbě půdní struktury tím, že spojují svým myceliem půdní částice. Kořeny vyšších rostlin se na vzniku podílejí v rhizosféře, kdy vytvářejí strukturální půdní částice. Mezi fyzikální procesy patří mechanická činnost edafonu, tlak kořenů, teplotní změny v půdě a zpracování půdy člověkem. Během fyzikálně-chemických procesů dochází ke koagulaci půdních koloidů. (Šarapatka, 2014). Půdní částice jsou v půdě stmelovány pomocí organické hmoty, které je původně z rostlinného a mikrobiálního původu a následně se tak vytváří stabilní půdní agregáty (Stevenson, 1994). Organická hmota vyskytující se v půdních agregátech je chráněna fyzikálně před rozkladem, díky této ochraně nedochází ke ztrátě organické hmoty v půdě (Plante and McGill, 2002). Rozpad půdní struktury se dle výzkumů považuje za degradaci půdy. Mezi negativní vlivy degradace patří odvodňování půdy, intenzivní kultivace půdy a velké dávky závlahy. Při zhoršování půdní struktury dochází ke všeobecnému zhoršení dalších půdních vlastností, na půdě se následně může utvořit škraloup a velké utužení půdy s následným negativním vlivem na zemědělství (Vopravil et al., 2011). Struktura půdy bývá posuzována nejen podle velikosti a tvaru agregátů ale i podle stability a schopnosti zadržovat vodu. Metody využívané ke zjištění stability agregátů vycházejí z principu, který napodobuje rozpad agregátů. Nejčastěji se používá metoda, při které se porovnávají výsledky během prosévání suchou a mokrou cestou při pomalém nasycení vodou a následným rychlým odvlhčením půdních vzorků (Šarapatka, 2014).

3.4 Charakteristika půdních typů

Následující kapitola se bude zabývat černozeměmi, černicemi, a gleji, tedy půdními typy vyskytujícími se na studované lokalitě prameniště Ctěnického potoka.

3.4.1 Charakteristika Černozemě

Černozemě, se vyskytují v teplejších a sušších podmínkách, hlavně v lesostepních a stepních oblastech na spraších a jim podobných půdotvorných substrátech. Typický pro černozemě je hluboko humózní černický horizont s hloubkou od 40–60 cm s obsahem kvalitního humusu. Stratigrafie pro tyto půdy je Ac – A/Ck – K – Ck, u luvických Ac – Bth – BCk – Ck. Na obrázku číslo 4 m7 můžeme vidět profil typické černozemě modální na spraši. Tyto půdy patří k neúrodnějším půdám v České republice, a právě proto jsou v hojném množství využívány pro zemědělství (Šarapatka, 2014).

Srážkový úhrn v černozemních oblastech se pohybuje od 450–650 mm s průměrnou roční teplotou nad 8 °C. Nadmořská výška většinou nepřesahuje 300 m.n.m. (Tomášek, 1995). Černozemě tvoří okolo 10 % celkového půdního pokryvu v České republice, z velké většiny jsou využívány, jak již bylo zmíněno, pro zemědělství. V České republice máme několik oblastí s černozeměmi (obrázek 2), jedná se o Dolní Povltaví, Dolnomoravský úval, Znojemsko, Břeclavsko, Poohří a Povltaví (Pěnížek, 2019).



Obrázek 2: Výskyt černozemí na území České republiky (Zdroj: PUGIS)

Obsah humusu na černozemích je střední až vysoký. Kvalita humusu je vysoká, kdy převažují kyseliny humínové nad fulvokyselinami. Půdní reakce je pak neutrální až slabě zásaditá. Sorpční komplex je nasycený bázemi (Šarapatka, 2014). Na obrázku 3 je zobrazený profil černozemě modální.



Obrázek 3: Černozeň modální na spraši. Horizont černický o hloubce 60 cm.

Zrnitost černozeň je obvykle v profilu homogenní, hlinitá s vysokým množstvím prachu, pokud jsou černozeň na spraši. Mohou se vyskytovat i na substrátech těžších, vzhledem k této skutečnosti se zrnitostní složení mění a jejich půdotvorný substrát je tvořen směsí spraše a slínu. Naopak může být i na lehkých substrátech s vysokým podílem navátých písků (Lhotský, 2000). V černozeň se vyskytují dvojmocné kationty vápníku (Ca^{2+}), je zde vysoká biologická aktivita, navíc obsahují vysoké množství kvalitních humusových látek. Všechny tyto zmíněné konsekvence vedou k tomu, že černozeň mají velmi dobře vytvořenou půdní strukturu, nejčastěji hrudkovitou. Hrudkovitá struktura společně s dobrou zrnitostí vytváří skvělé podmínky pro zadržování vody v půdním profilu, rozvoj mikroorganismů, růst kořenů a retenční kapacita dosahuje hodnot až 359 l.m^{-3} . Obsah stabilních agregátů u černozeň, které jsou větší, než $0,25 \text{ mm}$ se z pravidla pohybuje od 40 % do 60 % (Lhotský, 2000).

3.4.2 Charakteristika Černic

Černice s černickým horizontem Acn jsou hluboko-humózní semihydromorfní půdy. Vyskytují se převážně na sorpčně nasycených substrátech, kde v hloubce 1-2 m je hladina podzemní vody. Dále se pak nacházejí na nezpevněných karbonátových substrátech. Černice má vyšší obsah humusu nežli černozeň, dostává se do hloubky 30-80 cm. Černice má dobrou strukturu s nasyceným sorpčním komplexem a je neutrální až alkalická. Je to jedna z našich nejúrodnějších půd, která se nachází na těžších substrátech v polohách černozeň, které jsou v terénních depresích. Má velký obsah živin, vody a humusu díky tomu vegetace bujně roste (Šarapatka, 2014).

3.4.3 Charakteristika Glejů

Glej se nachází převážně v hloubce 60 cm. Přejechy mezi horizonty mohou být přímé, popřípadě vedeny jako redukčně oxidační Gro zóna. Horizont Gro může obsahovat oxidované novotvary, které pak v půdě vidíme jako rezavé rourky kolem chodbiček kořenů rostlin. Glej se hlavně vyskytuje v nivních oblastech a v terénních depresích, kde se vyskytují ve svazích, zatím co v nivách se akumulují na aluviálních sedimentech. U glejů probíhá půdotvorný proces vlivem podzemní stagnující vody, ve které se rozpouštějí minerální látky. Během roku však dochází ke zvyšování a snižování hladiny podzemní vody následně v zóně kapilárního vztlínání a kolísání začínají látky migrovat a půdní partie se následně dělí na ochuzené a obohacené o železo (Fe) a mangan (Mg) (Šarapatka, 2014).

Po dobu, kdy je výše hladina podzemní vody, dochází ke snížené mineralizaci organických látek, během této doby dochází velmi často k rašelinění. U glejů jsou ve větším poměru obsaženy fulvokyseliny nežli humínové kyseliny. Půdní reakce u glejů je převážně kyselá až silně kyselá. Redoxní potenciál u horizontu Gr je stanoven pod 300 mV (Šarapatka, 2014). Pro zemědělství a celkové agronomické využití, jsou půdy glejové nevyužitelné. Zatímco u lesních společenstev, se glejové půdy nacházejí napříč 1 až 8 stupněm vegetačním stupněm. Nejtypičtějším společenstvem, které na půdách glejových roste jsou pak podmáčené smrčiny a olšiny. Gleje patří do podmáčeného souboru lesních typů, kategorie G – středně bohatá, podmáčená (glejová). T – podmáčená a chudá. Stratigrafie glejů T- Gro -Gr a Ot – At (Šarapatka, 2014).

3.5 Sukcese

Před rokem 2009 se na ploše Ctěnického potoka, nacházela zemědělská půda. Od té doby je ploch nechána ladem a utváří se na ní přirozené sukcesní společenstvo. V diplomové práci se zabírám změnami v chemických vlastnostech po transformaci orné půdy na sukcesní společenstvo, proto se další kapitola bude věnovat definici sukcesea rozdělení typů sukcese.

Dle Hustona, (1987) je sukcese brána jako změna dominantních druhů ve společenstvech, kdy jeden dominantní druh, který dominoval prostředí, se znovu po uplynulé době už nemůže stát dominantní. Jedinou možností, kdy by se mohl vrátit na místo dominance je, kdyby se sukcese vrátila do raného stádia sukcese. Celé skupiny společenstev, které v daném prostředí jsou, se označují jako sukcesí řada. Vrchol sukcese je při vrcholu ustáleného ekosystému neboli klimaxu, při kterém se na jednotku dosavadního toku energie uchovává nejvíc symbiotických vztahů mezi organismy (Odum, 1977).

Sukcesi se dělí na primární a sekundární. Primární sukcese probíhá na zbrusu novém substrátu, který zatím neobsahuje žádnou organickou hmotu po předešlé vegetaci ale ani semena rostlinných společenstev. Tohoto stavu je docíleno při silné disturbanci, při které dochází k odstranění vegetace, organické hmoty buď veškeré, nebo jenom částečně odstraněné a samozřejmě také organismů, které zde žili. Mezi silné disturbance patří sesuvy půdy, těžba, vulkanická erupce, glaciální zalednění, záplavy (Chapien et al., 2011) Sekundární sukcese, je vázána na místa, kde už předtím byl nějaký typ vegetace. Disturbance, které na těchto plochách proběhly, nejsou tak velké a těžké jako u primární sukcese. I po disturbanci u sekundární

sukcese zůstává organická hmota i semena rostlin. Mezi disturbance sekundární sukcese se řadí zemědělství, požáry, hurikány a těžba dřeva (Chapin et.al., 2011).

Sukcesi je možné rozdělit na alogenní a autogenní. U alogenní sukcese se počítá s vlivy vnějšími. Zatím co u sukcese autogenní se vegetace mění na základě vnitřních procesů v ekosystému. Jako příklad lze použít vegetaci, která se mění na základě změny globálního klimatu (Glenn-Lewin, 1992).

3.5.1 Mechanismy sukcese

- Facilitační model

Tento model zahrnuje procesy, které jsou určeny pro nepříznivá stanoviště, kdy podmínky pro růst druhů, vyskytujících se v pozdějším stádiu sukcese bývají zlepšovány druhy (pionýrskými) tedy raně sukcesními. Vzhledem k této skutečnosti si tyto druhy poškozují své místo v lokalitě a mohou zaniknout (Clements, 1916). Hlavním faktorem u facilitačního modelu jsou změny vlastností půdy například humusu, akumulace dusíku (Vitouse nad Farrington, 1997). Model se vyznačuje přímou sekvencí druhů, kdy pionýrské druhy rostlin jsou střídány s druhy prostředních stádií vývoje. K finálnímu stádiu sukcese dochází až v době, kdy prostředí není upravováno druhy rezidentními, díky tomu je znemožněný růst a invaze ostatních druhů. Tato finální sukcese se pak nazývá klimax (Clement, 1916).

- Inhibiční model

V inhibičním modelu již nedochází ke klimaxu, jak bylo uvedeno v předchozím modelu. U tohoto modelu, mají prvotní druhy hlavně negativní vliv na růst ostatních druhů rostlin. Pionýrské druhy obsazují prostory, které nejsou v následující době uvolněny ostatním druhům a dochází k inhibici. Inhibice je následně znemožněna vlivy distribučními, jako například predátory, odstraněním inhibujících druhů mechanicky (Clement, 1916).

- Toleranční model

V modelu tolerančním, je efekt na druh dřívější a navazující zcela neutrální oproti modelům předchozím. Podmínky, které jsou dány prostředím, jsou navazujícími druhy přijímány, popřípadě jsou druhy předchozími odstraněny a vyloučeny z místa. Samotný princip náhodného obsazování (kolonizace) a konkurenční dominance přetrvává. Mezi ranými druhy a druhy pozdními vzniká rozdíl, rané druhy jsou světlomilné a rychle rostoucí s vysokou produkcí semen, zatímco druhy pozdní jsou pomalu rostoucí, rostou ve stínu a jejich tvorba semen je oproti druhům raným pomalejší. V semenáčcích jsou druhy pozdní sukcese tolerantní k zastínění pionýrskými druhy a v pozdější době přerostou pionýrské dřeviny. Tento model je převážně určen pro sukcesi na polním úhoru a sukcesi lesa (Connel and Slatyer, 1997).

