

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra, pedologie a ochrany půd



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Vliv použité předplodiny na půdní vlastnosti

Diplomová práce

Marek Kučírek

Studijní program: Pěstování rostlin

Specializace: Rostlinná produkce

Vedoucí práce (Ing. Miroslav Fér, Ph.D.)

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv použité předplodiny 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 13.4.2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Miroslavu Férovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Antonínu Nikodemovi Ph.D., DiS. za pomoc při odborné části mé práce, měření hodnot, odběr vzorků a za vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Klepalovi za umožnění výzkumu na pozemcích společnosti Poděbradská blata, a.s. a agronomovi Ing. Jakubu Chválovskému za poskytnutí dat ohledně pěstování plodin na sledovaných pozemcích.

Vliv použité předplodiny na půdní vlastnosti

Souhrn

V této diplomové práci je jako první část umístěna literární rešerše. V literární rešerši je popsána pedogeneze a rozložení černozemních půd. Nejobsáhlejším tématem jsou chemické a fyzikální vlastnosti a vlivy vlastností vzájemně na sebe. Jako poslední bod je vysvětlen pojem konvenční zemědělství a v jeho podkapitole jsou popsány klady bezorebných technologií. Na literární rešerši navazuje část metodiky. V metodice je zprvu popsána poloha zkoumaných pozemků a dále po společné geologii jsou přiblíženy samostatné plochy výzkumu. Je zde popsána kopaná půdní sonda a přiložena tabulka průběhu počasí v období výzkumu. Jako další část metodiky jsou popsány užití chemické analýzy a vlastnosti půd. Na chemické analýzy navazuje postup při fyzikálních analýzách. Metodika je zakončena hydrologickými vlastnostmi půd. Výsledky začínají prezentováním výnosových parametrů pšenice ozimé (*Triticum aestivum*). Sledován byl průměrný hektarový výnos a hmotnosti tisíce semen. Dále jsou prezentovány v duchu posloupnosti metodiky výsledky jednotlivých chemických analýz, jako je pH, salinita a například obsah živin P, K, Mg, a Ca. Mezi zobrazenými fyzikálními vlastnostmi je nejobsáhlejší kapitola s výsledky penetrometrických odporů. Naměřeny byly také hodnoty pórovitostí, objemových hmotností a stability půdních agregátů. Z hydraulických vlastností půd jsou vyobrazeny nenasycené hydraulické vodivosti a indexy repelencí. V samostatné části je zhotovena diskuse, kde jsou výsledky jednotlivých měření diskutovány s výsledky odborných prací a článků. Z výsledků jednotlivých analýz nelze jednoznačně říci, jaká předplodina má souhrnně pozitivní vliv na půdní charakteristiky, neboť je pozitivita a negativita jednotlivých předplodin v čase a v závislosti na sledované analýze velmi kolísavá. Nebo mezi výsledky není statisticky významný rozdíl. Ukazuje se, že například řepka měla v části analýz pozitivní vliv na půdu, ale na druhé straně byla v řadě měření jako je například salinita půdy nejvíce negativní. Hrách měl ve většině analýz průměrné hodnoty, u nenasycené hydraulické vodivosti se však prokázal jako nejlepší předplodina, kdy měl i dvojnásobné hodnoty infiltrace oproti pšenici. I přes vysokou míru zasolení byla řepka soudě dle výnosových parametrů nejlepší předplodinou pro výnos zrna pšenice.

Klíčová slova: předplodina, nenasycená hydraulická vodivost, živiny, struktura půdy

Effect of used pre-crop on soil properties

Summary

The first part of this diploma thesis is a literature search. The literature review describes the pedogenesis and distribution of chernozem soils. The most comprehensive topic is chemical and physical properties and the effects of properties on each other. As a last point, the concept of conventional agriculture is explained, and the basics of no-till technologies are described in its subsection. The literature review is followed by the methodology part. In the methodology, the location of the researched plots is first described, and then, after the common geology, the separate research areas are described. A dug soil probe is described here and a table of the weather during the research period is added. As another part of the methodology, useful chemical analyzes and soil properties are described. Chemical analyzes are followed by physical analyses. The methodology is concluded with the hydrological properties of soils. Results starting with yield yield parameters of winter wheat (*Triticum aestivum*). The average yield per hectare and the weight of a thousand seeds were monitored. Furthermore, the years are in the spirit of the sequence of the methodology of the results of individual chemical analyses, such as pH, salinity and, for example, the content of nutrients P, K, Mg, and Ca. Among the physical properties shown, the chapter with the results of penetrometric resistances is the most comprehensive. The values of porosity, bulk density and stability of soil aggregates were also measured. Unsaturated hydraulic conductivities and repellency indices are depicted from the hydraulic properties of soils. A separate section contains a discussion where the results of individual measurements are discussed with the results of professional theses and articles. From the results of the individual analyses, it is not possible to say unequivocally which pre-crop has an overall positive effect on soil characteristics, because the positive and negativity of the individual pre-crops vary greatly over time and depending on the analysis being monitored. Or there is no statistically significant difference between the results. It turns out that, for example, rape had a positive effect on the soil in part of the analysis, but on the other hand, it was the most negative in a number of measurements such as soil salinity. Peas had variable values in most analyses, but proved to be the best pre-crop for unsaturated hydraulic conductivity, with double infiltration values compared to wheat. Despite the high level of salinity, judging by the yield parameters, rapeseed was the best pre-crop for wheat grain yield.

Keywords: pre-crop, unsaturated hydraulic conductivity, nutrient, soil structure

Obsah

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | Úvod | 10 |
| 2 | Cíl práce..... | 11 |
| 3 | Literární rešerše..... | 12 |
| 3.1 | Pedogeneze | 12 |
| 3.2 | Vlastnosti půdy | 13 |
| 3.2.1 | Vlastnosti půdní reakce..... | 14 |
| 3.2.2 | Vliv pH na sorpci živin..... | 14 |
| 3.2.3 | Vliv pH na příjem živin rostlinami | 15 |
| 3.2.4 | Ionty v půdním roztoku..... | 15 |
| 3.2.5 | Půdní pórovitost..... | 15 |
| 3.2.6 | Zhutnění půdy | 16 |
| 3.2.7 | Půdní voda | 17 |
| 3.2.8 | Půdní úrodnost | 18 |
| 3.2.9 | Acidifikace půd..... | 19 |
| 3.3 | Konvenční zemědělství..... | 19 |
| 3.3.1 | Bezorebná technologie..... | 20 |
| 4 | Metodika | 21 |
| 4.1 | Stanoviště | 21 |
| 4.1.1 | Geologie stanoviště..... | 22 |
| 4.1.2 | Seznámení s plochami | 23 |
| 4.1.2.1 | Plocha Čertova brázda 1..... | 23 |
| 4.1.2.2 | Plocha Čertova brázda 2..... | 23 |
| 4.1.2.3 | Plocha Hlíňák | 24 |
| 4.1.3 | Půdní sonda..... | 25 |
| 4.1.4 | Průběh počasí ve sledovaném období..... | 26 |
| 4.1.5 | Agromické zásahy na sledovaných pozemcích | 27 |
| 4.1.5.1 | Agrotechnika na pozemcích | 27 |
| 4.1.5.2 | Vstupy žinín na pozemcích | 28 |
| 4.2 | Odběr vzorků..... | 30 |
| 4.2.1 | Značení vzorků | 30 |
| 4.3 | Analýza vzorků..... | 31 |
| 4.3.1 | Příprava vzorků..... | 31 |
| 4.3.2 | Chemické vlastnosti půdy | 31 |
| 4.3.2.1 | Půdní reakce | 31 |
| 4.3.2.2 | Salinita půdy..... | 32 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.3.2.3 | Obsah karbonátů v půdě..... | 33 |
| 4.3.2.4 | Množství organické hmoty v půdě..... | 33 |
| 4.3.2.5 | Obsah živin v půdě | 34 |
| 4.3.2.6 | Kationtová výměnná kapacita..... | 34 |
| 4.3.3 | Fyzikální vlastnosti půdy | 35 |
| 4.3.3.1 | Objemová hmotnost půdy | 35 |
| 4.3.3.2 | Specifická hmotnost půdy..... | 35 |
| 4.3.3.3 | Pórovitost..... | 35 |
| 4.3.3.4 | Zrnitost půdy..... | 35 |
| 4.3.3.5 | Stabilita půdních agregátů | 36 |
| 4.3.3.6 | Penetrometrický odpor..... | 37 |
| 4.3.4 | Stanovení hydraulických vlastností půdy | 37 |
| 4.3.4.1 | Polní měření..... | 37 |
| 4.3.4.2 | Laboratorní měření hydraulických vlastností | 38 |
| 5 | Výsledky | 39 |
| 5.1 | Výnosové parametry plodiny | 39 |
| 5.1.1 | Výnos hlavní komodity..... | 39 |
| 5.1.2 | Hmotnost tisíce semen | 40 |
| 5.2 | Výsledky měření půdních vzorků | 40 |
| 5.2.1 | Chemické vlastnosti..... | 41 |
| 5.2.1.1 | Aktivní půdní reakce..... | 41 |
| 5.2.1.2 | Výměnná půdní reakce | 41 |
| 5.2.1.3 | Půdní salinita | 42 |
| 5.2.1.4 | Obsah karbonátů | 42 |
| 5.2.1.5 | Stanovení obsahu organického uhlíku | 43 |
| 5.2.1.6 | Obsah živin v půdě | 44 |
| 5.2.1.7 | Hodnoty KVK..... | 47 |
| 5.2.2 | Fyzikální vlastnosti..... | 48 |
| 5.2.2.1 | Zrnitost půd..... | 48 |
| 5.2.2.2 | Objemová hmotnost půdy | 49 |
| 5.2.2.3 | Specifická hmotnost půdy..... | 49 |
| 5.2.2.4 | Pórovitost..... | 50 |
| 5.2.2.5 | Stabilita půdních agregátů | 51 |
| 5.2.2.6 | Penetrometrický odpor..... | 51 |
| 5.2.3 | Výsledky hydraulických vlastností půd..... | 54 |
| 5.2.3.1 | Nenasycená hydraulická vodivost | 54 |
| 5.2.3.2 | Index repelence | 55 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 6 | Diskuze | 56 |
| 6.1 | Sledované výnosové parametry pšenice ozimé | 56 |
| 6.2 | Výsledky analýz půd | 56 |
| 6.2.1 | Seznamující analýzy | 56 |
| 6.2.2 | Výzkumné chemické analýzy | 57 |
| 6.2.3 | Výzkumné fyzikální analýzy | 57 |
| 6.2.4 | Výsledky hydraulických vlastností | 57 |
| 7 | Závěr | 59 |
| 8 | Literatura..... | 60 |
| 8.1 | Internetové zdroje | 65 |
| 9 | Seznam použitých obrázků | 66 |
| 10 | Seznam použitých tabulek..... | 67 |
| 11 | Seznam použitých rovnic..... | 67 |
| 12 | Samostatné přílohy | I |

1 Úvod

Půda je stále i přes pokrok v oblasti hydroponického pěstování nedílným a nezastupitelným prvkem produkce potravin na světě. Proto bychom si jí měli vážit a starat se o ni tak, aby neerodovala a neztrácela svou úrodnost. Jedním ze základních principů dobrého enviromentálního stavu půdy je použití bohatých a mnohokomponentních osevních postupů. To, že se některé plodiny v osevních plánech považují za zlepšující, nebo zhoršující je již mnoho let zaběhlá praxe. Jednotlivé plodiny se řadí dle svých pěstebních nároků a vlastností do skupin jako obilniny, olejniny, okopaniny, luskoviny. Obecně platí, že obilniny stav půdy zhoršují a olejniny, luskoviny a některé okopaniny stav půdy zlepšují. Jaký je však doopravdy vliv pšenice ozimé (*triticum aestivum*), hráchu setého (*pisum sativum*) a řepky olejky (*Brassica napus subsp. napus*) na půdu? Je zaběhlé označení „zlepšující plodina“ opravdu vystihující pro působení posklizňových zbytků na půdu? Cílem této práce je posoudit vliv různých předplodin na vlastnosti půdy v porostu pšenice ozimé. Výzkum byl proveden v černozemní oblasti T3 s teplým suchým podnebím.

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat a porovnat vybrané hydropedologické a chemické charakteristiky půd v závislosti na různých předplodinách pšenice ozimé. V rámci výzkumu byla zpracována a vyhodnocena data z hydraulických a penetrometrických teréních měření a odebraných porušených i neporušených vzorků půdy. Různé předplodiny a zpracování půdy mohou mít zásadní vliv na půdní vlastnosti daného stanoviště. Cílem práce bude popsat vliv různých předplodin pšenice ozimé (pšenice ozimá, hrách setý a řepka ozimá) na vybrané půdní vlastnosti (na povrchu půdy a v hloubce 25 cm) a na vybrané výnosové parametry hlavního produktu pšenice ozimé.

Hypotézy

- 1) Změní se nenasycená hydraulická vodivost půdy v závislosti na použité předplodině?
- 2) Bude statisticky významný rozdíl u půdních vlastností v závislosti na použité předplodině?

3 Literární rešerše

3.1 Pedogeneze

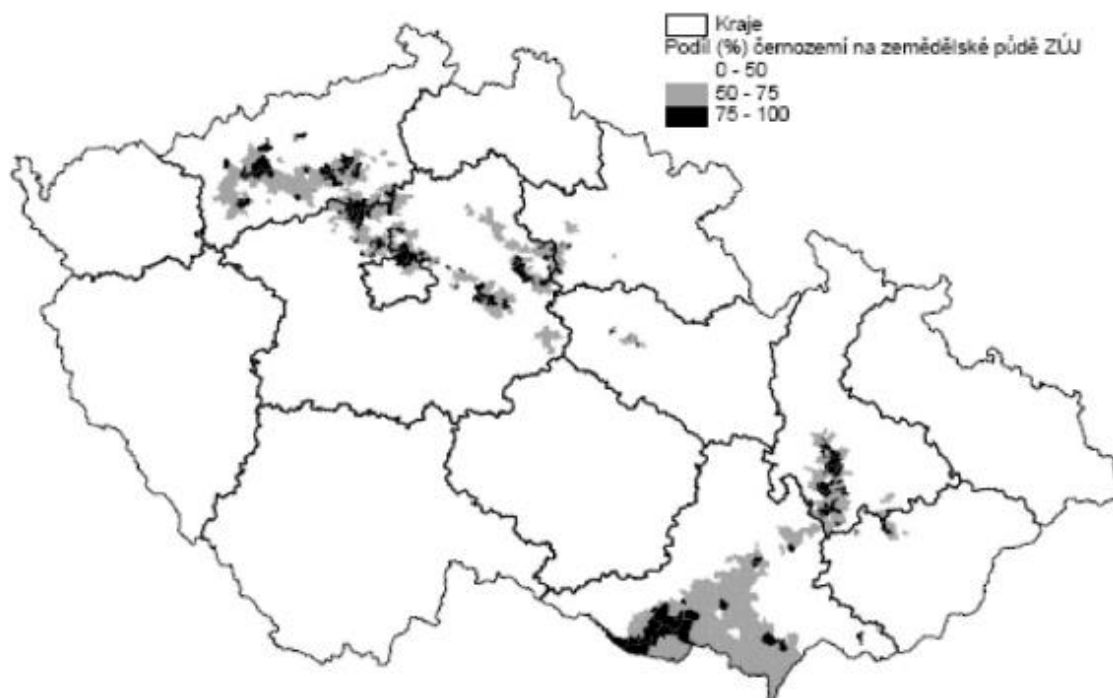
Vznik a vývoj půd se souhrnně nazývá jako pedogeneze. Půdy byly utvářeny a zároveň se stále tvoří, z takzvaně matečných hornin, které jsou základním prvkem každé půdy. Jelikož se zemská kůra a skládá z řady druhů hornin a na každý druh horniny působil zároveň jiný erozní faktor, utvořilo se nám velké množství rozdílných půd, které si však nesou některé podobné základní rysy. Matečná hornina jakožto půdotvorný substrát je přirozeně ukryta pod vrstvou několika milimetrů, až několika metrů rozrušeného materiálu. Tato vrstva vznikla po letech zvětrávání matečného substrátu, nebo pomocí větrné či vodní eroze přemístěním z jiného pozemku. (Šarapatka 2014)

Kvalita a úrodnost půdy je úzce spjata s typem ekosystému, neboť z odumřelých živočichů a částí rostlin vzniká primární organická hmota a z těchto zbytků se tvoří hlavní zdroj půdního humusu. (Šarapatka 2014). Původ organického uhlíku v rostlinách a následně v půdě je anorganický uhlík ve formě oxidu uhličitého navázaný z ovzduší při fázi fotosyntézy. V případě, kdybychom se více zabývali koloběhem uhlíku, je více než zajímavé, že část je vázaná na geologický cyklus probíhající v řádech milionů let a druhým cyklem je biologicko-fyzikální cyklus, kde probíhá oxidace organické hmoty, která je rozložena během dní až stovek let podle složitosti organických vazeb a vlivu vnějších podmínek. (Šarapatka 2014). Geodiverzita stanoviště podstatně ovlivňuje biodiverzitu, souborem abiotických podmínek. Do hlavních původců řadíme geologický podklad, reliéf stanoviště, půdní kryt a především klima. Cílem většiny pedogeografických zkoumání je pozorování proměnlivosti půd v prostoru a mapování geodiverzity. Dále se zkoumají půdní charakteristiky stanoviště a určují se klasifikační jednotky půd. (Němeček & Tomášek 1983)

Jestliže se zaměříme na půdní druhy, zjistíme že půd je řada druhů s mnoha specifickými vlastnostmi. Například u strukturních půd musíme akceptovat, že se jedná o půdy s polycyklickým vývojem, a dokonce často o formy polygenetické (Washburn 1979).

Člověk se od počátku zemědělství snaží půdu, na které hospodaří nějak, tak aby mu byla schopna poskytnout maximální možnou produkci plodin. To však může vést k její degradaci a nevratnému poškození. Mezi půdy, které se řadí mezi nejúrodnější, jak v České republice, tak ve světě patří černozemní půdy. Tyto půdy poskytují jednu z nejvyšších produkcí plodin na světě. V České republice černozemní oblasti zaujímají asi deseti procentní zastoupení a z důvodu přirozené vysoké úrodnosti jsou převážně tyto půdy využívány jako zemědělská půda. Mezi oblasti České republiky, kde černozemní oblasti zabírají největší plochy svého výskytu řadíme zejména Polabí, Znojensko, Poohří, Dolní Povltaví, Dolnomoravský úval a Břeclavsko. V České republice se černozemní oblasti vyskytují zejména v teplých a suchých oblastech a zpravidla v okolí velkých řek. (Penížek 2019).

Na obrázku 1 je znázorněna mapa České republiky, kde jsou vyznačeny nejvýznamnější černozemní oblasti.



Obrázek 1 Výskyt Černozemních oblastí ČR (Kabrda, Bičík, Šefrna)

Jestliže zmíníme obsah humusových látek, mluvíme o půdách se středním až vysokým obsahem humusu. Kvalita humusových látek je velmi vysoká, neboť velmi kvalitní huminové kyseliny mají vyšší zastoupení než méně kvalitní fulvokyseliny. Půdní reakce těchto půd se zpravidla pohybuje od pH 7 do pH 8, tedy neutrální až slabě zásadité. Sorpční komplex je středně velký, zpravidla s vysokým nasycením živinami. (Lhotský 2000)

3.2 Vlastnosti půdy

Vybrané půdní vlastnosti jsou do značné míry ovlivněny použitým obhospodařováním půdy. Mezi zvoleným způsobem hospodaření jako je no-till, bezorebné zpracování či orebné zpracování jsou značné rozdíly v působení na půdu. Nejběžněji se projevující dopady agrotechniky se běžně stanovují sledováním objemové hmotnosti, obsahu organického uhlíku, hodnoty půdní reakce, pórovitosti půdy, stability půdních agregátů či redistribuce částic v profilu. Hydraulická vodivost půdy je velmi silně ovlivněna strukturou půdy, kterou zejména ovlivňuje způsob hospodaření. Konvenční zpracování půdy při použití obdělávání v nevhodných podmínkách může negativně ovlivnit stabilitu půdních agregátů a zejména hydraulické vlastnosti půdy. K nejčastěji hospodařením ovlivněným ukazatelům řadíme množství organické hmoty v půdě, kvalitu humusu a hodnotu půdní reakce. (Fér 2019). Struktura půdy je na konvenčně obhospodařovaných plochách silně negativně ovlivňována hnojením průmyslovými minerálními hnojivy. Hnojením statkovými hnojivy, nebo organickou hmotou zpravidla půdní strukturu zlepšuje. (Lhotský 2000).

Výměna iontů mezi částicemi půdy a kořeny rostlin. Iontové výměny probíhají zpravidla na povrchu koloidních nebo malých částí půdy. Tento jev probíhá s organickou částí jako je humus, ale i anorganickou složkou jako jsou jílové minerály. Částice jílu takzveně koloidy mají funkci jako zásobárna jednotlivých prvků. Prvky jsou zde pevně vázány, proto odolávají volatilizaci a vyplavování. Jelikož rostliny dokáží provést iontovou výměnu, tyto pevně vázané ionty prvků dokáží získat výměnou za jiné ionty. Zkoumání iontové výměny uchvátilo Thompsona a Waye v první polovině devatenáctého století. Během století se řada vědců domnívala, že sorpce je vlastnost minerálního složení půdy, někteří se domnívaly, že tuto vlastnost má pouze organický materiál. Jasně v této otázce začlo být po První světové válce, kdy při rozvoji chemie počal i výzkum půdních koloidů, zejména význam koloidních jílu pro absorpci živin a sorpční komplex půdy (Šarapatka 2014).

Množství organického uhlíku nacházejícího se v půdě je úzce spjato s množstvím organické hmoty a zejména pak s obsahem humusu. Jestliže měření provádíme na svažitém pozemku, musíme počítat s větší variabilitou obsahu humusu na pozemku, zpravidla z důvodu vodní eroze je horní část svahu velmi ochuzena, zatímco rovinaté části pod svahy a údolnice bývají obohaceny. Jestliže se usadí již zerodovaný materiál, může docházet k opačnému jevu, kdy obsah uhlíku snižujeme přívodem minerálních částic. (Jakšík et al. 2016).

3.2.1 Vlastnosti půdní reakce

Hodnota půdní reakce je velmi specifická a podstatná vlastnost každé půdy. Na hodnotu pH je navázáno mnoho procesů, zejména přístupnost a uvolňování živin z vazeb v půdě rostlinám. Některé prvky, jako je třeba železo jsou lépe uvolnitelné při nižší hodnotě pH, jiné se uvolňují spíše při zásaditějším pH. Jestliže chceme upravit půdní reakci vápněním, zpravidla se ze sorpčního komplexu vytěsni jednomocný draslík. V aridních oblastech může docházet k zasolení půd z důvodu vysokých hodnot vápníku a hořčíku, protože tyto prvky jsou nejlépe přístupné v rozmezí hodnot 7–8 pH. Tyto prvky tvoří ve vyšších koncentracích špatně rozpustné soli. (Kulhánek 2013).

3.2.2 Vliv pH na sorpci živin

Chemické vlastnosti sorpce živin jsou závislé na množství iontů nacházejících se v půdním roztoku a na velikosti sorpčního komplexu. Tento jev je přímo ovlivněn pH půdy. Jestliže půdy okyselíme, navýšíme rozpustnost sloučenin Al, Fe a dalších zejména těžkých kovů, které často tvoří společně s anionty nerozpustné soli. (Vaněk 2012). Dalším prvkem ovlivněným pH je fosfor, který se pevně nasorbuje a je z dlouhodobého hlediska znepřístupněn. Sorpce výměnná je pH ovlivněna zejména kationtovou výměnou kapacitou. Při okyseleném prostředí sorbují především anionty. Tím se snižuje podíl dvojmocných Ca a Mg kationtů a zároveň se navyšuje podíl H^+ a Al^{3+} kationtů. Jestliže se sníží zastoupení dvojmocných kationtů v sorpčním komplexu, dochází k snadnějšímu rozplavování půdních koloidů, které má za následek nestabilitu půdní struktury, pohyb půdních částic, a dokonce i zborcení koloidních částic. Takto poničené půdy mají sklony ke slívání, často se vytváří půdní škraloup a s ním

spojené komplikace při vzcházení a počátečních fázích růstu rostlin. Slivem se významně narušuje výměna půdního vzduchu a tím jsou narušeny zejména biologické procesy, které probíhají při aerobních podmínkách. Významně je tímto procesem degradace ovlivněno i zasakování dešťové vody a proto jsou splněny předpoklady pro vodní erozi (Vaněk et al. 2012)

3.2.3 Vliv pH na příjem živin rostlinami

Příjem živin rostlinami silně ovlivněn rozpustností živin do půdního roztoku, kterou ovlivňuje zejména hodnota pH. Stav půdní reakce udává předpoklady na mobilitu a koncentraci iontů rozpuštěných v půdním roztoku. Jako ideální pH se u minerálních půd považuje hodnota pH kolem 6,5, což předurčuje půdu pro rovnoměrný příjem převážné většiny živin a toleruje ho převážné množství plodin. Rostliny vykazují schopnost ovlivnit pH pomocí svých výměšků v rhizosféře, tedy bezprostřední blízkosti kořenů. Díky této schopnosti jsou některé druhy rostlin lépe získávat například fosfor pevně vázaný ve sloučeninách. Z běžně pěstovaných plodin tuto schopnost mají například bobovité rostliny. (Vaněk et al. 2012).