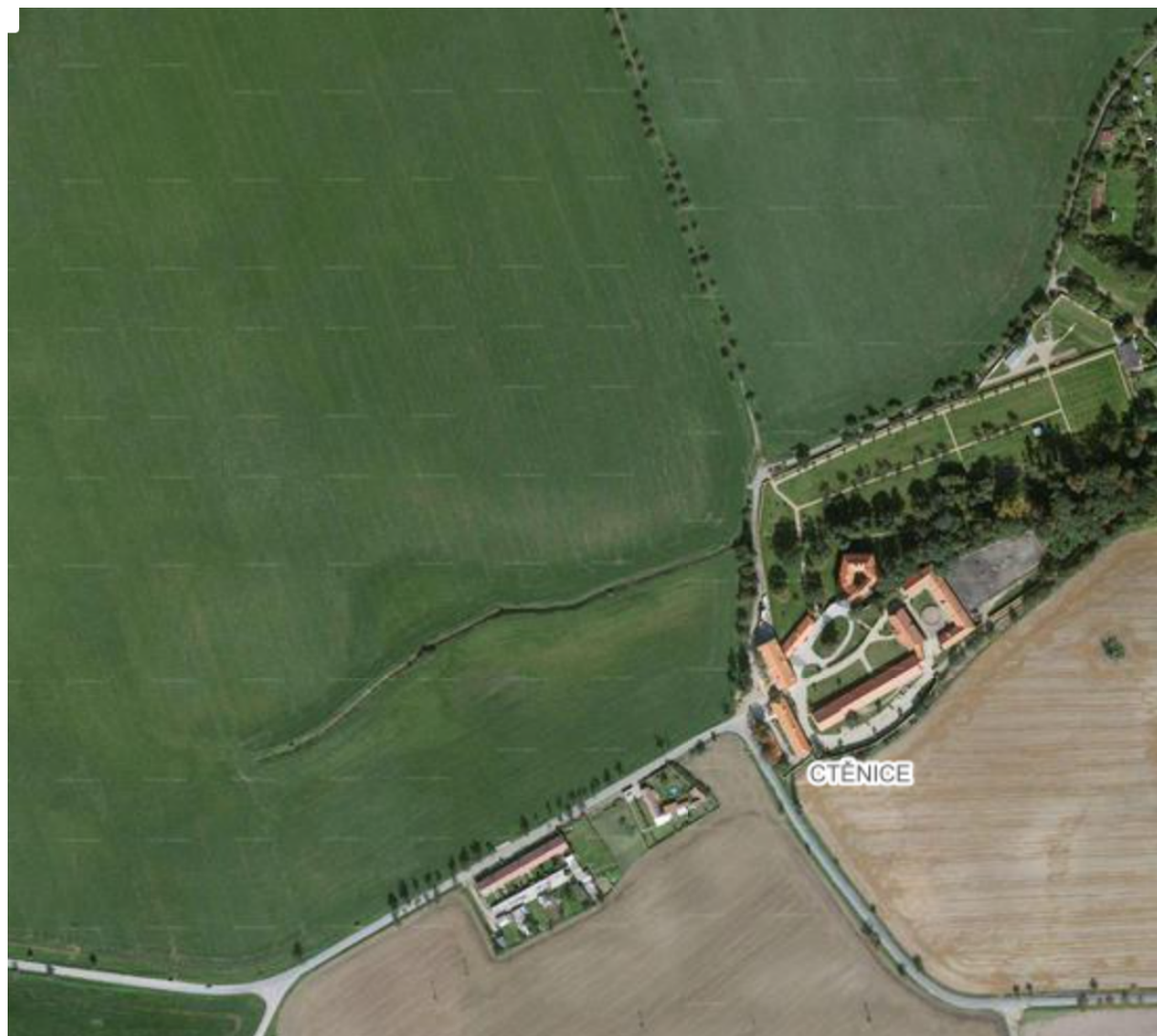
- Ekologická sukcese

Sukcese je ovlivněna změnami v prostředí, které se udály v nastaveném časovém úseku neboli v čase ekologickém při existenci společenstva (Pickett and Cadenasso, 2005). Tyto změny, ovlivňují zelené rostliny, u kterých jsou enviromentální změny nejvíce známé. Ve vývoji ekosystému jsou rostliny tou nejdůležitější složkou, jak už je známo, jsou zdrojem pro lidi, jiné organismy a dále ovlivňují dynamiku dalších organismů. Hlavním parametrem pro řízení sukcese je dostupnost živin, hlavně organického dusíku v půdě, dostupnost energie, dostupné druhy pro sukcesí a světelné záření (Štýs, 1981).

4 Metodika

4.1 Charakteristika stanoviště

V roce 2009 bylo vybráno zájmové území u prameniště Ctěnického potoka, které bylo před rokem 2009 obhospodařováno jako orná půda (obrázek 4). Prameniště Ctěnického potoka se nachází na severovýchodní části hlavního města Prahy, pod katastrálním územím Vinoř. Pro odběr vzorku byla vytvořena vzorkovací síť 50 x 50 m. Všechny body byly lokalizovány dle GPS.



Obrázek 4: Fotografie lokality z roku 2006 před ponecháním sukcesi (Mapy.cz).

Po levé straně zájmového území byly lokalizované kvartérní horniny – spraše, písky a horniny naopak na pravé straně zájmového území byly mezozoické horniny – jíly a pískovce. Hlavním půdním typem na zájmové území Ctěnického potoka je černozem modální na spraši. Černozemní půdy jsou v oblasti doplněny půdami hydromorfními, hlavně v blízkosti potoka (Muhlhanslová, 2009). U potoka je půda z velké části ovlivněna podzemní vodou, hlavně tedy podzemní vodou, kdy černozem modální přechází na černozem černickou. U černozemě černické, byly objeveny znaky redoximorfni (oglejení) v hloubce 0,6 m (Muhlhanslová, 2009). V těsné blízkosti potoka už se znaky hydromorfismu projevovaly výrazně. Půdní typ se měnil

z černozemě glejové na glejv místech, kde z důvodu převlhčení půdního profilu vznikaly redukční podmínky (Muhlhanslová, 2009). Dle Českého hydrometeorologického ústavu, zájmové území spadá pod oblast s průměrnou roční teplotou 10 °C a úhrnem srážek za rok 600 až 700 mm. Zájmové území, které bylo před rokem 2009 využíváno jako zemědělské se po roce 2009 ponecháno přirozené sukcesi a v návaznosti zde vzniklo přirozené sukcesní společenstvo travin a roztroušených keřů. Jedna část území byla ponechána pastvině pro koně, zatím co na další vznikl mokřad s cíleně vyhloubenými tůněmi. Ve výše položené části pozemku byly vysazeny duby.

4.2 Odběr vzorků

Odběr vzorků pro diplomovou se prováděl ve stejném schématu vzorkování jako v roce 2009, zhruba v pravidelné vzorkovací síti 50 x 50 m (obrázek 5). V roce 2021 se vzorky odebíraly na stejných bodech, plus k nim byly přidány 2 řady, které zasahovaly až do území stále využívaného jako orná půda. V každém bodu byl odebrán vzorek pomocí sondovací tyče, byla odebrána část půdního profilu zhruba do hloubky 90 cm. Dle sledu jednotlivých horizontů byly orientačně určeny půdotvorné substráty a popsány půdní typy (Němeček et al., 2011). V každém bodě byly následně odebrány porušené půdní vzorky z povrchu půdy, a to v hloubce (0–20 cm). Vzorky půdy byly následně vysušeny, dále přesáty na jemnozern (0-2 mm) a následně použity pro stanovení všech chemických parametrů.



Obrázek 5: Vzorkovací síť v prameništi Ctěnického potoka (ortofoto 2019).

4.3 Metodika laboratorních pokusů

4.3.1 Stanovení pH

Stanovení aktivního tak výměnného pH bylo provedeno dle Zbírala (2004) Aktivní půdní reakce ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) se stanovila v suspenzi půda-voda v poměru 1:2. Výměnná půdní reakce (pH_{KCl}) se stanovila v suspenzi v poměru 2:5 zemina- 1 M KCl. Obě půdní reakce jak aktivní, tak výměnná byly měřeny potenciometricky pomocí pH-metru (inoLab s elektrodou SenTix 41). Vyhodnocení se provádělo pomocí kritérií uvedených v tabulce 3.

Tabulka 3: Hodnocení výsledku aktivního a výměnného pH (Valla et al., 2002).

aktivní pH	hodnocení	výměnné pH	hodnocení
< 4,9	silně kyselá	< 4,5	silně kyselá
4,9 - 5,9	kyselá	4,5 - 5,5	kyselá
5,9 - 6,9	slabě kyselá	5,5 - 6,5	slabě kyselá
6,9 - 7,1	neutrální	6,5 - 7,2	neutrální
7,1 - 8,0	slabě alkalická	>7,2	alkalická
8,0 - 9,4	alkalická		
> 9,4	silně alkalická		

4.3.2 Množství humus

K určení množství oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) se použila metoda Tjurinova (Sparks 1996). Hlavním principem metody je oxidace uhlíku, který je obsažen v půdních organických látkách. Uhlík obsažen v organické hmotě byl zoxidován kyslíkem dvojchromanu draselného v kyselino-sírovém prostředí. Množství dvojchromanu draselného, které bylo spotřebováno, bylo vypočteno z výsledku titrace nezreagovaného dvojchromanu Mohrovou solí (Valla et al., 2002). Pomocí dalších výpočtů byla zjištěna koncentrace C_{ox} (%).

Pomocí Welteho přepočtu, lze hodnotu C_{ox} převést na obsah humusu v procentech dle vztahu: % humusu = $C_{\text{ox}} \times 1,724$. Obsah C_{ox} byl vyhodnocen dle tabulky 4.

Tabulka 4: Hodnocení výsledku C_{ox} (Valla et al., 2002).

C_{ox} (%)	Humus (%)	Označení obsahu
< 0,6	<1	velmi nízký
0, - 1,1	1,0 - 2,0	nízký
1,1 - 1,7	2,0 - 3,0	střední
1,7 - 2,9	3,0 - 5,0	vysoký
> 2,9	> 5,0	velmi vysoký

4.3.3 Kvalita humusu

Kvalita humusu ($Q_{4/6}$) se zjistila pomocí UV VIS spektrofotometru. $Q_{4/6}$ je poměr absorbancí půdního výluhu 0,5 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ při vlnových délkách 400 a 600 nm (Sparks, 1996).

$$\text{Výpočet: } Q_{4/6} = \frac{A_{400}}{A_{600}}$$

Kde: A_{400} = absorpce při λ 400 nm

A_{600} = absorpce při λ 600 nm

Závislost mezi barevným kvocientem $Q_{4/6}$ a poměrem HK:FK

$$\text{HK:FK} = 17,2 \times Q_{4/6}^{-2,19}$$

Když je hodnota $Q_{4/6}$ menší než 3,6 převažují HK nad FK, když jsou hodnoty vyšší, převažují FK nad HK. Pokud je hodnota $Q_{4/6}$ rovna 3,6 jsou množství HK a FK stejné, tedy v poměru 1:1.

4.3.4 Stabilita půdních agregátů.

Pro potřeby určení stability půdních agregátů byl dodatečně proveden odběr vzorků, a to pouze v části pozemku neovlivněné pastvou a mimo mokřad, kde přemokření odběr neumožňovalo. Z těchto vzorků byly po jejich vysušení pomocí sít vyseparovány půdní agregáty o velikosti 2-5 mm.