3.2.4 Ionty v půdním roztoku

Příjem živin rostlinami probíhá především skrze kořeny formou iont. Příjímání živin kořeny je závislé na půdní vodě a množství aniontů (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) a kationtů (K^+ , NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) v půdním roztoku. Tyto ionty jsou do půdního roztoku uvolněny ze sorpčního komplexu půdy, kde jsou poutány jílovými koloidy, nebo organickými sloučeninami a často ve vodou těžko rozpustných solích. Jestliže půda nemá dostatečné množství živin které by doplňovali půdní roztok, sníží se i obsah v půdním roztoku a tím se negativně ovlivní výživa rostlin. (Baier et Baierová 1985).

3.2.5 Půdní pórovitost

Půdní póry jsou malé prostory v půdě, které se tvoří mezi pevnými částmi půdy jako pukliny a meziprostory, zpravidla vyplněné půdním vzduchem, nebo vodou. Celkový objem, rozmístěn a velikost pórů se zohledňuje při určení pórovitosti půdy. Pomocí pórů je možná výměna půdního vzduchu a vody a díky tomu ovlivňují erozní procesy, a to jak negativně, tak pozitivně. Počet a velikost pórů je nejvíce spjat s půdním druhem tím pádem pórovitost ovlivňuje nejvíce obsah jílových částic a obsah humusu. Mezi půdy s nejvyšší pórovitostí patří velmi humózní půdy ve zdravém stavu, kdy měříme hodnoty kolem 70-80 %. Jestliže půda není v dobrém stavu a je utužena, tak se hodnoty pórovitosti značně mění a můžeme naměřit pórovitost jen kolem 25-30 %. (Šarapatka 2014) Na půdách vyskytujících se v České republice zaznamenáváme značnou variabilitu v pórovitosti a to od 30 do 62 %. Nejvhodnější stav pro správný růst a vývoj rostlin je při hodnotách pórovitosti 55 až 60 %. (Špička 1964)

Póry rozdělujeme dle jejich funkcí na skupiny ovlivňující vzdušný a vodní režim. První jsou kapilární póry, které umožňují z důvodu povrchového napětí přitahování vody, a proto je

možné velmi důležité vzlinání vody. Jelikož kapilární póry pracují s půdní vodou neumožňují výměnu půdního vzduchu. Jako kapilární póry se považují póry menší než 0,2 mm. Nekapilární póry, tedy póry větší než 0,2 mm slouží k výměně plynů mezi půdním vzduchem a atmosférou. Díky těmto pórům je umožněna infiltrace vody, která díky velikosti pórů není tolik ovlivněna povrchovým napětím póru, ale zejména zemskou přitažlivou silou. (Šarapatka 2014).

Díky pórům má půda schopnost infiltrovat vodu, na jejich objemu je přímo úměrná vodní kapacita půdy. Běžně se v půdách projevují dva typy proudění vody, v závislosti na stavu půdy. Když jsou póry zaplněny jen částečně, kromě vody se v nich nachází i půdní vzduch, probíhá takzvaně nenasyčené vodní proudění. Jestliže jsou póry zaplněny vodou, tedy půda je plně nasycena, dochozí k nasycenému proudění vody. Největší změny v proudění vody a půdních vlastnostech se projevují vždy v povrchových vrstvách půd.

Při hluboké orbě za správných vlhkostních poměrů se tvoří řada makropórů. Pozemek snadněji přijímá dešťové srážky do svrchní obdělávané části, vlivem povětrnostních podmínek se postupně infiltrační schopnosti snižují. (Hůla et al. 2010). V případě hluboké orby se ukazuje jako významný problém podorničí. Pod zoranou vrstvou ornice je homogenní hustota makropórů, která je mnohdy negativně ovlivněna jízdou stroje v brázdě. Orebná mísa je po orbě protkána rovinnými zakulacenými póry, které se nazývají planarpackingporoids (Hubert et al. 2007).

3.2.6 Zhutnění půdy

(Javůrek & Vach 2008) uvádí, že zhutnění půdy má za následek navýšení objemové hmotnosti půdy, sníží se počet nekapilárních makropórů a při vysokém poškození tlakem může docházet k zborcení půdních agregátů. To vede k ovlivnění řady fyzikálních vlastností půd. Začne se projevovat zhoršená infiltrace vody, je ovlivněna vodní kapacita půdy a její dostupnost. Snížení makropórů vede k ovlivnění termodynamických vlastností půdy a je také ovlivněno složení a množství půdního vzduchu.

Zhutnění je proces kdy se projeví nepříznivé vlivy na stav půdy. Utužváním se může snížit množství makropórů na polovinu, mikropóry zpravidla zůstávají neporušené, nebo jen mírně. Za vhodné vlhkosti půdy při použitém tlaku menším než 0,10 MPa lze očekávat změny, které jsou vratné. Při tlaku 0,15 MPa se projeví změny do hloubek 35–40 cm. S narůstajícím tlakem se porušení půdy zvyšuje a projevuje se ve větších hloubkách. Jestliže se odolnost ornice proti tlaku a smyku zmenší třeba hlubokou orbou, zhutnění se negativně projeví ve větší hloubkách. U těžkých jílovitých půd se nalézají pozitivní faktory, které napomáhají návratu a regeneraci půdy do původního stavu. Mezi hlavní procesy patří bobtnání jílových částic, mráz, a prostory po kořenech rostlin. U půd písčitých jsou schopnosti regenerace po zhutnění téměř nulové. (Lhotský 2000).

Zhutnění půd se hodnotí zejména na základě dvou analýz. První je měření objemové hmotnosti a úzce spjaté pórovitosti. Druhým způsobem měření utužení půd je měření penetrometrického odporu (Hraško 1962). Hodnoty zhutnění přirozeně stoupají směrem od ornice do matečné horniny. Jestliže není tento přirozený stav dodržen, může se jednat o nadměrné zhutnění ornice, nebo z nějakého důvodu o nízkou ulehlost spodních horizontů. (Jandák 2003).

Zhutnění půdy lze stanovit pomocí penetrometrického odporu. Při měření penetrometrického odporu je využito pronikání přesně definovaného hrotu přístroje do půdy. Odpor půdy se vyjádří jako $\text{Síla/Povrch hrotu} \cdot 100$, což se rovná MPa. Jelikož je penetrometrický odpor silně ovlivněn vlhkostí půdy, nejvhodnější podmínky pro měření jsou na jaře, z důvodu rovnoměrného provlhčení půdního profilu. Z tohoto důvodu není nutná korekce na vlhkosti vrstev půdy. (Javůrek a Vach 2008). Měření penetrometrického odporu je nevhodné pro půdy rašeliništní a kamenité. (Lhotský 2000). Řada literárních prací udává jako hraniční hodnotu utužení omezující růst rostlin jako 1,5 MPa a přitom u hodnot 2,0 MPa hranici, kdy se růst kořenů prakticky zastavuje (Carter 1988).

3.2.7 Půdní voda

Voda nacházející se v půdě má vliv téměř na většinu fyzikálních a fyzikálně-chemických procesů. Silně je ovlivněna i biologická aktivita půdy, což souvisí se změnami původního půdotvorného substrátu během pedogeneze. Nejlépe viditelný má voda význam pro rostliny jeden z nejdůležitějších intenzifikačních faktorů pro svůj vývoj. Ideální množství vody také potřebují k životu půdní mikro a makro organismy. Pro procesy v půdě je nejcennější voda kapalná. Ve spojení s podzemními vodami vytváří rozsáhlou síť vod podpovrchových (Šarapatka 2014). Hydraulická vodivost je vlastnost půdy infiltrovat vodu. Vědcům, správcům půdy a pěstitelům znalost tohoto jevu prospívá tím že, víme, jakou rychlostí se bude například srážka vsakovat, nebo jak intenzivní dešť je půda či pozemek schopen během krátké doby zachytit, než dojde k povrchovému odtoku vody z pozemku. Velmi důležité je znát hodnoty jakých nabývá infiltrace při přepravě kontaminantů. Důležitá je infiltrace zejména pro akumulaci vody v podpovrchových vodách, a tím umožňuje udržitelnost a funkčnost ekosystémů. Hydraulická vodivost je vlastnost, jak rychle se bude voda zasakovat při specifikovaných podmínkách a daných vlhkostech půdy. Hydraulické půdní proudění rozdělujeme na dvě základní kategorie, nenasycené a nasycené. Protože minidiskový infiltrometr funguje na napěťovém principu, je možno měřit nenasycenou hydraulickou vodivost půdy s rozdílnými vlhkostmi. Infiltrace vody nenasycenou půdou je z hlediska kvalifikace komplikovanější z důvodu zaplňování pórů. (Rose 1966) Proudění je pomalejší, jelikož jsou makropóry vyplněny vzduchem, a proto veškerý tranzit vody zajišťují jen jemnější póry. Hydraulická vodivost půdy je z tohoto důvodu extrémě závislá na velikosti pórů a zaplněnosti těchto pórů vodou. (Brady a Weil 1999)

Jestliže z důvodu vysokých srážek dojde k maximálnímu nasycení půdy, je pravděpodobné, že bude překročena retenční kapacita, a to vede k počátku povodňové vlny. (Lichner et al. 2004) Množství a rychlost odtoku dešťové vody je závislé na mnoha podmínkách. Nejvýznaměji infiltraci ovlivňuje, zda je, či není na pozemku porost rostlin, popřípadě jaký. (Almeida et al. 2018) Intenzita odtoku se při změně vstupních vektorů významně mění (Kutílek a kol., 1993). Nejvýznamněji však ovlivňuje způsob agrotechniky. Základní podmínkou pro vyrovnanou bilanci vody v krajině koloběh. Nejvýznamější pro terén má v rámci hospodaření s vodou nediskutovatelné zásluhy dešťové srážky. (Cudlín et al. 1999). Množství vsaku a rychlost infiltrace je bezprostředně ovlivněno povahou a průběhem deště,

zejména pak infiltraci ovlivňuje samotný stav půdy a úprava povrchu půdy. (Nypl& Kuráž 1992) Významným ovlivňujícím faktorem je i kořenová aktivita. (Vičanová et al. 2010). Retenční kapacita půdy je vlastnost půdy fixovat vodu zejména v profilu ornice. Díky této vlastnosti je půda schopna rostlinám poskytovat vláhu během období bez srážek, kdy se voda do půdy akumuluje a transpirací a evapotranspirací se z půdy vytrácí, nebo spotřebovává. (Šír et al. 2004) Při intenzivní srážce, kdy přísun vody převyšuje možnosti rychlosti infiltrace, dochází po krátkém čase k plnému nasycení svrchních částí půdy a infiltrace se zpomalí na ustálené proudění. To vede k postupné tvorbě louží, které se spojují a vedou k odtokům formou potůčků, které s sebou mohou strhávat ornici. (Nypl& Kuráž 1992)

Charakter infiltrace je odvislý od několika základních charakteristikách půdy, nebo přímo faktorech ovlivňujících infiltraci. Humus v horní vrstvě ornice má vlastnost navázat až 20 mm dešťových srážek, avšak záleží na obsahu humusu v půdě. Organická hmota na povrchu ornice společně s porostem pohlcuje energii padajících dešťových kapek. Tím chrání povrchové vrstvy před degradací půdní struktury, slévavosti půdy a tvorbě půdního škraloupu, který má nízkou infiltrační schopnost. Půdní škraloup se běžně utvoří na místech kde je půda holá, zejména při vydatných deštích s vysokou intenzitou a velkou dopadovou energií kapek. Tato místa se slejí a další deště půdní vlastnosti jen zhoršují. Rostlinné zbytky na povrchu, nebo jen částečně zapravené zdrsňují texturu povrchu a půdu chrání před vodní erozí. Jestliže se odstraní vegetační kryt a nadložní humus je předvídatelný proces eroze (Binder 1970) Jestliže se bavíme o vodní erozi smyvem půd, nazýváme na postiženém tento proces jako degradace. Na druhé straně však někde vzniká půda nová, u které se z připlavených sedimentů vytvořil nový horizont. Tomu to jevu se říká aggradace. Díky těmto částečně přirozeným jevům se zarovnávají rozdíly mezi nadmořskými výškami a tento jev se nazývá planace. Předpokladem planace je to, že na erodovaném pozemku musí být narušený materiál bez pevných vazebprocesu. Tato podmínka je běžně proveditelná pomocí zvětrávání hornin, zemědělskou činností se však ještě urychluje a zjednodušuje. (Janeček et al. 2008). Když voda působí mechanickou erozi, nazýváme to korazí. Dalším dosti destruktivním procesem je vymílání povrchu v kruzích po kapkách. To se nazývá evorze. Vliv vody na podložní horninu, třeba na dně potoků se nazývá abraze. (Holý 1978)

3.2.8 Půdní úrodnost

Půdní úrodnost je vlastnost, díky které je půda schopna dát plodinám předpoklady pro život a prosperitu. Klíčovými faktory jsou přístupnost vody, půdního vzduchu, živin. Dalšími poskytovanými prvky jsou podmínky ke správnému vývoji rozsáhlého kořenového systému, čímž rostlině poskytuje pevné základy a prostor pro čerpání živin. Půda a její úrodnost se nejjednodušeji hodnotí na bázi dynamiky růstu plodin, kvalita hlavních produktů a jejich výnos. K udržení půdní úrodnosti je nutné pracovat na pozemcích v ideálních půdních a klimatických podmínkách. Dalším hodnocením půdní úrodnosti se může stát kvalifikace schopnosti půdy poskytovat příznivé podmínky pro život mikroorganismů. (Černý et al., 2015 b) Pro potřeby ocenění půd je v ČR funkční systém BPEJ (bonitovaná půdně-ekonomická jednotka), zde je zohledněna absolutní i relativní produkční schopnosti zemědělských půd a podmínek jejich

nejúčelnějšího využití. BPEJ je charakterizována pětímístným kódem (viz tab. 1). První číslice vyjadřuje příslušnost ke klimatickému regionu. Druhá a třetí číslice určuje zařazení půdy do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (HPJ). Čtvrtá stanovuje stupeň sklonitosti a příslušnou expozici ke světovým stranám ve vzájemné kombinaci, pátá číslice vyjadřuje hloubku půdy a skeletovitost půdního profilu ve vzájemné kombinaci. (Voltr *et al.*, 2011).

3.2.9 Acidifikace půd

Acidifikace je postup degradace půdy, který se projevuje postupným snižováním hodnoty pH. Tento jev je podstatnou příčinou přístupnosti či nepřítomnosti živin. Tato vlastnost půd také významně ovlivňuje mobilitu prvků a působí na růst rostlin, biologie v půdě. Významě je ovlivněna kvalita humusových látek a tvorba humusu, což souvisí s půdotvorným procesem. Pufrční schopnost je schopnost, kterou půda disponuje za účelem potlačovat okyselení pomocí sorbčního komplexu a uvolňování bazických iontů. (Khel *et al.* (2011) Touto vlastností disponují zejména půdy geneticky bohaté na karbonáty a vápenné minerály, jako jsou půdy na spraších, slínech a zmiňovaných vápencích. U půd s kyselým potenciálem typicky vyvinutých na rulách, svorech a žulách acidifikaci odolávají hůře už z principu jejich historie vzniku. K acidifikaci půd dochází zcela běžně ilimerizací, což je posouvání jílu a bentonitů do spodních vrstev půd, nebo za působením antropogenního vlivu. Člověk nejvíce ovlivňuje okyseluje půdy využíváním průmyslových minerálních hnojiv. Mezi nejkyseleji působící hnojiva řadíme především dusíkatá hnojiva jako je DAM 390, Močovina, síran amonný. K zabránění acidifikace je u náchylných půd důležité používat hnojiva obsahující vápník. Z dlouhodobého hlediska jsou k udržení pH ideální mleté vápence, které nejsou agresivní a zvolna uvolňují živiny po několik let. Výhodou dolomitických vápenců je současné dodání hořčíku s vápníkem. (Kehl *et al.*, 2011) Jak již bylo zmíněno, okyselování půdy je z části přirozený proces. Jak mikroorganismy a makroorganismy žijí, dýchají a společně s kořeny do půdního vzduchu vypouští oxid uhličitý. Jeho část se smísí s vodou a vytváří se slabý roztok kyseliny uhličitě. Ten společně s kyselinami kořenových exudátů působí znatelné okyselení okolního prostředí. Při erozi matečných hornin dochází k uvolňování iontů vodíku, čímž se prostředí opět okyselí. Hlídané pH má příznivý vliv na půdní biosféru, navyšuje se druhová rozmanitost půdních bakterií. Nepříznivé podmínky jsou však pro patogenní plísně a mikroskopické houby. Příznivě působí také na půdní žížaly, které kyselé prostředí nemají rády. (Čuhel & Malý 2013). Půdní reakce má nesporný vliv na množství emisí oxidu dusného, který se častěji tvoří a volatilizuje spíše na kyselých půdách. Tento plyn je v atmosféře nežádoucí pro své chemické reakce se stratosférickým ozónem, tedy napomáhá zvětšovat ozonovou díru. V podmínkách českého zemědělství je hodnota emisí z půd asi 50 % produkce celé republiky. Vápnění půd je tedy ekologickou variantou pro snížení emisí pocházejících ze zemědělství.

3.3 Konvenční zemědělství

Ekologické zemědělství dbá zejména na biologickou rovnováhu na pozemku, konvenční zemědělství se specializuje především na kvantitu produkce komodit, uniformní sklizeň, a hlavně na ekonomiku provozu. (Moravcová 2015). Konvenční zemědělství je celosvětově používaný zemědělský směr. Charakteristické jsou pro něj vysoké přírůdky živin a energie za

účelem maximalizace zisku. Využíváno je spousta intenzifikačních faktorů jako je vysoký stupeň chemizace, hustota populace rostlin, vysoká mechanizace, hnojení a nástup automatizace. Nevíce typickým znakem je velmi vysoká míra uniformity, uplatnění monokulturního pěstování chemickým potlačením zaplevelujících rostlin. Díky nízké biodiverzitě téměř nemají plodiny schopnost autoregulace, a to vede k opětovnému použití chemických prostředků na ochranu rostlin. Biologie na konvenčně obdělávaných polích se stává omezenou, a proto část autoregulačních funkcí společenstva se neprojeví, nebo jen mizivě. Jestliže budeme intenzivně půdu znehodnocovat a oslabovat, můžeme ji přivést k takzvané únavě půdy, což je stav, kdy nám půda není schopna poskytnout to co od ní očekáváme a radikálně je zhoršena přístupnost živin. Tím je rozběhnuta řetězová reakce, kdy jsou z důvodu únavy půdy stresovány rostliny, ty mají horší zdravotní stav a jsou náchylnější k napadání škůdci a chorobami. To zemědělce vede k aplikaci pesticidů, které opět snižují biodiverzitu. (Dlouhý 2011)

3.3.1 Bezorebná technologie

Bezorebné zpracování půdy se nazývá často jako minimalizační zpracování. Tyto technologie pracují na principu minimalizace pohybu s půdou a absencí obracení půdy jako se děje u orebných systémů. Minimalizovat počet, nebo energetickou náročnost operací se snažíme během všech operací od přípravy půdy po boj s plevely. (Hůla 2001). Při minimalizačním zpracování půdy se používá kombinace operací v jeden pojezd, obdělává se do menších hloubek a třeba jen části půdy, některé operace jsou vypuštěny úplně. Nejvyšší motivací k ulpátnění minimalizace je hon za nejvyšším ziskem, snaha o lepší hospodaření s vodou v půdě, snížení zhutnění a počtu přejezdů techniky po pozemku. Poslední dobou je velkou motivací pro užití tohoto systému boj s větrnou a vodní erozí. (Šarapatka & Urban 2006) Největšími přínosy užití minimalizační technologie je funkčnost půdní struktury a minimalizace přejezdů po povrchu půdy, zejména čerstvě po provedeném kypření, kdy je půda nejnáchylnější ke zhutnění. Významně chrání před vodní a větrnou erozí zanecháním části rostlinných zbytků na povrchu půdy. Ohromným přínosem je minimalizační technologie u vysušených půd, kde pracuje hospodárněji s vodou než orebná technologie. Asi nejekonomičtěji působí velké stroje s velikými záběry, které obdělávají mnoho hektarů denně. Další velkou výhodou je, že po aplikaci minimalizační technologie není uskutečněna mineralizace organické hmoty ve vysoké míře. Ze slova minimalizovat je odvozen princip technologie, kdy se snažíme zahrnovat nejvíce operací v jeden přejezd po pozemku. (Lhotský 2000). Do základních postupů při úpravě půdy v minimalizační technologii se řadí podmítka a mělké kypření diskovými podmítači, či kypření radličkovými kypřiči. (Křen et al. 2015) Tento systém pěstování alternativou k zakořeněnému orebnému pěstování, je však šetrnější k půdě a zlepšuje její fyzikální, hydrologické a biologické vlastnosti a tím se na některých místech zlepšuje výnos plodin. (Wani et al. 2016).

4 Metodika

4.1 Stanoviště

Výzkumné plochy se nacházejí ve Středočeském kraji ve východním cípu okresu Nymburk. Měření a odběry probíhaly na třech plochách, vybraných na dvou půdních blocích, v katastrálním území obce Oškobrh a Opolánky. Výzkum byl proveden v porostech pšenice ozimé (*Triticum aestivum*) založené na podzim roku 2021. Plochy mají jednotnou BPEJ 30700, z čehož plyne, že region je teplý, mírně vlhký (T3) s půdním typem černozem. Dále se z BPEJ dozvíme, že pozemky mají sklonovitost mírnou sklonovitost, která je průměrně 0,83 stupně. Pozemky se nacházeli v nadmořské výšce 204,13 metrů.

Pozemky byly propachtovány společností Poděbradská blata, a.s., se sídlem v Pátku. Tato společnost je součástí koncernu Agrofert, a přímo spadá pod vliv podniku ZZN Polabí. Společnost od roku 2014 provozuje pouze rostlinnou výrobu a obdělává téměř 4 650 hektarů, které jsou takřka z poloviny na propachtovaných pozemcích

Sledované plochy se nacházely na polní poměry velmi blízko, nevyšší vzdálenost mezi zkoumanými plochami byla 150 metrů. Plochy jsou vyobrazeny na obrázku 2. Pomocí českého klasifikačního systému půd (Němeček et al. 2011), jsem určil půdní typ jako černozem pelická, zejména díky slínovému podloží a tím ovlivněnými vlastnostmi.



Obrázek 2 letecký pohled na vyznačené plochy výzkumu

4.1.1 Geologie stanoviště

Dle základního členění se jedná o Český masiv, české křídové tabule, labského vývoje. Vznik masivu se datuje do mezozoikumu, křídý, svrchní křídý – turonu. Původ matečné horniny je sedimentární hornina, jako je opuka, jílovec (lupek). (Česká geologická služba 2023)

K pozemkům přiléhající kopec Oškobrh s nadmořskou výškou 285 m.n.m. je „svědkem“ dob křídových moří. Část hřbetu kopce je tvořena vápnitými jílovci až jílovitými vápenci teplického souvrství s velmi vysokými obsahy uhličitánů které přesahují i 60%. Na vrcholu kopce jsou vyvinuty inoceramové opuky stratigraficky zařazeny do spodního coniacu. Tato opuková ložiska jsou na západním svahu Hřebínku odkryta částečně přirozenými suťovišti a částečně díky umělým odkryvům za účelem těžby opuky pro slavníkovské hradiště v 10 století. Celý západní svah kopce je chráněn v režimu evropsky významná lokalita. Na odkryvu je vidět mnohonásobné střídání různě mocných vrstev. Světlejší deskovité vápnité silicity či silicifikované vápence s obvyklou prachovitou i jemně písčitou příměsí se střídají s měkčími šedavými vápnitými jílovci o obsahu uhličitánů 33-42 %. (Krutský 1977) V opukových vrstvách jsou bohatě rozšířeny zkamenělé kolonie foraminifer, dále se vyskytují spikuly silicispongií, méně časté jsou ostny ježovek a Ostracoda. Už vzácnější jsou žraločí zuby, šupiny ryb a části ježovek (Hemiaster, Micraster). V měkčích vápnitých jílovcích jsou převážně drobné druhy rodů Arca, Nucula, Cardium. (Pražák 1995) Na obrázku 3 jsou zobrazeny zkamenělé mořské organismy ze suťoviště na vrcholu kopce.

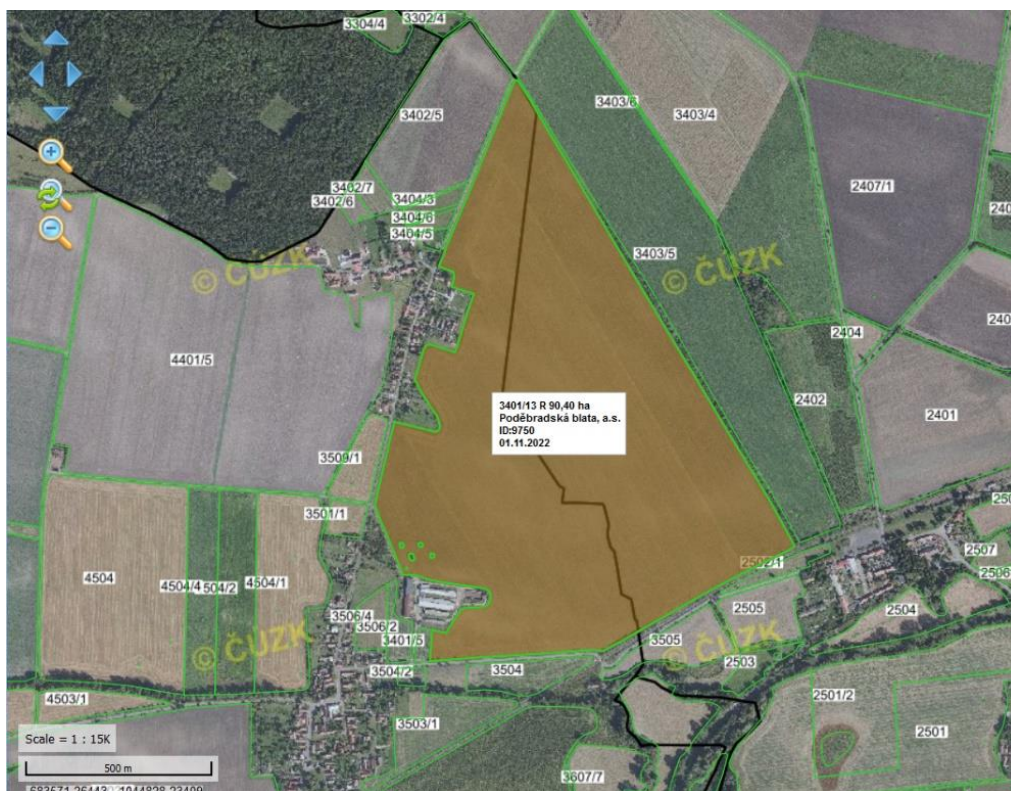


Obrázek 3 zkamenělé organismy z vrchu Oškobrh

4.1.2 Seznámení s plochami

4.1.2.1 Plocha Čertova brázda 1

Zkoumaná plocha 1 a 2 se nacházely na půdním bloku jménem Četova brázda evidovaném pod číslem 3401/13. Na ploše 1 byla jako předplodina pšenice ozimá (*Triticum aestivum*). Výměra oseta pšenicí ozimou byla v roce předplodin 84 hektarů z celkových 90,4 hektarů. Plocha je zobrazena na obrázku 4 v celé výměře polního bloku.