Hodnota stability půdních agregátů byla stanovena pomocí upravené metody Nimma a Perkinse (2002). Pomocí metody mokrého prosévání (WSA), při které se sleduje rozpad půdních agregátů v průběhu s rychlým nasycením vzorků, při kterém se stanoví index, který vyjadřuje odolnost půdních agregátů při rychlém zvlhčení. Díky tomu se simuluje účinek přívalového deště na rozpad půdních agregátů (Vlček a kol., 2016). Hlavním principem této metody je, prvotní prosévání půdy ve vodě, při čemž se simuluje vliv rychlého zvlhčení půdy. Následující krok se opakuje avšak, vzorek se namáčí v hexametrafosforečnanu sodném, při kterém dochází k celkovému rozpadu agregátů, při kterém je zjištěna celková hmotnost agregátů vůči pískové frakci (Vlček a kol., 2016). Metoda se tedy rozděluje do dvou kroků (Vlček a kol., 2016).

- Prosévání v destilované vodě
 - Navážka: 4 g půdy jsou naváženy na síto s průměrem ok 0.25 mm.
 - Půda se prosévá na sítu po dobu 3 minut.
 - Materiál, který během prosívání propadl do nádoby, se po 3 minutách umístí v misce do sušárny
 - Vzorek se suší při 105 C.
 - Zvážení vzorku se zjištěním hodnoty WDW (g)

- Prosévání v hexametafosforečnanu sodném
 - Materiál, který nepropadl během 3 minut, se následně znovu prosívá přes síto s hexafosforečnanem sodným, takovou dobu, dokud se půdní agregáty nerozpadnou a nepropadnou sítem.
 - Vzorek je následně po rozpadu umístěn do sušárny, opět s teplotou 105 C.
 - Usušený vzorek se opět zváží a získá se hodnota WDS (g)

Z obou výsledků se následně vypočítává hodnota WSA

$$WSA = WDS / (WDS + WDW)$$

Kde:

WSA = index stability agregátů (vysoký index značí větší stabilitu)

WDW = hmotnost půdních agregátů, rozložených ve vodě

WDS = hmotnost půdních agregátů, rozložených v hexametafosforečnanu sodném

5 Zpracování výsledků

Výsledky byly zpracovány v programu Statistika 12 a Excel 2020. Pro všechny veličiny byly vypočítané průměrné hodnoty, směrodatné odchylky a variační koeficient (poměr průměru a směrodatné odchylky k porovnání variability studovaných a odlišných souborů dat). Pro testování rozdílů mezi jednotlivými variantami porostů byla použita jednocestná analýza rozptylu.

Mapy jednotlivých vlastností byly vytvořeny za pomoci programu ArcGIS 10.7.1. Po vložení dat do programu se vytvořila síť bodů. Do atributové tabulky se zapsali hodnoty chemických vlastností. Následně se použila geostatistika s funkcí Kriging/Cokriging pro vytvoření mapových výstupů.

5.1 Výsledky

Tabulka 5 zobrazuje základní statistické parametry (směrodatná odchylka, variační koeficient, průměr a počet bodů) souborů dat z odběrů v letech 2021-2022 dle současného rozložení porostu do pěti skupin (pole, pastvina, mokřad, trávník, duby).

Tabulka 5: Vyhodnocení vybraných statistických parametrů.

Pole		pH_{H2O}	pH_{KCl}	Cox	Q_{4/6}	WSA
	Průměr	7,35	6,90	2,40	3,73	0,85
Sm.odchylka	0,227	0,310	0,276	0,461	0,075	
Var.koeficient	3,08	4,49	11,50	12,38	8,85	
n	18	18	18	18	16	
Pastvina		pH_{H2O}	pH_{KCl}	Cox	Q_{4/6}	
	Průměr	8,10	7,40	1,63	2,89	
	Sm.odchylka	0,157	0,077	0,881	0,696	
	Var.koeficient	1,93	1,04	54,05	24,07	
	n	13	13	13	13	
Mokřad		pH_{H2O}	pH_{KCl}	Cox	Q_{4/6}	
	Průměr	7,82	7,43	2,88	3,04	
	Sm.odchylka	0,255	0,167	1,587	0,707	
	Var.koeficient	3,27	2,25	55,10	23,29	
	n	9	9	9	9	
Trávník		pH_{H2O}	pH_{KCl}	Cox	Q_{4/6}	WSA
	Průměr	7,90	7,36	2,02	3,35	0,85
	Sm.odchylka	0,230	0,225	0,844	0,441	0,077
	Var.koeficient	2,92	3,05	41,81	13,18	9,02
	n	23	23	23	23	13
Duby		pH_{H2O}	pH_{KCl}	Cox	Q_{4/6}	WSA
	Průměr	7,70	7,04	2,33	3,33	0,93
	Sm.odchylka	0,258	0,299	0,338	0,366	0,071
	Var.koeficient	3,34	4,25	14,53	10,98	0,07
	n	12	12	12	12	12

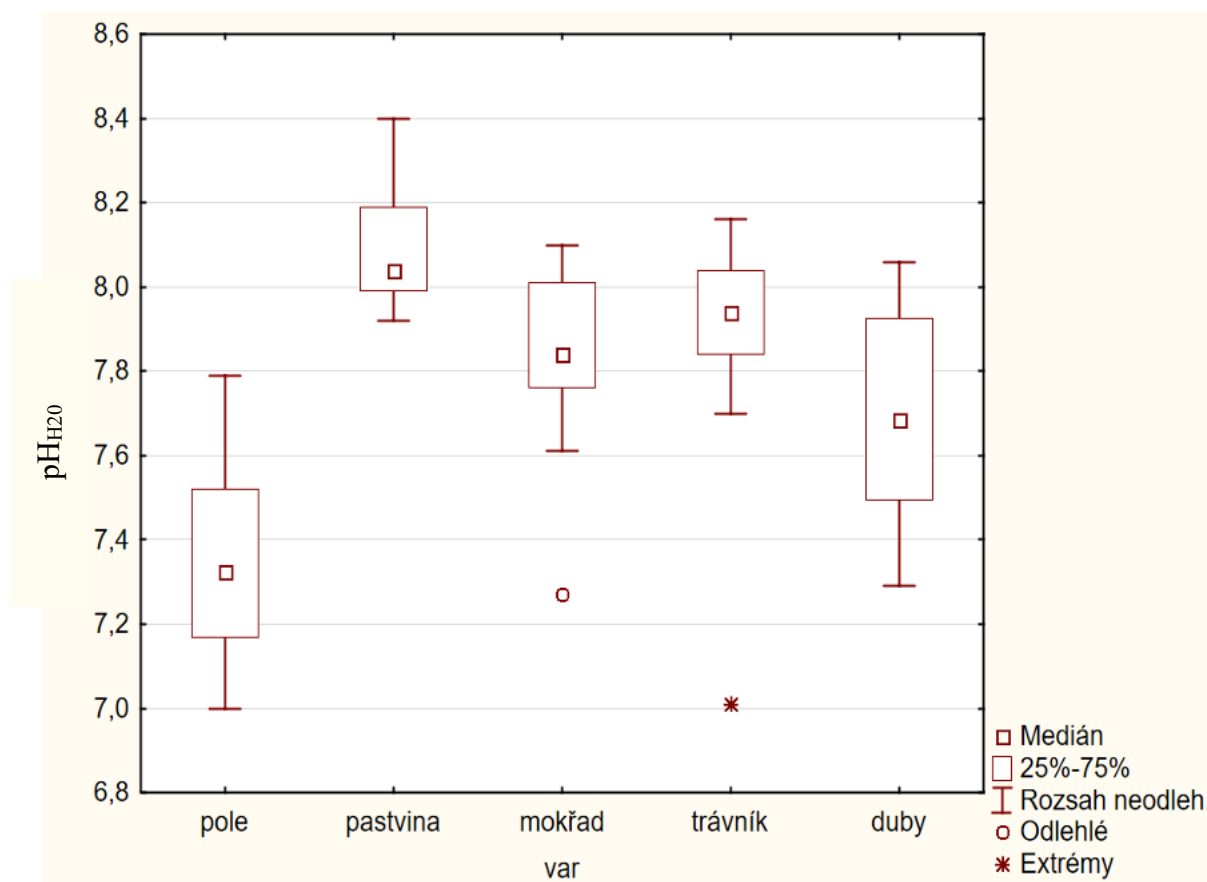
5.1.1 Zhodnocení rozložení půdních vlastností v rámci studované lokality

- Aktivní půdní reakce

Tabulka 6 ukazuje výsledky jednocestné analýzy rozptylu (ANOVA) a popisuje průkazné rozdíly mezi pěti variantami porostu v roce 2021. Mapové výstupy a zobrazují prostorovou distribuci hodnot studovaných veličin. Na obrázku 6 je zobrazena mapa rozložení hodnot aktivní půdní reakce.

Tabulka 6: Hodnocení rozdílů mezi variantami porostu. (odlišná písmenka označují průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (Fisher LSD))

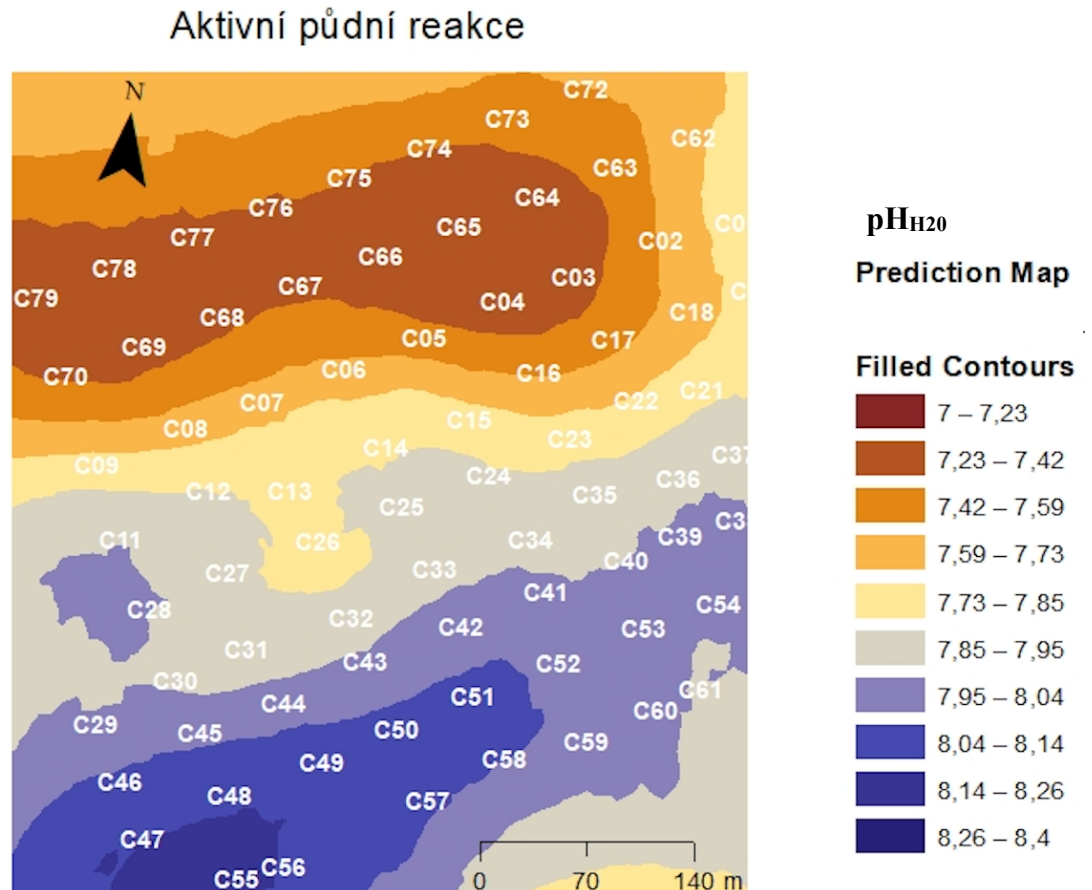
pH _{H2O}		
pole	7,35	d
pastvina	8,10	a
mokřad	7,82	bc
trávník	7,90	b
duby	7,70	c



Obrázek 6: Grafické znázornění rozdílů v hodnotách pH_{H2O}.