Obrázek 4 pohled na plochu 1 – zdroj LPIS

4.1.2.2 Plocha Čertova brázda 2

Z důvodu agrotechnického problému v předešlém roce 2020 byla na půdním bloku Čertova brázda vyčleněna plocha 2 s kódem 3401/10, na které byl místo původně zamíšlené pšenice ozimé (*Triticum aestivum*), jako na ploše 1, na jaře 2021 založen porost hrachu setého (*Pisum sativum*). Plocha je vyobrazena na obrázku 5.



Obrázek 5 pohled na plochu 2 zdroj LPIS

4.1.2.3 Plocha Hlíňák

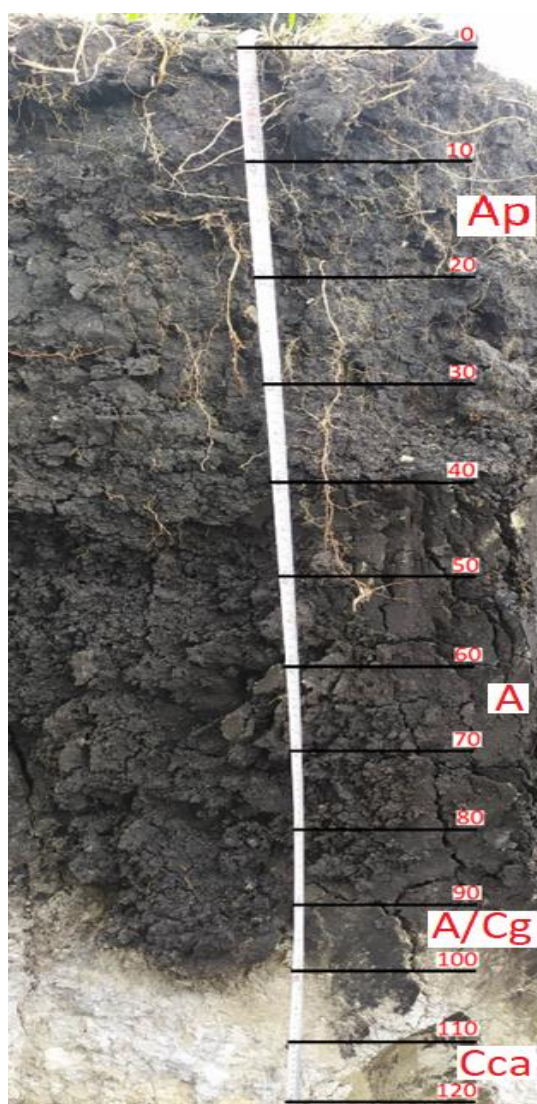
Třetí plocha se nacházela na půdním bloku jménem Hlíňák evidovaném pod kódem 4401/5, kde byl jako předplodina založen porost řepky ozimé (*Brassica napus subsp. napus*). Z důvodu silného krupobití byl na části pole porost silně poškozen a část hlavního produktu byla jako ztráta dodána do půdy. Blok je zobrazen na obrázku 6.



Obrázek 6 pohled na plochu 3 zdroj LPIS

4.1.3 Půdní sonda

V měsíci červnu jsem v travnatém biopásu na půdním bloku Čertova brázda vykopal půdní sondu o rozměrech 90 cm x 200 cm. Sonda je znázorněna na obrázku 7. Sonda byla vyhloubena do 130 cm na matečnou horninu. V horizontu Ap je zřetelné značné prokořenění rostlin. Tento horizont sahá do 40 centimetrů. Jedná se o šedočernou zeminu se zpravidla drobtovitou strukturou. Díky vysokému podílu jílových částic má horizont za vlhka vysokou přilnavost a zároveň vysokou vodní kapacitu. Skeletovitost se pohybuje do dvou procent. Druhým černickým horizontem je horizont A. Jedná se o leskle černošedou jílovitou zeminu hrubé prizmatické struktury, Zemina je velmi soudržná především za suchého období. Třetím horizontem je A/Cg kde se již nejedná o černický horizont, je jílovitě zabarvený, má hrubou strukturu, substrát je velmi tuhý a soudržný. Čtvrtým, tedy posledním horizontem je horizont Cca. Jedná se o rozpad slínů, je tvořen menšími i většími úlomky. V profilu se tváří jako jednolité hornina, která jde poměrně dobře mechanicky drobit na drobné rozrušené úlomky. Horizont, jako ostatně všechny je vysokým obsahem vápníku. Matečkou horninou jsou tedy slíny a slínovce utvořené v období křídý.



Obrázek 7 Pohled na kopanou půdní sondu.

4.1.4 Průběh počasí ve sledovaném období

Pro pokus byl vybrán z hlediska srážek a teplot docela extrémní a raritní rok, během celého sledovaného období se objevovaly dlouhodobě nadprůměrné teploty a velmi variabilní úhrny srážek. Srážky jsou během měsíců, kdy byly na polích plodiny znázorněny v 1, kde jsou porovnány s průměrnými srážkami podle českého hydrometeorologického ústavu a vyjádřena procenta normálu. Po velmi suchém podzimu přišla zima s mírně podprůměrným prosincem, průměrným lednem a podprůměrným únorem. Jaro začlo velmi podprůměrným březnem, duben byl se svými 32,6 milimetry sice průměrný, avšak převážná část srážek za celý měsíc spadla během dvou srážek a voda se z vyschlé půdy rychle odpařovala. Květen byl opět poměrně podprůměrný, srážky byly velice malé například 0,2 mm, což se do vlastností půdy vůbec neprojevilo, až ke konci měsíce se objevili tři srážky po 5 mm a jedna 12 mm velká. Díky přetrvávajícím vysokým teplotám, tudíž vysokému odparu vody se na plno projevilo půdní sucho. Díky vlastnostem půdy se extrémní sucho plně projevilo v květnu a první polovině června velkými prasklinami v zemi. Tyto praskliny s měřítkem jsou znázorněny na obrázcích 8. V druhé polovině června se objevily čtyři solidní srážky okolo 10 mm což zachránilo kvalitu úrody, avšak 29.6. přišla srážka o úhrnu 66,2 mm. Na tuto srážku navázala vydatná srážka 1.7. o úhrnu 36 mm, což ve spojení dalšího týdne, během kterého spadlo dalších 15 mm dělalo poměrně velké potíže při počátku žní. Další významně ovlivňující srážka 38,4 mm spadla 30.7. což asi na týden zastavilo žňové práce.

Tabulka 1 Sumarizace srážek a porovnání s dlouhodobými průměry

| měsíc | Listopad 2021 | Prosinec 2021 | Leden 2022 | Únor 2022 | Březen 2022 | Duben 2022 | Květen 2022 | Červen 2022 | Červenec 2022 |
|---|------------------|------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|----------------|----------------|------------------|
| Skutečná srážka v mm | 7,4 | 32 | 34 | 25,4 | 12,6 | 32,6 | 37,2 | 115,6 | 96,4 |
| dlouhodobý průměr dle CHMU v mm | 40 | 38 | 34 | 30 | 40 | 34 | 63 | 70 | 82 |
| % dlouhodobého průměru | 18,5 | 84,21 | 100 | 84,67 | 31,5 | 95,88 | 59,05 | 165,14 | 117,56 |
| suma efektivních srážek větších než 2 mm | 0,8 | 15,4 | 14,4 | 3 | 7,2 | 14 | 23,6 | 98,6 | 82,6 |
| počet dní se srážkami | 9 | 13 | 14 | 15 | 4 | 15 | 10 | 11 | 8 |



Obrázek 8 pohled na praskliny v půdě za suchého období

4.1.5 Agronomické zásahy na sledovaných pozemcích

4.1.5.1 Agrotechnika na pozemcích

V tabulce 2 jsou znázorněny termíny jednotlivých agrotechnických zásahů na daných pozemcích.

Tabulka 2 Sled agrotechnických operací

| Po pšenici | Po hrach | Po řepce | operace | stroj | nářadí |
|------------|----------|----------|---------------------|----------------------------|-------------------------|
| 24.VIII | 24.VIII | 19.VII | podmítka | Case quadrac 620 | Lemken rubin 9/600 KUA |
| 29.IX | 29.IX | 24.IX | kypření | Case quadrac 620 | Amazone Centaur 6001 |
| 30.IX | 30.IX | 25.IX | předseťová příprava | Case quadrac 620 | Amazone Catros 8003 2TX |
| 03.X | 03.X | 26.IX | setí | New Holland T8-435 polopás | Vaderstad Rapid 800S |
| 05.X | 05.X | 27.IX | koulení | New holland T7- 250 | Cambrige Vega 6 |

4.1.5.2 Vstupy žinin na pozemcích

4.1.5.2.1 Půdní blok Čertova brázda 1

V tabulce 3 jsou vypsány vstupy živin na půdním bloku Čertova brázda 1. Jsou zde uvedeny jednotlivé použité dávky přípravků na jeden hektar a u dusíkatých hnojiv je uveden přírůstek dusíku. Do sumy dusíku jsem zde započtl i přísun dusíku ze zapravení pšeničné slámy.

Tabulka 3 Vstup živin na ploše 1

| Datum | Hnojivo | MJ/ha | kg N/ ha |
|--------|-----------------------------|-------|----------|
| 30.VII | sláma pšenice | 5,2t | 27 |
| 20.IX | Amofos NP 12-52 | 1q | 12 |
| 02.III | LOVOFERT LAD 27 | 1,5q | 40,5 |
| 11.III | Kieserit granulát | 1q | 0 |
| 14.IV | LOVOFERT LAD 27 | 2,5q | 67,5 |
| 23.IV | Borosan forte | 0,4l | 0 |
| 23.IV | MICRIKOMPLEX Cu-Mn- Zn | 1,5l | 0 |
| 23.IV | Yara tera KRISTA MgS | 5kg | 0 |
| 09.V | Močovina | 5kg | 2,3 |
| 09.VI | Borosan forte | 0,3l | 0 |
| 09.VI | Yara tera KRISTA MgS | 3kg | 0 |
| 09.VI | Yaravita Zintrac 700 | 0,25l | 0 |
| 09.VI | Yaravita Zintrac Coptrac | 0,2l | 0 |
| celkem | | | 149,3 |

4.1.5.2.2 Půdní blok Čertova brázda 2

V tabulce 4 jsou vypsány vstupy živin na půdním bloku Čertova brázda 2. Jsou zde uvedeny jednotlivé použité dávky přípravků na jeden hektar a u dusíkatých hnojiv je uveden přírůstek dusíku. Do sumy dusíku jsem zde započtl i přísun dusíku ze zapravení hrachové slámy a přísun dusíku hlízkovými bakteriemi.

Tabulka 4 vstup živin na pozemku 2

| Datum | Hnojivo | MJ/ha | kg N/ ha |
|--------|-----------------------------|--------|----------|
| 30.VII | sláma hrachu | 3,33 t | 50 |
| 20.IX | Amofos NP 12-52 | 1 q | 12 |
| 02.III | LOVOFERT LAD 27 | 1,5 q | 40,5 |
| 11.III | Kieserit granulát | 1 q | 0 |
| 14.IV | LOVOFERT LAD 27 | 2,5 q | 67,5 |
| 23.IV | Borosan forte | 0,4 l | 0 |
| 23.IV | MICRIKOMPLEX Cu-Mn- Zn | 1,5 l | 0 |
| 23.IV | Yara tera KRISTA MgS | 5 kg | 0 |
| 09.V | Močovina | 5 kg | 2,3 |
| 09.VI | Borosan forte | 0,3 l | 0 |
| 09.VI | Yara tera KRISTA MgS | 3kg | 0 |
| 09.VI | Yaravita Zintrac 700 | 0,25l | 0 |
| 09.VI | Yaravita Zintrac Coptrac | 0,2l | 0 |
| celkem | | | 172,3 |

4.1.5.2.3 Půdní blok Hlíňák

V tabulce 5 jsou vypsány vstupy živin na půdním bloku Hlíňák. Jsou zde uvedeny jednotlivé použité dávky přípravků na jeden hektar a u dusíkatých hnojiv je uveden přínos dusíku. Do sumy dusíku jsem zde započtl i přísun dusíku ze zapravení řepkové slámy.