Z tabulky 6 a obrázku 6 je vidět, že existují významné průkazné rozdíly mezi variantou pastvina, která má nejvyšší hodnoty $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$. Varianty mokřad, trávník a duby se navíc průkazně liší od varianty pole.

Na obrázku 7 lze vidět všechny sondy, které byly v lokalitě odebrány. Nejnižší hodnoty $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ byly pozorovány u sond s číslem (79, 78, 77, 70, 69, 68, 67, 66, 65, 64) všechny tyto sondy spadají do varianty pole zatím co sondy 04, 03 spadají do varianty duby. Nejvyšší hodnota byla naměřena u sond 55, 56 tyto sondy patří do varianty pastvina.



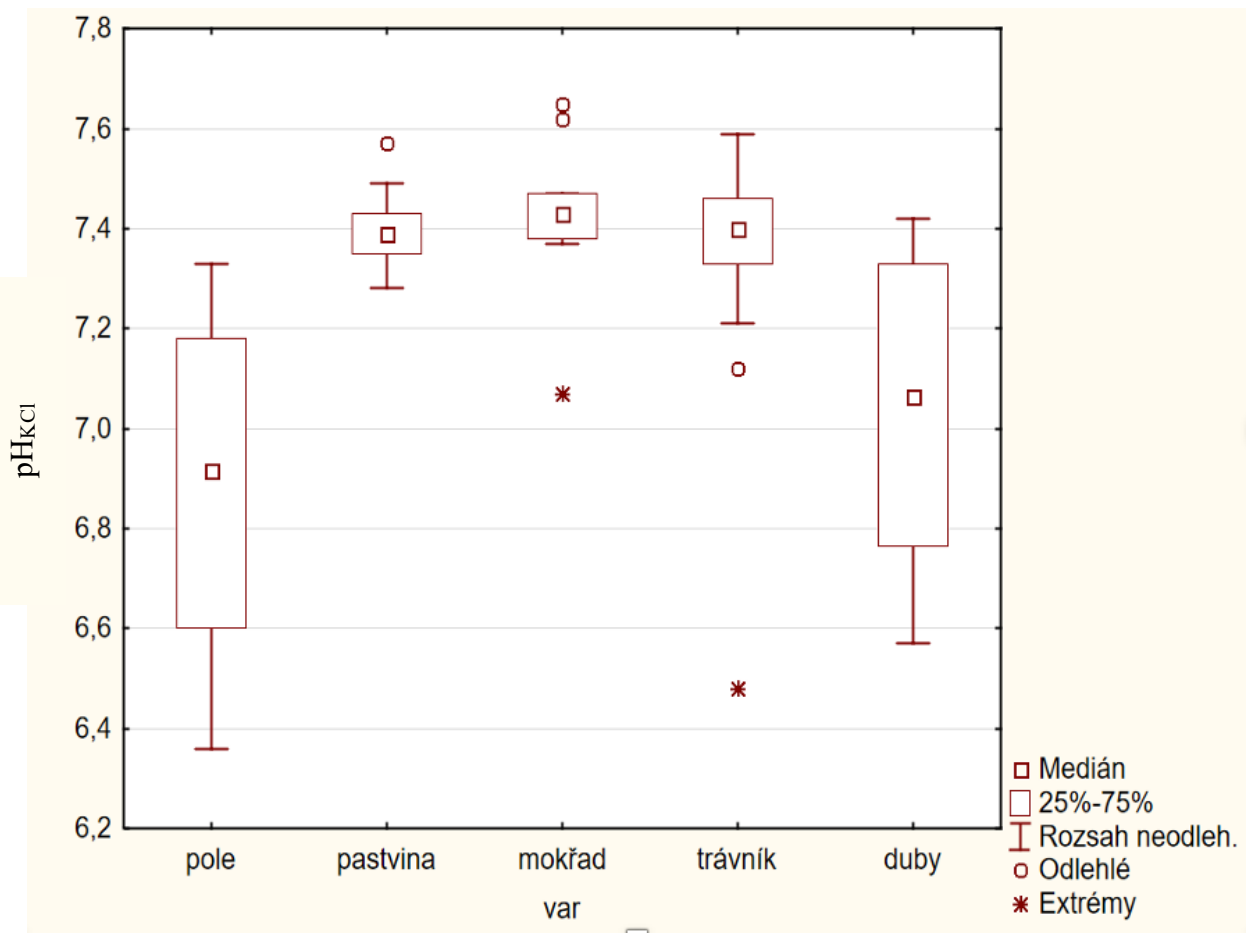
Obrázek 7: Vystup z programu ArcGis.

- Výměnná půdní reakce

Tabulka 7 popisuje průkazné rozdíly hodnot pH_{KCl} mezi pěti variantami porostu v roce 2021.

Tabulka 7: Hodnocení rozdílů mezi variantami porostu. (odlišná písmenka označují průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (Fisher LSD)

pH _{KCl}		
pole	6,90	b
pastvina	7,40	a
mokřad	7,43	a
trávník	7,36	a
duby	7,04	b

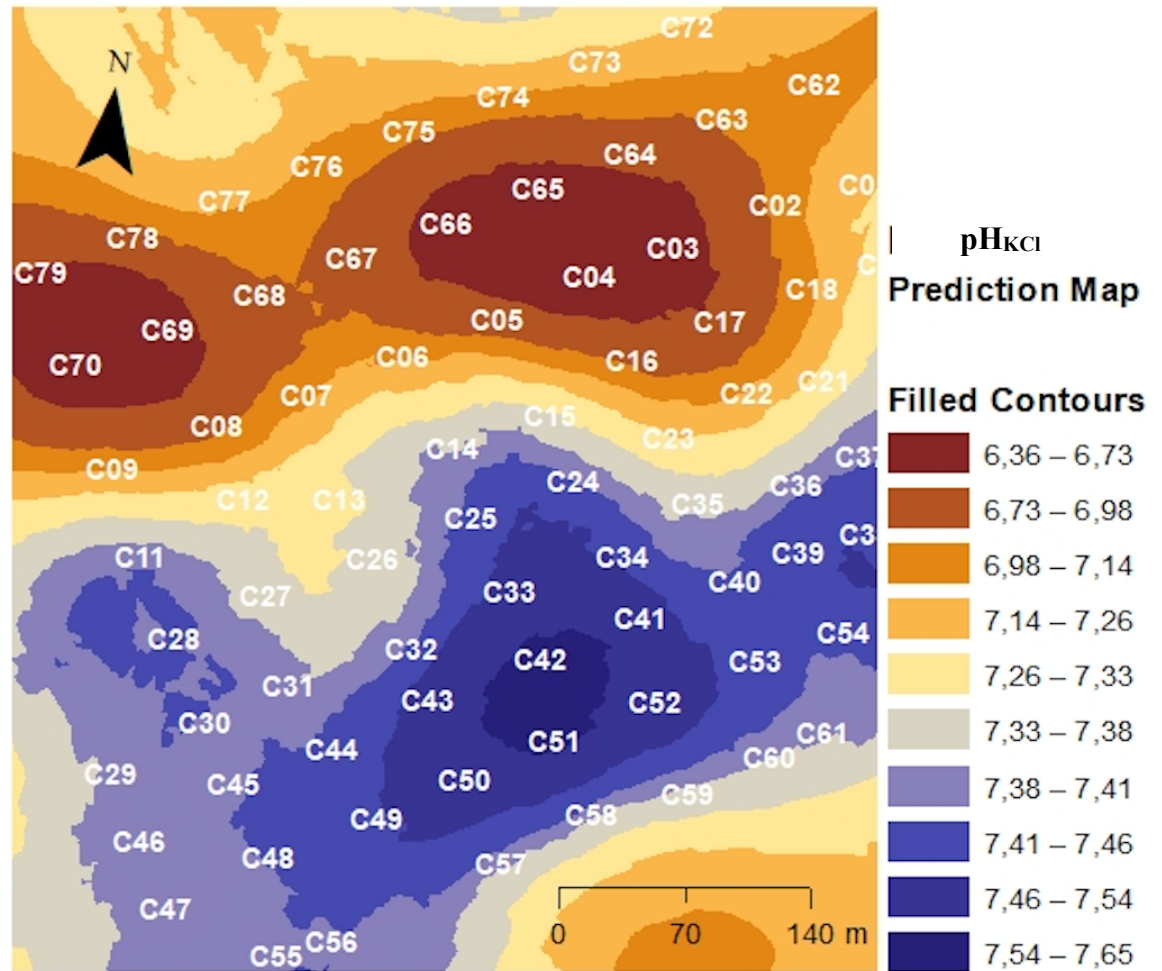


Obrázek 8: Grafické znázornění rozdílů v hodnotách pH_{KCl} .

Z tabulky 7 a obrázku 8 je vidět průkazný rozdíl mezi variantami pole, mokřad, trávník vůči variantám pole a duby. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána u varianty mokřad, zatímco nejnižší u varianty pole.

Na obrázku 9 jsou vyhodnocená data výměnné půdní reakce pH_{KCl} , kde nejnižší hodnoty byly zaznamenány u sond 79, 70, 69, 66, 65, tyto sondy se nacházejí ve variantě pole sondy 04 a 03 opět s nejnižší hodnotou se nacházejí ve variantě duby. Naopak nejvyšší naměřená hodnota byla u sond s číslem 42 a 51. Sonda č. 51 se nachází ve variantě pastvina, hned vedle varianty mokřad a sonda s číslem 41 ve variantě mokřad.

Výměnná půdní reakce

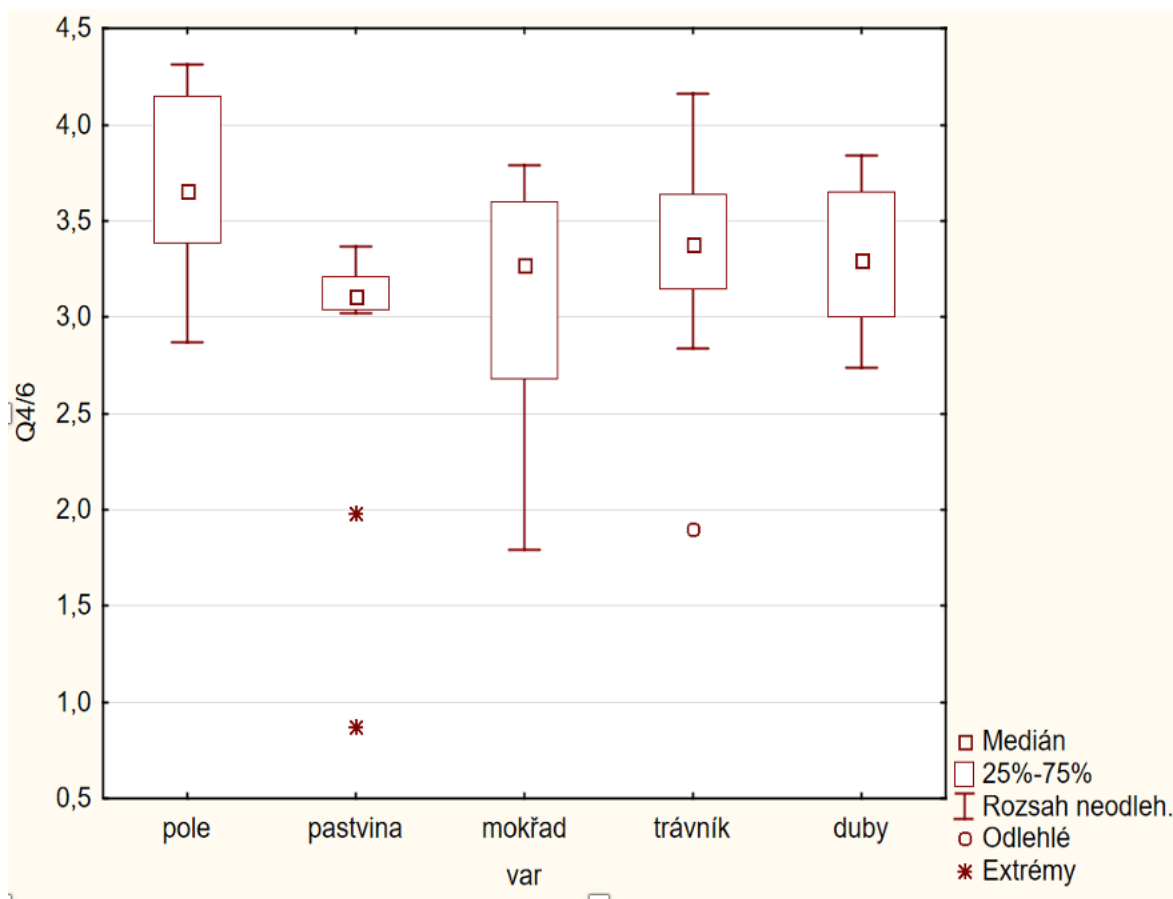


Obrázek 9: Výstup z programu ArcGis.

- Kvalita půdní organické hmoty

Tabulka 8: Hodnocení rozdílů mezi variantami porostu. (odlišná písmenka označují průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (Fisher LSD))

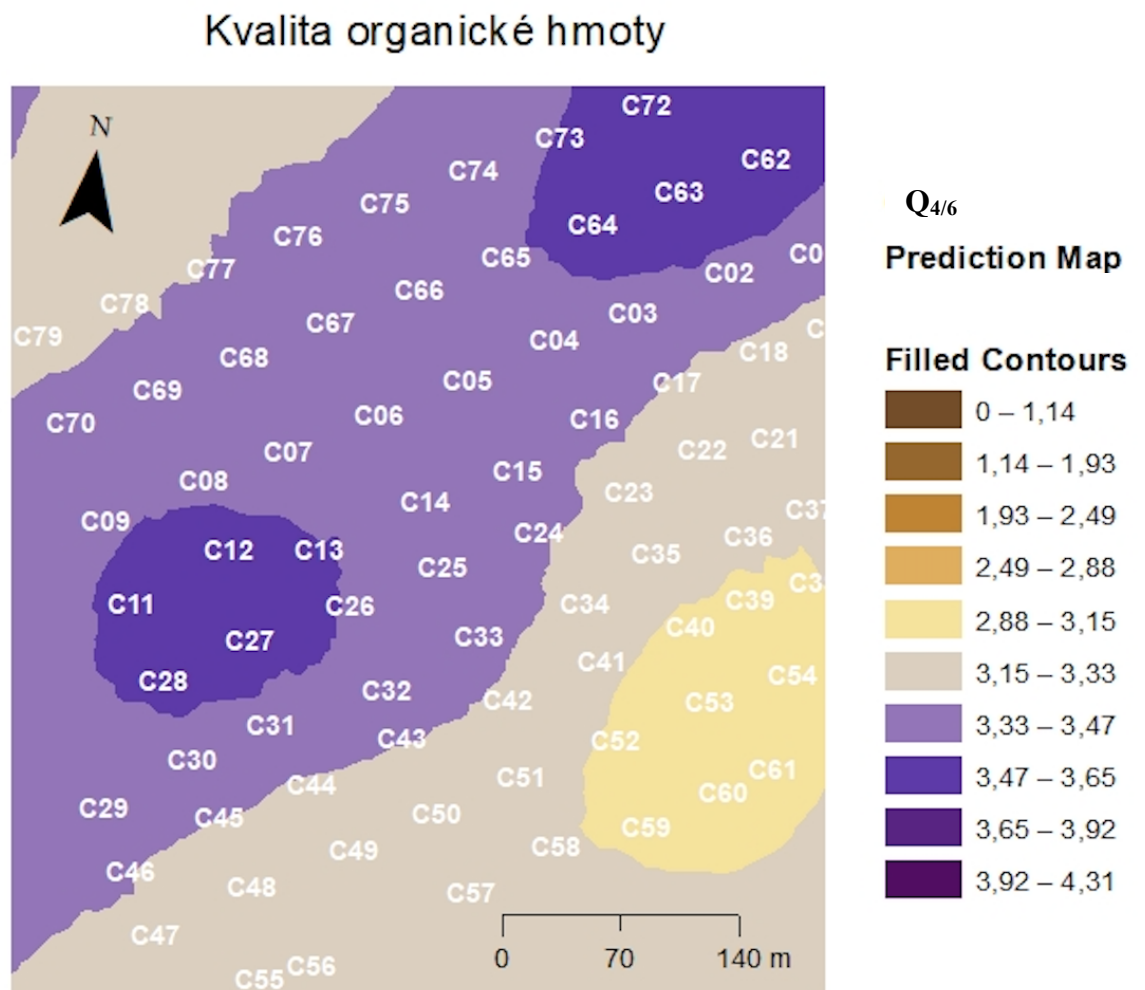
Q _{4/6}		
pole	3,73	a
pastvina	2,89	c
mokřad	3,04	bc
trávník	3,35	b
duby	3,33	ab



Obrázek 10: Grafické znázornění rozdílů v hodnotách Q_{4/6}.

Z tabulky 8 a obrázku 10 je patrný průkazný rozdíl u varianty pole, která má zároveň i nejvyšší hodnotu barevného kvocientu Q_{4/6}, což znamená nejnížší kvalitu půdní organické hmoty (nejmenší zastoupení aromatických, kondenzovanějších a stabilnějších součástí SOM). Průkazný rozdíl je zde oproti ostatním variantám kromě porostu dubů. Varianta pastvina je průkazně rozdílná od ostatních variant porostu kromě mokřadu. Mokřad, trávník a duby mají podobnou hodnotu a jsou si velice podobné v kvalitě humusu v půdě.

Na obrázku 11 je vidět konzistence kvality organické hmoty v celém zájmovém území. Nejnižší hodnota byla naměřena u sond 40,39, 52, 53, 54, 59, 60, 61 všechny tyto sondy se nacházejí ve variantě pastvina. Zatím co nejvyšší hodnoty s nejnižší kvalitou organické hmoty byly naměřeny u son 72, 64, 63 a 62 tyto sondy se nacházejí na variantě pole. Jako další nejvyšší hodnoty byly zjištěny u sond 11, 12, 13, 28, 27 kromě sondy 11, která se nachází v prostoru varianty duby jsou sondy 12, 13, 28 a 27 ve variantě trávník.

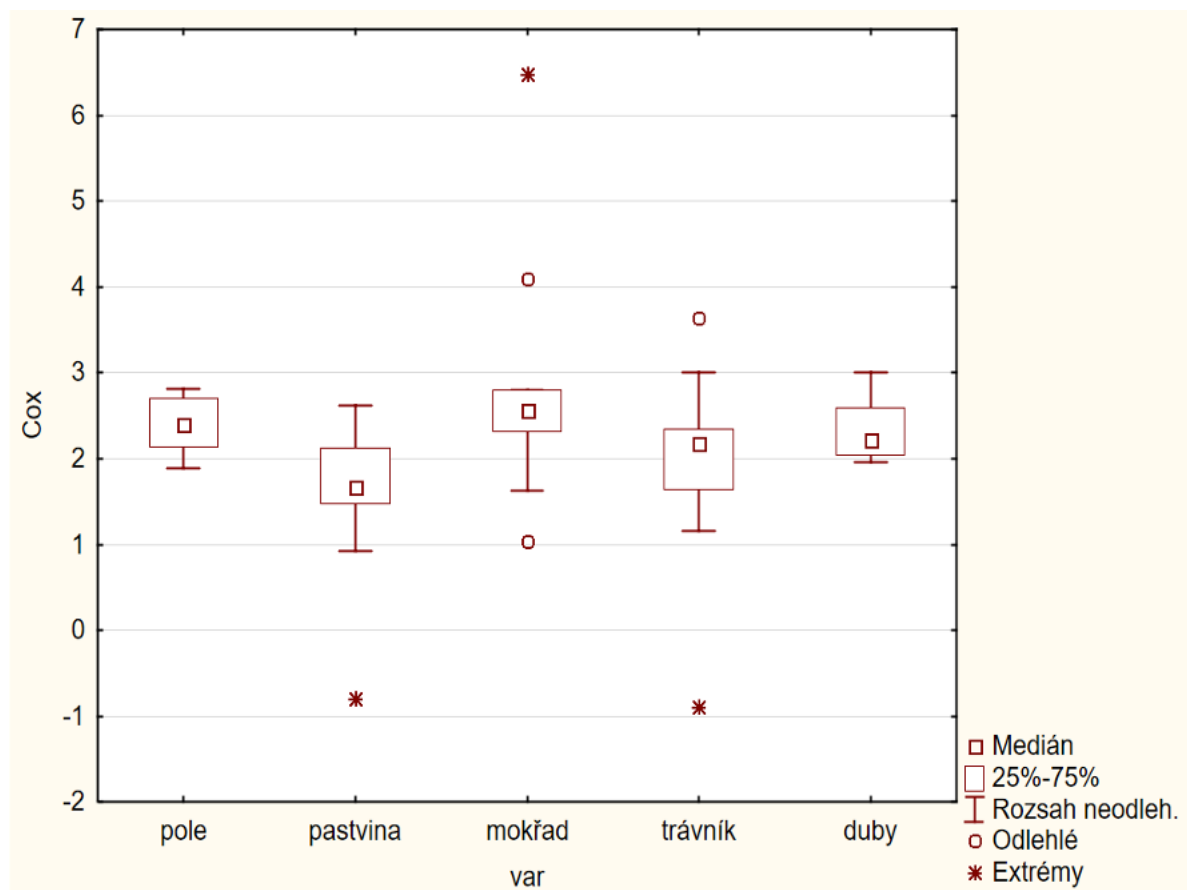


Obrázek 11: Výstup z programu ArcGis.

- Množství půdní organické hmoty

Tabulka 9: Hodnocení rozdílů mezi variantami porostu. (odlišná písmenka označují průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (Fisher LSD))