Tabulka 5 vstup živin na půdním bloku 3

| Datum | Hnojivo | MJ/ha | kg N/ ha |
|--------|----------------------------|-------|----------|
| 17.VII | sláma olejnin | 4,8 t | 31,68 |
| 20.IX | Amofos NP 12-52 | 1q | 12 |
| 02.III | LOVOFERT LAD 27 | 1q | 27 |
| 11.III | Kieserit granulát | 1q | 0 |
| 24.III | LOVOFERT LAD 27 | 2q | 54 |
| 13.IV | MICRIKOMPLEX Cu-Mn- Zn | 1,5l | 0 |
| 13.IV | Yara tera KRISTA MgS | 5 kg | 0 |
| 20.IV | LOVOFERT LAD 27 | 1q | 27 |
| 24.V | Močovina | 3kg | 1,4 |
| 24.V | Borosan forte | 0,3l | 0 |
| 24.V | Yara tera KRISTA MgS | 3kg | 0 |
| 24.V | Yaravita Zintrac 700 | 0,25l | 0 |
| 24.V | Yaravita Zintrac Coptac | 0,2l | 0 |
| celkem | | | 153,08 |

4.2 Odběr vzorků

Odběr půdních vzorků a měření vybraných analýz na místě proběhlo 27.10.2021 v založeném a vzešlém porostu. Poté se na plochy jezdilo měřit a odebírat vzorky pravidelně každý měsíc od března 2022 do července 2022. Pro účely našeho měření jsme si stanovili na každé ploše dvě zóny odběrů a měření, jedna byla přímo na povrchu půdy mezi porostem pšenice a pro druhou byla vždy vyhloubena nová půdní sonda do hloubky 25 centimetrů. Na každém stanovišti se provedl odběr porušeného půdního vzorku na analýzu stability půdních agregátů WSA, dále porušený půdní vzorek na chemické analýzy. Odebírali jsme tři kopeckého válečky. Dalším měřením na místě bylo měření minidisk infilometry. Dalším měřením přímo na místě bylo měření aktuální vlhkosti vpichovým vlhkoměrem a měření penetrometrického odporu.

4.2.1 Značení vzorků

V tabulce 6 je znázorněno pracovní značení vzorků. V grafech této diplomové práce je použito těchto zkratk, nebo celých názvů předplodin a hodnoty centimetrů hloubky z jaké byl vzorek odebrán.

Tabulka 6 zkratky značení vzorků

| předplodina | | Označení |
|---------------|-------|-------------------------------------|
| Pšenice ozimá | 0 cm | PO10, PO2, PO3, PO4, PO5, PO6, PO7 |
| | 25 cm | PP10, PP2, PP3, PP4, PP5, PP6, PP7 |
| Hrách setý | 0 cm | HO10, HO2, HO3, HO4, HO5, HO6, HO7 |
| | 25 cm | HP10, HP2, HP3, HP4, HP5, HP6, HP7 |
| Řepka ozimá | 0 cm | ŘO10, ŘO2, ŘO3, ŘO4, ŘO5, ŘO6, ŘO7 |
| | 25 cm | ŘP10, ŘP2, ŘP3, ŘP4, ŘP5, ŘP6, ŽŘP7 |

4.3 Analýza vzorků

4.3.1 Příprava vzorků

Pro laboratorní analýzy se porušené vzorky půdy usušily rozprostřeny na tácech v horkovzdušné sušárně při teplotě 40 stupňů. Po usušení se část vzorků přesila na sítěch na cílovou velikost 2-5 milimetrů. Tato frakce se využívala při měření stability půdních agregátů. Pro stanovení chemických vlastností byly vzorky rozdrceny v třecí misce, aby nebyly kontaminovány kovy z mlýnku. Rozdrcené vzorky se přesály na frakci 0-2 milimetry.

Sledované chemické a fyzikální vlastnosti půdy byly stanoveny pomocí běžných laboratorních metod při konstantní teplotě. Výsledkem měření se stanovily tyto chemické vlastnosti: výměnná půdní reakce, aktivní půdní reakce, Zasolení půdy, oxidace organického uhlíku (C_{ox}), obsah $CaCO_3$, stanovení obsahu přístupných živin. Jako fyzikální vlastnosti byly změřeny stability půdních agregátů, zrnitostní složení, specifické hmotnosti půdy (ρ_z), objemové hmotnosti půdy (ρ_d), půdní, pórovitosti (P) a stanovení hydraulických vlastností půdy.

4.3.2 Chemické vlastnosti půdy

4.3.2.1 Půdní reakce

Aktivní půdní reakce se stanovila ve výluhu v destilované vodě. Výměnná půdní reakce byla stanovena ve výluhu $CaCl$. Obě měření proběhla dle znění normy ISO 10390:2005. Do kónických zkumavek bylo odměřeno 5 mililitrů jemnozeme, které se zalili 10 mililitry destilované vody nebo roztoku 1 molárního chloridu vápenatého v závislosti na tom, jestli jsme měřili aktivní pH (pH_{H_2O}) nebo maximální možné (výměnné) (pH_{CaCl}). Vzorky se extrahovaly po dobu 45 minut v třepačce. Zhomogenizovaná směs se nechala ustát a potenciometricky se naměřil záporný logaritmus vodíkových iontů pomocí křemíkové elektrody pémámetru. Vyhodnocení aktivní půdní reakce proběhlo podle tabulky 7 a výměnné pH se zhodnotilo podle tabulky 8

Tabulka 7 Hodnocení aktivní půdní reakce

| pH H ₂ O | 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 8 Hodnocení výměnné půdní reakce

| pH CaCl | hodnocení |
|-----------|-----------------|
| <4,5 | extrémně kyselá |
| 4,6 – 5,0 | silně kyselá |
| 5,1 – 5,5 | kyselá |
| 5,6 – 6,5 | slabě kyselá |
| 6,6 – 7,2 | neutrální |
| 7,3 – 7,7 | alkalická |
| >7,7 | silně alkalická |

4.3.2.2 Salinita půdy

Salinita zkoumaných půd byla kvantitativně stanovena ve vodném výluhu. Pro měření bylo použito 10 gramů jemnozeme, které se zalili 50 mililitrů destilované vody, vzorky se 45 minut homogenizovali na třepačce. Roztok se nechal ustát a přefiltroval se. V přefiltrovaném roztoku byla pomocí konduktometru naměřena specifická vodivost. Obecným pravidlem je, že čím je rozrok slanější, tím více se voda chová elektrolyticky. Soli jsou přirozeným produktem v půdě a vznikají vzájemnou neutralizací opačně nabitých prvků. Typickým příkladem je neutralizace kyseliny zásadou. Zasolení úzce souvisí s pH a obsahem karbonátů v půdě. Jsou důkazy o pozemcích, které se stali silně zasolenými díky silnému zavlažování podzemní vodou plnou minerálů. Hodnocení zasolení proběhlo podle tabulky 9.

Tabulka 9 Tabulka pro hodnocení zasolení (Zbíral 2002).

| Salinita $\mu\text{S cm}^{-1}$ | půdy |
|--------------------------------|------------|
| do 70 | nezasolené |
| 71 -120 | středně |
| Nad 120 | zasolené |

4.3.2.3 Obsah karbonátů v půdě

Bylo provedeno orientační měření karbonátů. Malé množství jemnozeme se nasypalo na hodinové sklíčko a přidal se deseti procentní roztok kyseliny chlorovodíkové. Jelikož byla chemická reakce bouřlivá a dlouhá určil se podle intenzity šumění (rozklad karbonátů v půdě na oxid uhličitý a vodu) viz tabulka 10 na půdu karbonátovou dále se pomocí Jankova vápnoměru změřily přesné obsahy karbonátů. Tato metoda pracuje na principu množství vyprodukovaného oxidu uhličitého z chemické reakce kyseliny chlorovodíkové v uzavřeném prostoru baňky připojené na přístroj se stupnicí vodní hladiny.

Tabulka 10 Vyhodnocování zkoušky na přítomnost uhličitánů.

| Průběh reakce | odhad obsahu uhličitánů |
|----------------------------------|-------------------------|
| šumění sotva znatelné nebo žádné | do 0,3 % |
| šumění silnější, krátce trvající | od 0,3 do 2,0 % |
| šumění silné, déle trvající | nad 2,0 % |

4.3.2.4 Množství organické hmoty v půdě

Obsah organicky vázaného uhlíku bylo provedeno měřením modifikovanou Tjurinovou metodou. Z organické hmoty se zoxidoval chromsírovou směsí organický uhlík za vysoké teploty. Objem nevyužitá chromsírová směs na oxidaci uhlíkuse neutralizuje při titraci daným objemem Mohrovy soli. Mohroval sůl se do vzorku titrovala, do změny elektrické vodivosti vzorku. Z Objemu použité soli se vypočítá obsah uhlíku ve vzorku. Pro měření se navážilo 0,2 g vzorku ve třech opakováních nadávkovalo se 10 ml chromsírové směsi. Takto připravený vzorek se zakryl a po dobu 45 minut zahříval při teplotě 125°C. Dalším krokem bylo vložení Pt elektrod a za stálého míchání se provedla titrace do doby až byla ručička galvanometru trvale vychýlena (Skjemstad & Baldock 2008). Slovní vyhodnocení výsledků se řídilo daty v tabulce 11.

Tabulka 11 Tabulka hodnocení obsahu organického uhlíku a humusu (Zbiral 2002).

| Cox (%) | humus (%) | označení obsahu |
|-----------|-----------|-----------------|
| <0,6 | <1,0 | velmi nízký |
| 0,6 – 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 |

4.3.2.5 Obsah živin v půdě

Pro mě, jakožto zemědělce, bylo z hlediska pěstování zajímavé měření množství živin v půdě. V této práci jsou zveřejněny obsahy živin, které se stanovovaly vyloučením vzorku jemnozeme v extrakčním činidle Mehlich III (Mehlich, 1984). Naměřená data jsou vyjádřena v jednotkách ppm, což znamená že obsahy živin jsou stanoveny jako mg na kg vzorku. Jelikož se jednalo o vzorky středně těžké až těžké půdy, vyhodnocení proběhlo podle následující tabulky 12.

Tabulka 12 Hodnocení obsahu živin

| | FOSFOR | DRASLÍK | HOŘČÍK | VÁPÍK |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| obsah | (mg kg ⁻¹) | (mg kg ⁻¹) | (mg kg ⁻¹) | (mg kg ⁻¹) |
| nízký | do 50 | do 105 | do 105 | do 1100 |
| vyhovující | 51–80 | 106–170 | 106–160 | 1101–2000 |
| dobrý | 81–115 | 171–310 | 161–265 | 20001–3300 |
| vysoký | 116–185 | 311–420 | 266–330 | 3301–5400 |
| velmi vysoký | nad 185 | nad 420 | nad 330 | nad 5400 |

Bylo by velmi zajímavé měření obsahu dusíku, popřípadě jeho formy ponechané po předplodině, to však z objektivních důvodů a správnosti měření nebylo možné, neboť dusík je v půdě velmi nestabilní a hodnoty tohoto měření je extrémně ovlivněno už jen převozem a teplotou při převozu. Zejména při letních odběrech by při převozu vzorků mohlo docházet k zapaření vzorku a následné volatilizaci. Z dosavadních zkušeností však můžeme odhadovat, že nejvíce dusíku bylo na pozemku po hrachu, díky leguminózním bakteriím, které žijí v hlízkách na kořenech luskovin a jsou schopny navázat běžně kolem 30 kg dusíku na hektar. Vyšší obsahy by pravděpodobně byly i po řepce, neboť řepková sláma je jako hnojivo velice kvalitní a má dobrý poměr C: N. Nejnížší hodnoty by byly naměřeny po pšenici, neboť pšeničná sláma má velmi vysoký poměr C: N.

4.3.2.6 Kationtová výměnná kapacita

Jedná se o velmi specifickou vlastnost dané půdy. Pro určení jsou dva způsoby. Jeden je laboratorní měření, tento způsob byl zvolen i v této diplomové práci, neboť je tato varianta spolehlivá a dosti přesná. Druhou variantou je dopočet z obsahu živin, což je rychlejší, ale zejména na karbonátových půdách může vznikat značná chyba v určení. Tabulka 13 znázorňuje podklad pro kvalifikaci KVK.