Cox		
pole	2,40	ab
pastvina	1,63	c
mokřad	2,88	a
trávník	2,02	ac
duby	2,33	ab

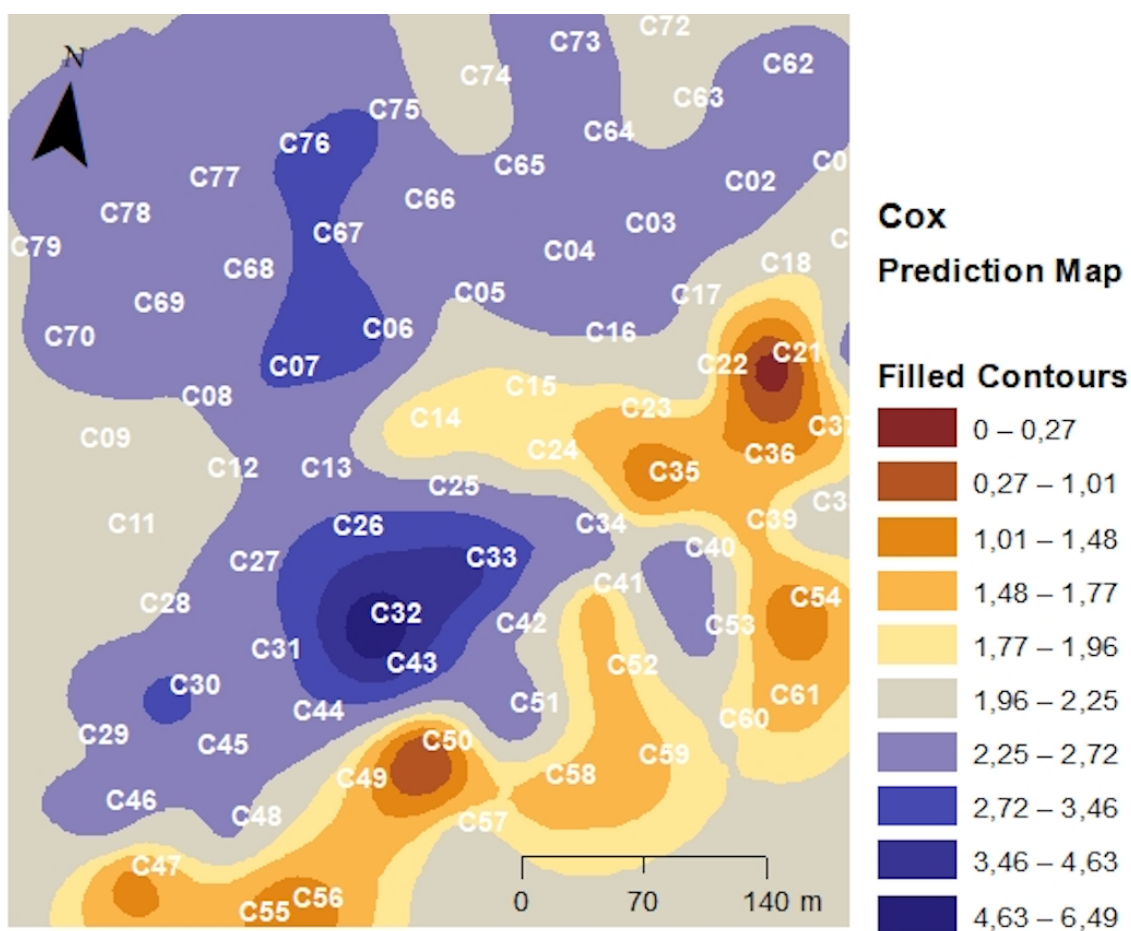


Obrázek 12: Grafické znázornění rozdílů v hodnotách C_{ox} .

Z tabulky 9 a obrázku 12 je patrný průkazný rozdíl mezi variantou pole a pastvina. Pole a mokřad jsou neprůkazné, stejně tak i pole a trávník a pole a duby. Varianta porostu pastvina je průkazně rozdílná od všech ostatních hodnot kromě trávníku, a zároveň její hodnota je i nejnižší.

Z obrázku 13 je patrná variabilita obsahu organické hmoty v půdě na celém zájmovém území. Nejvyšší hodnota C_{ox} byla naměřena u sondy s číslem 32, která se nachází ve variantě mokřad. Zatím co nejnižší hodnota C_{ox} byla naměřena u sondy číslo 21 (trávník) a 50 varianta pastvina.

Obsah organické hmoty

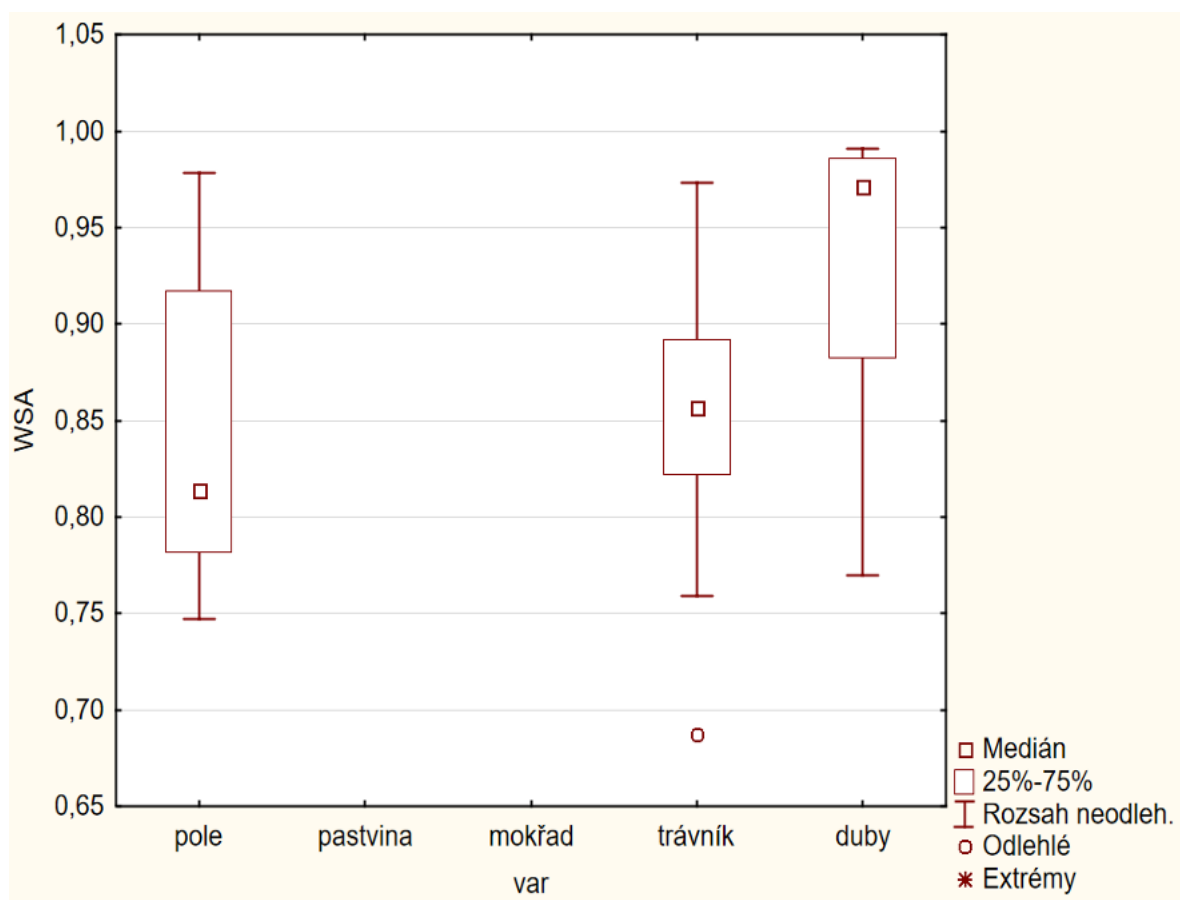


Obrázek 13 Výstup z programu ArcGis.

- Stabilita půdní struktury

Tabulka 10: Hodnocení rozdílů, mezi variantami porostu. (odlišná písmenka označují průkazný rozdíl na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (Fisher LSD)

WSA		
pole	0,85	b
trávník	0,85	b
duby	0,93	a



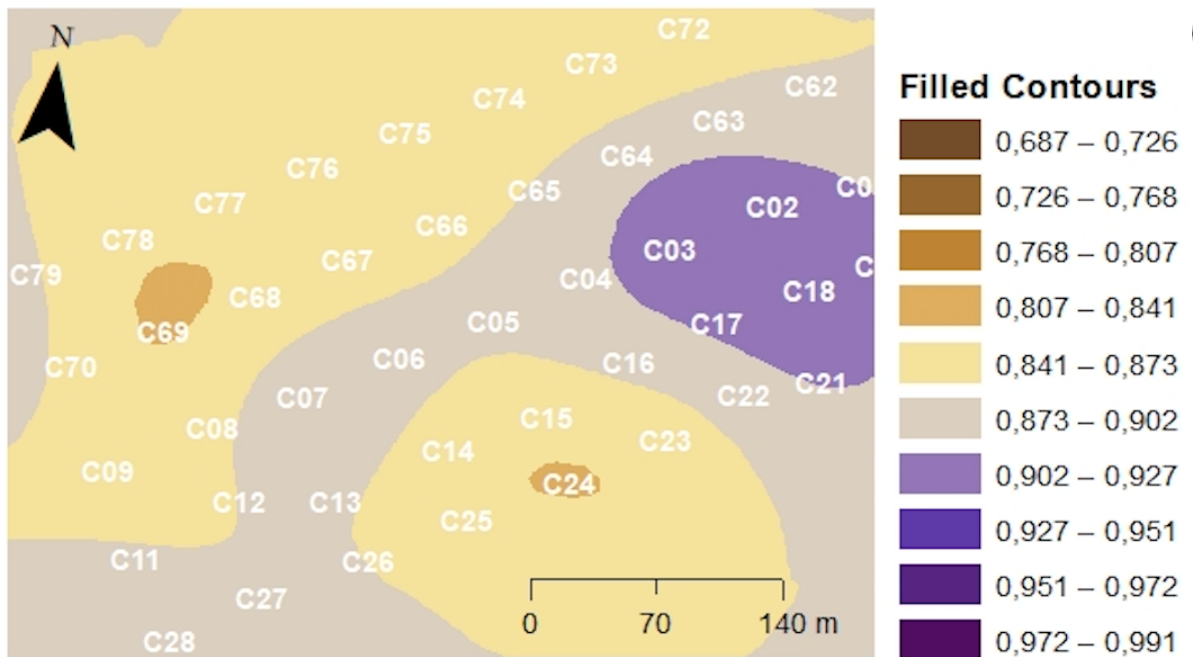
Obrázek 14: Grafické znázornění rozdílů hodnot WSA.

V tabulce 10 a obrázku 14 je patrný průkazný rozdíl u varianty porostu duby oproti poli a trávníku. Varianty pole a trávník se neliší a stabilita půdní struktury, ale je u nich průkazně vyšší než na orné půdě.

Na obrázku 15 je vidět celé zájmové území se všemi variantami a sondami. Nejnižší hodnota byla naměřena u sondy s číslem 69 (varianta pole) a 24 (varianta trávník). Zatím co nejvyšší hodnota stability půdních agregátů byla naměřena u sond s číslem 3, 2, 1, a 17, 18, 19 všechny tyto sondy jsou ve variantě duby.

Stabilita půdních agregátů

WSA Prediction Map



Obrázek 15: Výstup z programu ArcGis.

- Vzájemné vztahy půdních vlastností

Korelační tabulka uvádí vzájemné závislosti jednotlivých studovaných veličin v rámci celého studovaného území zobrazené v tabulce 11.

Tabulka 11: korelační tabulka pro studované veličiny s průkazností jednotlivých závislostí. (Hodnota N vypovídá o počtu měřených hodnot)

	pH_{H2O}	pH_{KCl}	Q_{4/6}	C_{ox}	WSA
pH_{H2O}	1,000	0,900	-0,328	-0,367	0,039
	N=75	N=75	N=73	N=75	N=43
	p= ---	p=0,00	p=0,005	p=0,001	p=0,805
pH_{KCl}	0,900	1,000	-0,289	-0,199	-0,069
	N=75	N=75	N=73	N=75	N=43
	p=0,00	p= ---	p=0,013	p=0,087	p=0,663
Q_{4/6}	-0,328	-0,289	1,000	0,236	-0,217
	N=73	N=73	N=73	N=73	N=41
	p=0,005	p=0,013	p= ---	p=0,044	p=0,172
C_{ox}	-0,367	-0,199	0,236	1,000	0,051
	N=75	N=75	N=73	N=75	N=43
	p=0,001	p=0,087	p=0,044	p= ---	p=0,746
WSA	0,039	-0,069	-0,217	0,051	1,000
	N=43	N=43	N=41	N=43	N=43
	p=0,805	p=0,663	p=0,172	p=0,746	p= ---

Mezi pH_{H2O} a pH_{KCl} je silná statistická závislost. Q_{4/6} nepřímo koreluje s pH_{H2O} a pH_{KCl} a přímo koreluje s C_{ox}. Mezi C_{ox} a pH_{H2O} byla zjištěna slabá negativní statistická závislost. Lze tedy říct, že vyšší obsahy organické hmoty odpovídají místům s její nižší kvalitou a rovněž místům s nižším pH půdy.

6 Diskuze

Na většině studované plochy byl půdní typ černozem modální. Pouze přímo v prameništi Ctěnického potoka se tento půdní typ v důsledku vyšší hladiny podzemní vody mění z černozemě modální na černozem oglejenou, černici a na glej. Orná půda je od roku 2009 ponechána ladem a utváří se na ní sukcesní společenstvo. Řada studií Sojnekové (2015) prokazuje, že v oblastech mírného pásu se sukcese řídí schematicky, podle sekundární sukcese, kdy na počátku sukcesních stádií na lokalitě převládají jednoleté rostliny, dále následují traviny a širokolisté byliny k závěru pak keře a stromy. Diskuze výsledků je rozdělena podle variant porostů, a využití půdy na studované ploše. Je tedy rozdělena na pole, sukcesní trávník (keře), sukcesní mokřad, pastvinu a vysázený porost dubů (stáří 10 let).

6.1 Pole

Podle Snakina et al. (2001) je typická hodnota aktivní půdní reakce neboli pH_{H_2O} pro černozemě 7,2-7,9. Na poli zkoumaném v diplomové práci byla naměřena hodnota 7,35, tedy slabě alkalická hodnota, což odpovídá uvedenému rozmezí. Výměnná půdní reakce neboli pH_{KCl} byla zjištěna neutrální s hodnotou 6,90. Neutrální hodnoty jsou dosaženy díky tmavé ornici, která je bohatá na organickou hmotu, je vysoce nasycena bazickými kationty (Kobza and Pálka, 2020).

Hodnota kvality humusu neboli $Q_{4/6}$ byla u varianty pole naměřena 3,73 což značí že FK mírně převládají nad HK, i přes to je kvalita organické hmoty na poli vyhovující, jak na černozemích bývá. Dle Sparkse (1996) při hodnotách menších nežli 3,6 převládají HK nad FK a při vyšší hodnotě zase FK nad HK. V roce 2013 byl v České republice proveden výzkum na několika černozemích, při zkoumání kvality organické hmoty v půdě zjistili, že na všech polích, byla hodnota HA:FA v rozmezí 2,5-3,5 což značí, že kvalita organické hmoty je velmi vysoká (Horeček, et al., 2017).

Naměřená hodnota koncentrace oxidovatelného uhlíku na lokalitě byla 2,40 % tedy vysoká hodnota. Jak už je známo u černozemí, organická hmota je do půdy dodávána, buďto v rámci kořenových zbytků, nebo je také případně doplňována zemědělcem. Pro udržení je dle Hutchinsona et al. (2007) důležité doplňovat hnojiva organická. Dle Leroye et al. (2008) je důležitá stabilita půdních agregátů. Při nižší stabilitě půdních agregátů dochází k degradaci půdní organické hmoty, která může vést k jejímu nedostatečnému množství v půdě. Dle Šarapatky (2014) během kultivace člověk dlouhodobě ovlivňuje dynamickou stránku půdotvorných procesů. Velkým využíváním hnojení, jak organickým, tak minerálním se mění samotné chemické půdotvorné procesy. Mechanickým obděláváním půd, při kterém dochází ke změně dynamiky vzduchu a vody v půdě, se ovlivňuje rozklad organické hmoty a proplavování půd. Samotná varianta pole má hodnotu C_{ox} a to 2,40 % a naměřená kvalita organické hmoty je 3,73 což značí větší množství FK ku HK, zatímco u ostatních variant převládají HK nad FK.

Naměřená hodnota stability půdních agregátů (WSA) byla 0,85 což značí dobrou stabilitu, avšak dle Jirků et al. (2013) může být stabilita půdních agregátů kvůli zpracování půdy

menší nežli u půd pod přirozenými porosty. V případě mého experimentu byla hodnota WSA varianty pole nižší než u varianty duby, které díky svým kořenům pomáhají zlepšovat stabilitu půdních agregátů (WSA).

Dle Vopravila et. al. (2011) a výzkumů se rozpad půdní struktury považuje za degradaci půdy. Mezi negativní vlivy degradace patří odvodňování půdy, intenzivní kultivace půdy a velké dávky závlahy. Při zhoršování půdní struktury dochází ke všeobecnému zhoršení dalších půdních vlastností. Na půdě se následně může utvořit škraloup a velké utužení půdy s následným negativním vlivem na zemědělství. Pole jako jedna z variant, kde se WSA měřilo prokázalo nižší hodnoty než u varianty duby. Příčinou toho je právě častá kultivace a využívání lokality pro zemědělské potřeby. V průběhu let je velice pravděpodobné, že stabilita půdních agregátů bude jak u varianty duby, tak u varianty trávník vyšší nežli u varianty pole.

6.2 Pastvina

Pastvina je využívána jako výběh pro koně. Koně mohou za určitou dobu ztuhnout půdu a zabránit tak v rámci několika procent infiltrace vody do půdy. Jako příklad lze uvést pastvu skotu, která způsobila pokles v infiltrační schopnosti půdy o 39-66 %. Během doby, kdy půda není využita jako výběh/pastva se půda regenerovala a vracela se do normálu (Fučík, 2015).

U varianty pastvina byla naměřena hodnota aktivní půdní reakce pH_{H_2O} 7,35, tedy slabě alkalická a u výměnné půdní reakce pH_{KCl} 7,40, tedy alkalické. Rozdíl u pH_{H_2O} zde není oproti variantě pole nijak průkazný, hodnoty jsou v rámci desetin stejné, lze jen těžko najít souvislost se změnou využití půdy. Naopak u pH_{KCl} kdy u varianty pole je hodnota 6,90 (neutrální), avšak i zde to není nijak výrazný rozdíl. Dle mého názoru je rozdíl dosaženo kvůli obhospodařování a hnojení pole. Dle Šarapatky (2014) obecně organická hmota dokáže mírně snížit hodnotu pH, naopak její úbytek může pH mírně zvýšit.

Hodnota kvality humusu $Q_{4/6}$ naměřené u varianty pastvina, byla ze všech variant nejnižší a to tedy 2,89. Lze tedy konstatovat, že kvalita organické hmoty je zde velice dobrá.

Hodnota C_{ox} oproti ostatním variantám, byla nejnižší, tedy 1,53 % (střední). Dle mého názoru je to zapříčiněno zvířaty, které na pastvě žijí a konzumují rostliny, které se pak nevrací po odumření do půdy.

6.3 Mokřad

Varianta mokřad se od ostatních variant liší svým typem půdy. Vlivem sukcese a ponechání půdy ladem, a hlavně díky Ctěnickému potoku se v části potoku zvětšily podmáčené plochy a vytvořily se mokřady s dominantním půdním typem glej. Dle Šarapatky (2014) po dobu, kdy je výše hladina podzemní vody, dochází ke snížené mineralizaci organických látek, během této doby dochází velmi často k rašelinění. Proto je možné, že v průběhu dalších desítek či stovek let může dojít k vytvoření rašelinového horizontu.

U aktivní půdní reakce pH_{H_2O} u varianty mokřad byla naměřená hodnota 7,82 tedy slabě alkalické, která je nejvíce odlišná od varianty pastvina. U varianty pole nebyl s ostatními variantami prokázán statisticky výrazný rozdíl. Zatím co u výměnné půdní reakce pH_{KCl} byla

naměřená hodnota 7,43 alkalická, průkazně se lišila od variant pole a duby, zatím co neprůkazný rozdíl byl u variant pastvina a trávník.

Kvalita organické hmoty $Q_{4/6}$ byla u varianty mokřad 3,04 a statisticky se lišila od variant pole, s ostatními variantami nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Spolu s variantou pastvina, mají vyšší podíl HK oproti FK.

Organická hmota v půdě neboli C_{ox} , byla naměřena u varianty mokřad jako nejvyšší s hodnotou 2,88 s vysokým obsahem humusu 3–5 % avšak statisticky průkazný rozdíl byl pouze s variantou pastvina. S ostatními variantami nebyl prokázán statisticky významný rozdíl, což může být způsobeno poměrně značnou variabilitou dat. Vyšší obsahy organické hmoty mohou být zapříčiněny kvůli vyšší hladině podzemní vody. Dle Szombathové (2010) při zkoumání zásoby organického uhlíku v půdě vítězil půdní typ glej. Jejich výzkum byl zaměřen na charakteristiku vlastností půdní organické hmoty v přírodní rezervaci žitavský luh a půd, které byly uměle zaplaveny vodní nádrží žitavského luhu. Byly vykopány 3 sondy na různých půdních typech. První byla vykopána na černici modální, druhá na fluvizemi a třetí na gleji. Díky uměle vytvořeným mokřadům zde docházelo k ukládání organické hmoty do půdy díky sedimentaci organické hmoty z vody.

6.4 Trávník

Varianta trávník, která je osídlena druhy travin a keřů, zaujímá největší plochu zkoumaného území a jako ostatní varianty kromě mokřadu má půdní typ černozem.

Aktivní půdní reakce pH_{H_2O} byla stanovena jako slabě alkalická s hodnotou pH 7,90 a u výměnné půdní reakce pH_{KCl} jako alkalická s hodnotou 7,36. Aktivní půdní reakce se statisticky průkazně liší od variant pole, pastvina a duby. S variantou mokřad, není prokázán statisticky významný rozdíl. Naopak výměnná půdní reakce se statisticky průkazně liší od variant pole a duby a s variantami pastvina a mokřad, statisticky průkazný rozdíl žádný nebyl. Rozdíl je však těžké zjistit z důvodu variability půdního prostředí, je tedy těžké najít vliv změny využití dané lokality.

Kvalita organické hmoty byla naměřena 3,35 což vykazuje vyšší obsah HK nad FK. Varianta trávník se statisticky liší od variant pole a pastvina. Zatím co u variant trávník a duby, prokázán rozdíl nebyl a varianty si jsou podobné. Dle Maharninga at al. (2009) změny v typech a složení rostlin mohou v průběhu času změnit kvalitu a množství organické hmoty v půdě, díky svým kořenovým exsudátům a rhizosféře.

Množství organické hmoty v půdě bylo 2,02 %. Bohužel zde nebyl prokázán žádný statisticky významný rozdíl od jiných variant. Avšak hodnota obsahu humusu byla u této varianty vysoká okolo 3–5 % humusu v půdě. Dle mého názoru se hodně organické hmoty akumuluje v půdě díky již zmíněným kořenům.

U varianty trávník byla určena hodnota stability půdních agregátů, tedy WSA, která byla naměřena 0,85 průkazně statistický rozdíl byl s variantou duby. Dle mého názoru se stabilita agregátů a varianty trávník za několik let může zvýšit, díky kořenům travin a keřů, které mohou dopomoci k větší stabilitě.

6.5 Duby

Dle Alrikssona and Olssona (1995) zalesňování nemění pouze vegetaci nadzemní, ale napomáhá významným změnám jak fyzikálních, tak chemických vlastností půdy.

Aktivní půdní reakce pH_{H_2O} byla u varianty duby stanovena jako slabě alkalická s hodnotou 7,70 byl zde prokázán průkazný statistický rozdíl mezi variantou pole, pastvina, a trávník. Zatím co u výměnné půdní reakce pH_{KCl} jako neutrální s hodnotou 7,04 byl prokázán průkazný rozdíl u všech variant kromě varianty pole, kde žádný statisticky průkazný rozdíl nebyl. Práce Cuesta et al. (2012), kteří zkoumali výsadbu dubů na opuštěných polích prokázala, že po 50 letech se hodnota pH_{KCl} v zásadě neměnila. To je v souladu s daty ze studované lokality, kdy se varianta dubů liší minimálně od varianty pole.

Kvalita organické hmoty byla u varianty duby 3,33 což naznačuje větší množství HK vůči FK. Statisticky průkazný rozdíl byl prokázán vůči variantě pastvina. K dobré kvalitě organické hmoty pak může dopomoci opad listí, které se následně rozkládá a doplňuje živiny do půdy.

Obsah organické hmoty byl u varianty duby naměřen 2,33 % což označuje vysokou hodnotu (čili 3–5 % humusu v půdě). Hodnota je ale nižší nežli u varianty pole. Při porovnání s prací Cuesta. et al. (2012), kteří uvádějí ve své publikaci, že se koncentrace organického uhlíku po zalesnění zvedla o 25 % je zřejmé, že čas hraje důležitou roli v akumulaci organické hmoty. Do této fáze se pravděpodobně povrchové části půdy na studované lokalitě dostanou za několik desítek let.