Tabulka 13 Tabulka hodnocení KVK

| KVK | Mmol (+) / 100 g |
|---------------|------------------|
| Velmi vysoká | >30 |
| vysoká | 30-25 |
| Vyšší střední | 24-18 |
| Nižší střední | 17-13 |
| Nízká | 13-8 |
| Velmi nízká | <8 |

4.3.3 Fyzikální vlastnosti půdy

4.3.3.1 Objemová hmotnost půdy

Ke stanovení objemové hmotnosti půdy se musí zvážit hmotnost vysušeného neporušeného vzorku v kopeckého válečku o přesném objemu 100 cm³. Po naměření se data zpracovla podle následující rovnice 1.

Rovnice 1 výpočet objemové hmotnosti

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} [gcm^{-3}]$$

V tomto vzorečku je V objem vzorku, tedy konstantně 100 cm³ a m_s vyjadřuje hmotnost vysušeného vzorku půdy

4.3.3.2 Specifická hmotnost půdy

Specifickou hmotností půdy (ρ_z) se analyzuje za pomoci pyknometru. Zkoumá se hmotnost vzorku půdy o známém objemu při definované teplotě.

4.3.3.3 Pórovitost

Pórovitost půdy (P) je veličina stavu slehlosti půdních částic. Určuje se podíl pórů na objem vzorku. Z výsledků měření pórovitosti lze celkem přesně určit zhutnění půdy. Hodnota pórovitosti lze určit výpočtem podle následující rovnice 2.

Rovnice 2 rovnice výpočtu pórovitosti

$$P[\%] = 100 \times \frac{(\rho_z - \rho_d)}{\rho_z}$$

Kde ρ_z znamená specifická hmotnost půdy a ρ_d = objemová hmotnost půdy (Zbíral 2002)

4.3.3.4 Zrnitost půdy

Měření zrnitosti se provádělo pomocí hustoměrné metody. Vzorek se musel připravit na měření rozvařením půdních agregátů s přidavkem hexametafosfátu sodného. Do laboratorní misky se převedlo 10g jemnozemě, zalilo 10 ml činidla a 10 ml destilované vody. Poté se vzorky převařily a po převaření nechaly vystydnout. Po vychlazení byly vzorky převedeny do odměrných válců o dosycen destilovanou vodou na hladinu 1000 ml. Po důkladném utvoření

suspevze ihned po vyjmutí míchadla z válce byl vložen hustoměr, který jsme po první 4 měření ponechali ve válci. Pro další měření se už z válce vyjímal. Od prvního výsledku R_1 byla spuštěna časomíra a v jednotlivých měřeních se kromě hustoty měřila i teplota. Naměřená data hustot roztoků byla zpracována a byl určen procentuální obsah jednotlivých půdních frakcí a dále se vypracovaly zrnitostní křivky. (Gee & Or 2002) Slovní vyhodnocení bylo provedeno podle Novákova klasifikačního systému viz tabulka 14.

Tabulka 14 Klasifikační stupnice půd podle Nováka (Zbiral 2002)

| obsah částí <0,01 mm | Označení frakce | Označení druhu půdy |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| <10 % | Písčítá (P) | Lehká půda |
| 10–20 % | Hlinitopísčítá (HP) | Lehká půda |
| 20–30 % | Písčitohlinitá (PH) | Středně těžká půda |
| 30–45 % | Hlinitá (H) | Středně těžká půda |
| 45–60 % | Jílovitohlinitá (JH) | Těžká půda |
| 60–75 % | Jílovitá (JV) | Těžká půda |
| >75 % | Jíl (J) | Těžká půda |

4.3.3.5 Stabilita půdních agregátů

Stabilita půdních agregátů se stanovila u vzorků odebraných ve všech měsících odběru. Navázilo se 4 g jednotlivých vzorků jemnozemě o frakci 1-3 mm do proplavovacích misek zařízení „WetSievingApparatus“. Tyto specifické misky se sítky na dně se rychlostí 35 pohybů za minutu namáčely v miskách s destilovanou vodou po dobu tří minut. Po uplynutí třech minut se misky s destilovanou vodou a proplavenými rozbitými agregáty vyměnil za misky s hexametafosforečnanem sodným. Po promytí zbylých agregátů se misky s vodou i hexametafosforečnanem se v peci při teplotě 110 °C vysušily asi do 3% vlhkosti. Při hodnocení pracujeme zejména s poměrem hmotnosti misky s vodou. (Nimmo & Perkins 2002).

Z naměřených dat se vypočetl index (WSA), který vyjadřuje a vypočetl se jako poměr hmotnosti zbylých vodě odolávajících agregátů a hmotnosti vybraného vzorku, tedy 4 gramy. Celý postup je vyjádřen v následující rovnici 3.

Rovnice 3 výpočet WSA

$$WSA = Wds / (Wds + Wdw)$$

V tomto vzorci znamená WSA whater stability aggregate, tedy poměr ve vodě stabilních agregátů. Wdw je hmotnost rozpuštěných agregátů v destilované vodě, Wds je hmotnost rozrušených agregátů oxidačním činidlem. Výsledný poměr nabývá hodnot 0-1, platí čím vyšší hodnota je naměřena, tím je stabilita půdních agregátů vyšší.

4.3.3.6 Penetrometrický odpor

Penetrometrický odpor se měřil za pomoci ručního penetrometru EIJKELKAMP. Po sestavení penetrometru se provedlo na každé lokalitě vždy minimálně 10 vpichů, aby z množství vpichů bylo možné provést statisticky průkazné měření. Měření proběhlo do hloubky 80 cm, pro účely této diplomové práce jsou ale oříznuty na hloubku 0,45 m. Ze získaných dat byly vygenerovány grafy s průběhem penetrometrického odporu půdy v porovnání mezi variantami. Grafy jsou znázorněny po jednotlivých měsících odběrů. V tabulce 15 jsou kritéria pro hodnocení zhutnění půd.

Tabulka 15 Kritické hodnoty škodlivého zhutnění půd podle (Šimon a Lhotský 1989)

| Půdní vlastnost | Půdní druh | | | | | |
|----------------------|------------|------------------------------|---------|-----------------|-----------------|---------|
| | jíl | Jílovitá až Jílovito-hlinitá | hlinitá | Písčito-hlinitá | Hlinito-písčité | písčité |
| Penetrační odpor MPa | 2,8-3,2 | 3,2-3,7 | 3,7-4,2 | 4,5-5,0 | 5,5 | 6,0 |
| Při vlhkosti % hm | 28-24 | 24-20 | 18-16 | 15-13 | 12 | 10 |

4.3.4 Stanovení hydraulických vlastností půdy

4.3.4.1 Polní měření

Přímo na stanovištích bylo provedeno měření nenasyčeného vodního proudění za pomoci mini disk infiltrometrů (METER Group 2018). Infiltrometr se skládá ze třech hlavních částí. Horní nádobka s víčkem a trubičkami na nastavení odporu. Další částí je komora se stupnicí, kam lijeme vodu, nebo ethanol. Tuto komoru vavíčujeme polopropustnou membránou. Před měřením naplníme horní komoru vodou, zazátkujeme a cel. petetrometr převrátíme. Nalijeme plnou komoru, což je 90 ml, E 85, popřípadě demineralizovanou vodou. Dalším krokem zazátkujeme membránu a otočený infiltrometr umístíme do nádoby s vodou. Pro měření jsem si připravil na povrchu půdy rovné plošky, čtyři pro ethanol a čtyři pro vodu. Ty se vyrobily sejmutím vrstvy půdy do roviny. Poté byla na povrch nasypána přes síto přesátá tenká vrstvičkou stejné sejmuté půdy. (Kodešová et al. 2010) V metodice pro měření minidisky je sice dáno posypat místo infiltrace jemným pískem, ale řídili jsme se studií (Kodešová et al. 2010) kde je jako vhodnější doporučeno posypat plošky pro infiltrace sejmutou půdou, jelikož ta neovlivní narozdíl od písku měření. Tytéž kroky jsem provedl i v hloubce 25 centimetrů. Bezprostředně před samotným měřením se na trubičce umístěné v horní zádce infiltrometru nastaví požadovaný odpor vodního sloupce. Já jsem pro měření zvolil odpor dva centimetry. Poté se infiltrometry přiložili na půdu v čase nula a po třiceti sekundách jsem zapisoval hodnoty obsahu infiltrometrů do takzvaně ustáleného proudění. Po přepsání dat do počítačové podoby se data vložila do vzorců a vypočetl se KS WOODING. Na obrázku 8 je zachycen průběh měření minidisk infiltrometry na ploše po řepce. Jedna ze zachycených osob měří infiltrace ethanolu a druhá vody. Hodnoty naměřené minidisk infiltrometry se zhodnotily podle Woodinga (1968). Na obrázku 9 je zachycen průběh měření.



Obrázek 9 Pohled na měření nenasycených infiltrací

4.3.4.2 Laboratorní měření hydraulických vlastností

Na místě byly v měsících říjen, březen, květen a červenec odebrány Kopeckého válečky o objemu 100 cm³. Tyto válečky se po odběru zavřely víčky, aby se z nich neodpařovala voda a neodpadla zemina. Před měřením byly kopeckého válečky nasyceny a umístěny do přetlakového hrnce. Po uzavření hrnce se válečky s vzorky vystavily různým tlakům (-1, -40, -100, -300, -700, -2000, -5000, -8000 a -15000 MPa. (Dexter, 2004 a Dexter a Czyz, 2008). Z měření při jednotlivých tlacích se zvážení vzorku zjistilo, kolik vody ve vzorcích zůstalo navázáno. Pro mou diplomovou práci byl stanoven index repelence (RI). Hodnocení indexu repelence bylo provedeno dle tabulky 16.

Tabulka 16 Klasifikace indexu repelence (Iovino et al. 2018).

| Hodnota indexu repelence | Kategorie | Zařazení půdy |
|--------------------------|-----------|----------------------------|
| $RI < 1,95$ | 1 | smáčivé půdy |
| $1,95 \leq RI < 10$ | 2 | mírně vodoodpudivé půdy |
| $10 \leq RI < 50$ | 3 | středně vodoodpudivé půdy |
| $50 \leq RI < 110$ | 4 | silně vodoodpudivé půdy |
| $RI \leq 110$ | 5 | extrémně vodoodpudivé půdy |

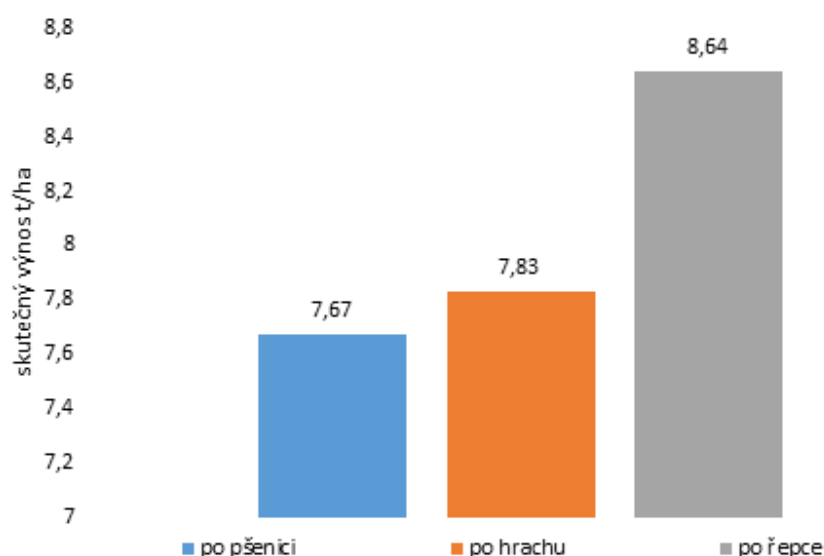
5 Výsledky

5.1 Výnosové parametry plodiny

Jelikož byl zkoumán vliv předplodiny na následující plodinu, byly během žní odebrány vzorky obilovin a získány výnosové hodnoty na jednotlivých půdních blocích.

5.1.1 Výnos hlavní komodity

Jako základní a nepedologické výsledky jsem zanalizoval hektarové výnosy na jednotlivých plochách. Na grafu, který je znázorněn na obrázku číslo 10 je zřetelně vidět, že nejvyšší hektarový výnos byl dosažen na ploše Hlíňák, tedy varianta po řepce. Mezi výnosem po pšenici a po hrachu není rozdíl tak markantní oproti srovnání obou variant s variantou po řepce. Z výsledků statistického šetření ANOVA Tukeyův HSD test je patrné, že mezi pozemky po pšenici a hrachu není ve výnosu statisticky významný rozdíl, zato po řepce je statisticky významný rozdíl v porovnání s oběma zbylými variantami. Toto šetření je vyoobrazeno v tabulce číslo 17.