Stabilita půdních agregátů byla u varianty duby naměřena 0,93 je zde znatelný průkazný rozdíl oproti variantám pole a trávník, kde hodnoty byly nižší. Této skutečnosti je docíleno díky rozsáhlým kořenům, které napomáhají k lepší stabilitě půdních agregátů.

7 Závěr

Hlavním cílem této práce je porovnání vybraných základních chemických vlastností půd a kvalitativních parametrů půdní organické hmoty sukcesního společenstva utvářejícího se na ladem ponechané orné půdě se stále konvenčně zpracovávanou ornou půdou v těsném sousedství sukcesní plochy.

Hypotéza byla potvrzena, půdní vlastnosti se v závislosti na využití půdy mění. Lze očekávat větší variabilitu v průběhu dalších let.

Hypotéza se nedá potvrdit ani vyvrátit, změny byly znát u kvality organické hmoty ale u obsahu nikoli. Dá se tedy předpokládat, že v budoucnu se výrazně změní.

- Aktivní půdní reakce pH_{H_2O} se u pokusu liší nejvíce, kdy varianta pole, která se stále využívá pro hospodaření měla nejnižší hodnotu pH_{H_2O} 7,35 oproti ostatním variantám, které byly před 11 lety také využívány jako orná půda. U ostatních lokalit pastvina, mokřad, trávník, duby byla hodnota pH_{H_2O} vyšší. Podobně, tak bylo zjištěno u výměnné půdní reakce pH_{KCl} kdy varianty pastvina, mokřad a trávník nebyly statisticky významné ale varianty pole (6,90) a duby (7,04) ano. Zatím co u pole a dubů byly hodnoty nižší.
- Kvalita organické hmoty byla největší u varianty pole s hodnotou 3,73, zatím co nejnižší hodnota byla zaznamenaná u varianty pastvina.
- U samotné organické hmoty C_{ox} , nebyl prokázán žádný výrazný rozdíl. Jediná varianta pastvina se lišila od ostatních variant. Ale nejvyšší hodnota byla zaznamenaná u varianty mokřad.
- Mezi pH_{H_2O} a pH_{KCl} je silná statistická závislost. $Q_{4/6}$ nepřímo koreluje s pH_{H_2O} a pH_{KCl} přímo koreluje s C_{ox} . Mezi C_{ox} a pH_{H_2O} byla zjištěna slabá negativní statistická závislost. Lze tedy říct, že vyšší obsahy organické hmoty odpovídají místům s její nižší kvalitou a rovněž místům s nižší pH půdy.

V závěru tedy lze říct, že některé chemické vlastnosti byly změněny ale změny nebyly tak výrazné. Tato skutečnost může být způsobena vlastnostmi půdního typu černozem, která si i při dlouhodobém zemědělském využívání zachovává relativně vysoké obsahy organické hmoty

i stabilní pH a dokáže odolávat i výraznějším změnám. V relativně krátkém období, kdy je plocha ponechaná sukcesi tak nemohlo dojít k velkým rozdílům.

Do budoucna se dá počítat s větším vývojem sukcesního společenstva a návaznými změnami v chemických vlastnostech. V budoucnu lze očekávat změny hlavně u variant duby, trávní společenstva a mokřady.

8 Literatura

Alriksson, A., Olsson, M.T. Soil changes in different age classes of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) on afforested farmland. *Plant Soil* 168, 103–110 (1995). <https://doi.org/10.1007/BF00029319>

Ben-Dor E, Chabrilat S, Demattê J, Taylor G.R, Hill J, Whiting M.L a Sommer S. *Using Imaging Spectroscopy to study soil properties* [online]. 2009, 38-55 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.019>

Bernard-Reversat F., Bottinelli N., Jouquet P., Orange, D., Podwojewski P., Rouland- Lefèvre C., Tran Duc T., Influence of changes in land use and earthworm activities on carbon and nitrogen dynamics in a steep land ecosystem in Northern Vietnam [online]. 2007 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0179-9>

Blum, W.E.H. *Functions of Soil for Society and the Environment* [online]. 2006 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>

Brady, N. C., Weil, R. R. , 2017. *The nature and properties of soils*. 15. Harlow : Pearson Education Limited, [2017]; ©2017. ISBN 978-1-292-16223-2.

Brady, N. C., Weil, R. R. 1999. *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall. New Jersey. p. 881. ISBN: 0-13-852444-0.

C, Kallenbach, Frey S a Grandy A. Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls [online]. 2016 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms13630>

Clements, Frederic E., 1916. *Plant Succession. An Analysis of the Development of Vegetation*. 242. Washington, D. C.: Carnegie Institution of Washington. ISBN 978-1275009479.

Cuesta B. Soil chemical properties in abandoned Mediterranean cropland after succession and oak reforestation. *Acta Oecologica* [online]. 2010, 58-65 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2011.09.004>

E, Magie, Lacopo Bertocci a Lisandro Benedetti-Cechio. Connell and Slatyer's models of succession in the biodiversity era [online]. 2011, 1399-1406 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi:10.2307/23035092

Erriquense, Flora G., Daniel Said-Pullicino a Giovanni Giglotti. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity [online]. 1822-1831 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.018>

Frouz, J. (2022) 'Jak se hromadí organická hmota v půdě', *časopis Úroda* č.3/2022, pp. 20– 24. ISSN: 0139-6013

Huston, Michael; Smith, Thomas (1987): Plant Succession: Life History and Competition. The University of Chicago Press - The American Naturalist, Vol. 130, No. 2, pp. 168-198 . [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Michael-Huston-2/publication/50280958_Plant_Succession_Life_History_and_Competition/links/5cd769bc458515712ea4b761/Plant-Succession-Life-History-and-Competition.pdf

Hutchinson, Jayden Gareth Hutchinson, C.A. Campbell a Reymond Desjardis. Some Perspectives on Carbon Sequestration in Agriculture [online]. 2007, 288-302 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.030>

Chapin, Stuart, Pamela matson a Peter Vitousek, 2011. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [online]. Druhé. Stanford: Department of Biological Sciences [cit. 2023-04-13]. ISBN 978-1-4419-9503-2. Dostupné z: <https://educons.edu.rs/wp-content/uploads/2020/05/2011-Principles-Of-Terrestrial-Ecosystem-Ecology.pdf>

Kobza, Josef a B Pálka. Basic properties of agricultural black soils in Slovakia using the INBS criteria [online]. 2020 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi:10.17951/pjss.2020.53.1.117

Kononova, M.M, 2013. Soil Organic Matter: Its Nature, Its Role in Soil Formation and in Soil Fertility [Print Replica] Kindle Edition. 1. USA: Pergamon. ISBN 9781483185682.

Kulhavý, Zbyněk a Petr Fučík. Adaptation Options for Land Drainage Systems Towards Sustainable Agriculture and the Environment: A Czech Perspective [online]. 2015, 1085-1102 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.15244/pjoes/34963>

Leroy, B. L. M., H. M. S. K. Herath, S. Sleutes, S. De Neve, D Gabriela, D reheul a M Moens. The quality of exogenous organic matter: Short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions [online]. 2008, 139-147 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00142.x>

Lewin, Glenn, David C a Peet R.K, 1992. Plant succession, theory and prediction. London New York : Chapman & Hall. ISBN 0412269007.

Lhotský, Jiří, 2000. Zhutňování půd a opatření proti němu: (studijní zpráva). Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. Studijní informace. ISBN 80-7271-067-2.

Lützow, M. v., I. Köger-Knabner, K. Ekschmits, E. Matzner, G Guggenberger, B. Marschner a H. Flessa. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review [online]. 2006, 426-445 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x>

Maharninig, Ardhini R., Aron A.S Smith a Sima N. ADL. Soil chemical properties in abandoned Mediterranean cropland after succession and oak reforestation [online]. 2009, 137-147 [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.11.003>.

Němeček, Jan, 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-238-8061-6.

Němeček, Jan, Marcela Muhlhanselová, Jaromír macků, Jiří Vokoun, Dušan Vavříček a Pavel RNDr Novák. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. 2. uprav. vyd. Česká zemědělská univerzita : , 2011. ISBN 978-80-213-2155-7.

Nimmo, J.R. and Perkins, K.S. (2002). 2.6 Aggregate Stability and Size Distribution. In Methods of Soil Analysis (eds J.H. Dane and G. Clarke Topp). <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c14>

Odum, Eugene Pleasants, 1977. Základy ekologie: [Investice do rozvoje vzdělávání, reg.č.: CZ1.07/2.2.00/15.0084]. Přeložil Radoslav Obrtel. Praha: Academia.

Pavlů, Lenka, 2019. Základy pedologie a ochrany půdy. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-2876-1.

Penížek, Vít, 2019. Půdní krajiny. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2971-3.

Pickett, S.T.A, Mary Cadenasso, Morgan Grover, Rcihard Pouyat, Robert Costanza, Charles Nilon a Wayne N. Zipperer. Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas [online]. 2003, 127-157 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012>

Plante, Alain F. a William B. Mcgrill. Soil Aggregate Dynamics and the Retention of Organic Matter in Laboratory-incubated Soil with Differing Simulated Tillage Frequencies [online]. 2002, 79-92 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00015-6)

Rejšek, Klement a Radim Vácha, 2018. Nauka o půdě. Olomouc: Agriprint. ISBN 978-80-87091-82-1.

Schnitzer, M. a S.U. Khan, 1975. Soil Organic Matter [online]. Amsterdam: Elsevier Science [cit. 2023-04-13]. ISBN 9780080869759. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-soil-science/vol/8/suppl/C>

Snakin, Prisyazhnaya a Kovács-Láng. *Soil Liquid Phase Composition* [online]. In: . s. 175-243 [cit. 2023-04-09]. ISBN 9780444506757. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444506757500071>

Sojneková, Martina a Milan CHYTRÝ, 2015. *From arable land to species-rich semi-natural grasslands: Succession in abandoned fields in a dry region of central Europe* [online]. 77. Brno: Department of Botany and Zoology, Masaryk University [cit. 2023-04-09]. ISBN 0925-8574. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857415000658>

Sparks, D. L. 1996. *Methods of soil analysis, Part 3 - Chemical Methods*. Soil Science Society of America. Madison. p. 1263. ISBN: 0891188258

Stevenson, F. J. 1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. John Wiley & Sons. New York. p. 496. ISBN: 0-471-59474-1.

Šarapatka, Bořivoj a Květuše Hejátková, 2014. *Degradace půdy a desatero zásad pro ochranu její kvality*. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s. ISBN 978-80-87226-33-9.

Šarapatka, Bořivoj, 2014. *Pedologie a ochrana půdy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3736-1.

Štýs, Stanislav, 1990. *Rekultivace území devastovaných těžbou nerostů*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury. Informační publikace. ISBN 80-85087-10-3.

Tomášek, Milan, 1995. *Atlas půd České republiky*. Praha: Český geologický ústav. ISBN 80-7075-198-3.

Tomášek, Milan, 2000. *Půdy České republiky*. 2. dopl. vyd. Praha: Český geologický ústav. ISBN 80-7075-403-6.

Valla, Miloš, 2002. *Pedologické praktikum*. 2. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0914-8.

Vopravil, Jan, 2011. *Půda a její hodnocení v ČR*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. ISBN 978-80-87361-02-3.

Vrba, Vladimír, Huleš, Ludvík: *Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda*. Biom.cz [online]. 2006-11-14 [cit. 2023-04-13]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda> . ISSN: 1801-2655.

Zbíral, Jiří, 2004. *Analýza půd: jednotné pracovní postupy*. Vyd. 2., přeprac. a dopl. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. ISBN 80-86548-60-0.

Jirků, Veronika, Radka Kodešová, Antonín Nikodém, Marcela Mühlhanslová a Anna Žigová. *Temporal variability of structure and hydraulic properties of topsoil of three soil types* [online]. 2013, 43-58 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.03.024>