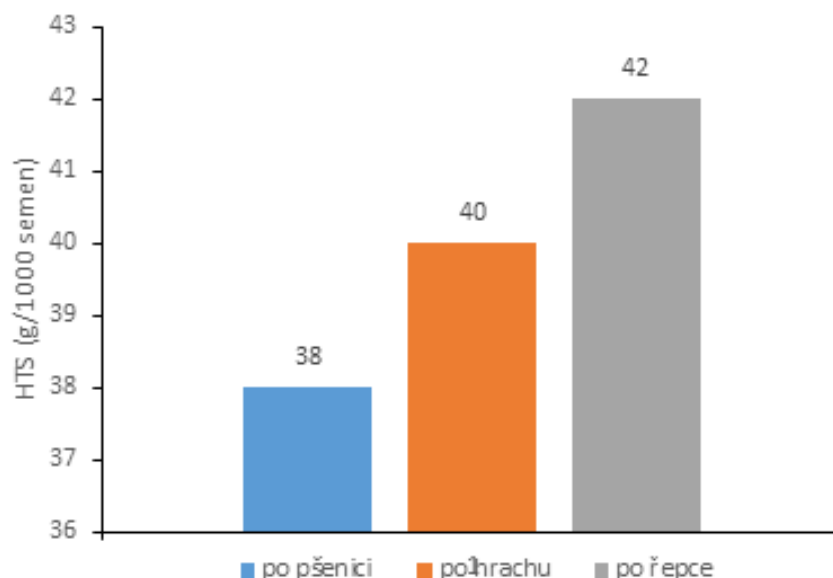
Obrázek 10 Graf výnosu pšenice ozimé po jednotlivých předplodinách

Tabulka 17 Statistické šetření hodnot výnosu

| Č. buňky | Tukeyův HSD test; proměnná výnos (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00490, sv = 6,0000 | | | |
|----------|---|----------|----------|----------|
| | varianty | 1 | 2 | 3 |
| | | 7,6700 | 7,8300 | 8,6400 |
| 1 | po pšenici | | 0,069993 | 0,000227 |
| 2 | po hrachu | 0,069993 | | 0,000232 |
| 3 | po řepce | 0,000227 | 0,000232 | |

5.1.2 Hmotnost tisíce semen

Jako druhou nepedologickou analýzu jsem si vybral hmotnost tisíce semen. Na obrázku 11 je zřetelné, že se hmotnost mezi variantami mírně liší. Obět nejlepší hodnoty vykazovala pšenice po řepce, nicméně rozdíly mezi vzorky byly velmi nízké. Z šetření ANOVA Tukeyův HSD test viz. Tabulka 18 vychází najevo, že mezi jednotlivými variantami není statisticky významný rozdíl.



Obrázek 11 Graf HTS pšenice ozimé po jednotlivých variantách

Tabulka 18 výsledky statistického šetření HTS

| Č. buňky | Tukeyův HSD test; proměnná HTS (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 190,14, sv = 6,0000 | | | |
|----------|---|----------|----------|----------|
| | varianta | 1 | 2 | 3 |
| | | 28,667 | 40,000 | 52,833 |
| 1 | po pšenici | | 0,599864 | 0,160383 |
| 2 | po hrachu | 0,599864 | | 0,527043 |
| 3 | po řepce | 0,160383 | 0,527043 | |

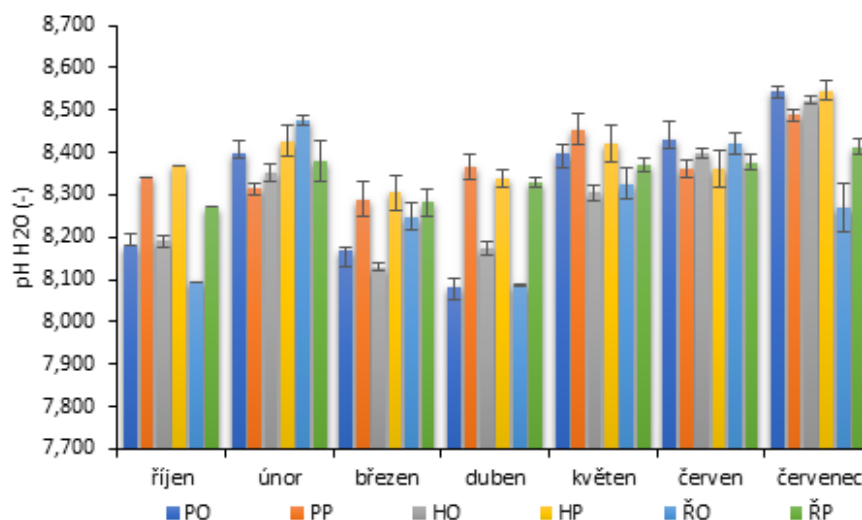
5.2 Výsledky měření půdních vzorků

Pro účely této diplomové práce bylo provedeno velké množství měření. Jelikož jsou výsledky poměrně obsáhlé, jsou pro seznámení se s výsledky v této kapitole užity především grafy a tabulky z programu Statistika, některé výsledky jsou přiloženy formou samostatných příloh.

5.2.1 Chemické vlastnosti

5.2.1.1 Aktivní půdní reakce

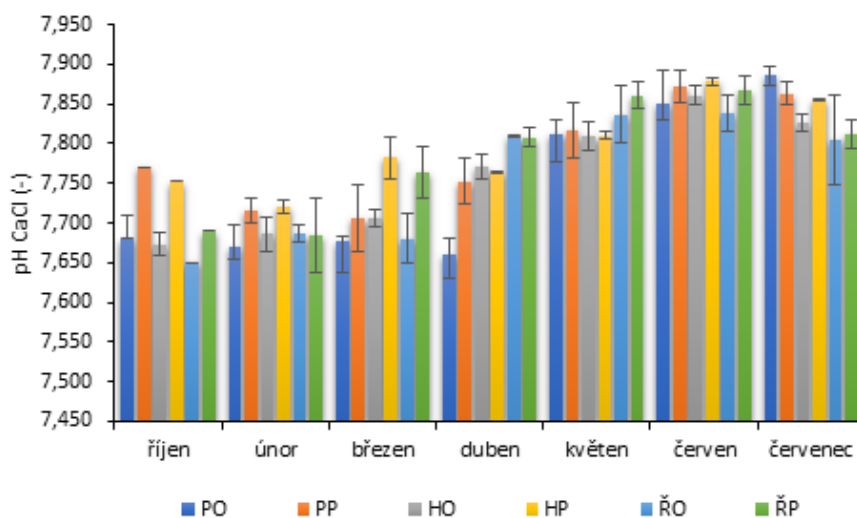
Na hodnotách pH H_2O zobrazených na obrázku 12 jsou patrné rozdíly mezi vrchní vrstvou půdy a vrstvou spodní. V hloubce 25 cm je díky přiblížení k matečné hornině zásaditější pH. Tento jev je témš u všech variant a měření. V datech z povrchu ornice je viditelný mírný nárůst v únoru, a poté klesání po aplikaci hnojiv v měsíci březnu a dubnu. Hodnoty pH jsou obecně poměrně vysoké, převyšující pH 8. Tento jev je zapříčiněn původem půdy a množstvím karbonátů.



Obrázek 12 Graf aktivní půdní reakce

5.2.1.2 Výměnná půdní reakce

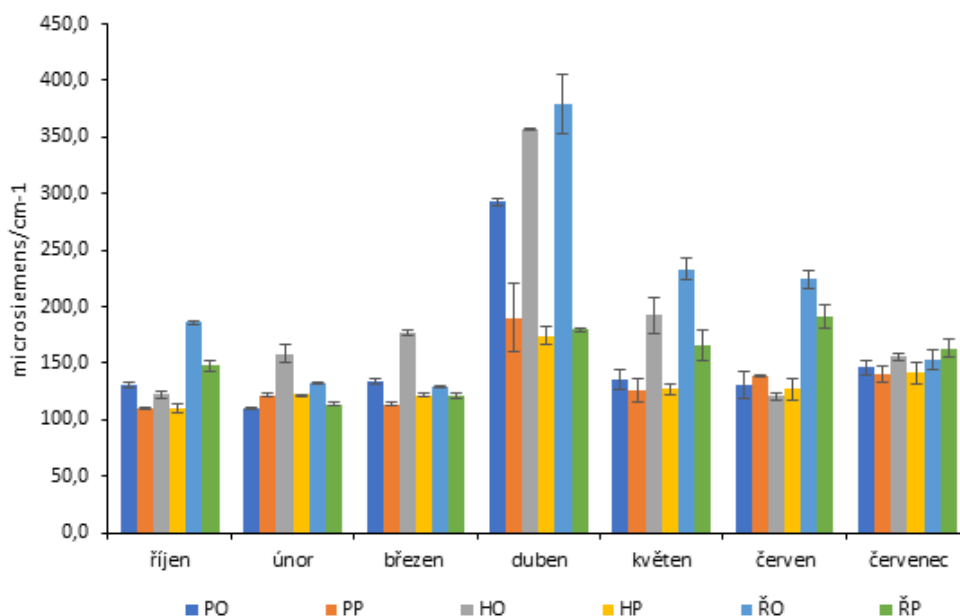
Na grafu vyobrazeném na obrázku 13. Je viditelný vzestup pH od měsíce dubna. Tam je asi nejvíce statisticky prokazatelný rozdíl mezi předplodinami. Po pšenici je nejnižší pH o hodnotě 7,65, jako druhé vyšlo po hrachu, o hodnotě 7,75 a nejvyšší po řepce o hodnotě 7,8.



Obrázek 13 Graf výměnné půdní reakce

5.2.1.3 Půdní salinita

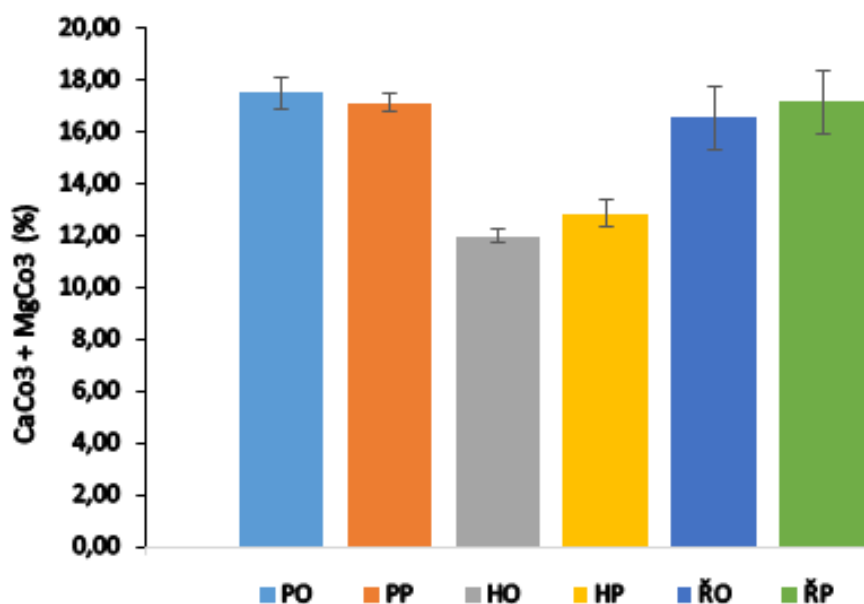
Hodnoty salinity půd jsou znázorněny na grafu číslo 14. Z hodnot měření míry zasolení je zřetelné, že půdy obsahují velké množství solí, což je částečně zapříčiněno vlastnostmi a původem půdy. Půdy při naměřeném minimu vykazovaly hodnoty na horní hranici pro kvalifikaci zasolení. Během sledovaného období, byly naměřeny nejnižší hodnoty mezi variantami PO a PP. Během podstatné části sledování byly nejzasolenějšími variantami ŘO a ŘP. Tento trend byl statisticky průkazný v říjnovém měření, poté se salinita výrazně snížila a radikálně narostla v dubnu. Během května a června salinita klesala až do července, kdy u variant PO, HO, ŘO se neprojevil statistický rozdíl. Statistický významný rozdíl se v červenci neprojevil ani u variant PP, HP, jen varianta ŘP byla mírně slanější. Obdobím, kde byl rozdíl nevýšší bylo měření v dubnu. Hodnoty zasolení byly ovlivněny aplikací průmyslových hnojiv. Výsledky měření PP, HP a ŘP nevykazují statisticky významný rozdíl. Významný rozdíl nebyl ani mezi variantami HO a ŘO, které se vlivem hnojiv zvýšily a atakovaly hodnoty $380 \mu\text{S cm}^{-1}$. Poměrně významný rozdíl byl mezi PO a HO s ŘO. Hodnoty PO se blížily k $300 \mu\text{S cm}^{-1}$, zatímco HO a ŘO zmiňovaným $380 \mu\text{S cm}^{-1}$.



Obrázek 14 Graf půdní salinity

5.2.1.4 Obsah karbonátů

V grafu 15 jsou znázorněny hodnoty karbonátů. Jsou patrné vysoké obsahy. U variant po pšenice a po řepce nejsou hodnoty statisticky významné. Na části pozemku, kde byl hrách byl statisticky významně nižší obsah, ta je však zapříčiněna vlastností půdy a ne použitou plodinou či předplodinou. Statistické údaje jsou znázorněny v tabulce číslo 19.



Obrázek 15 Graf obsahu karbonátů

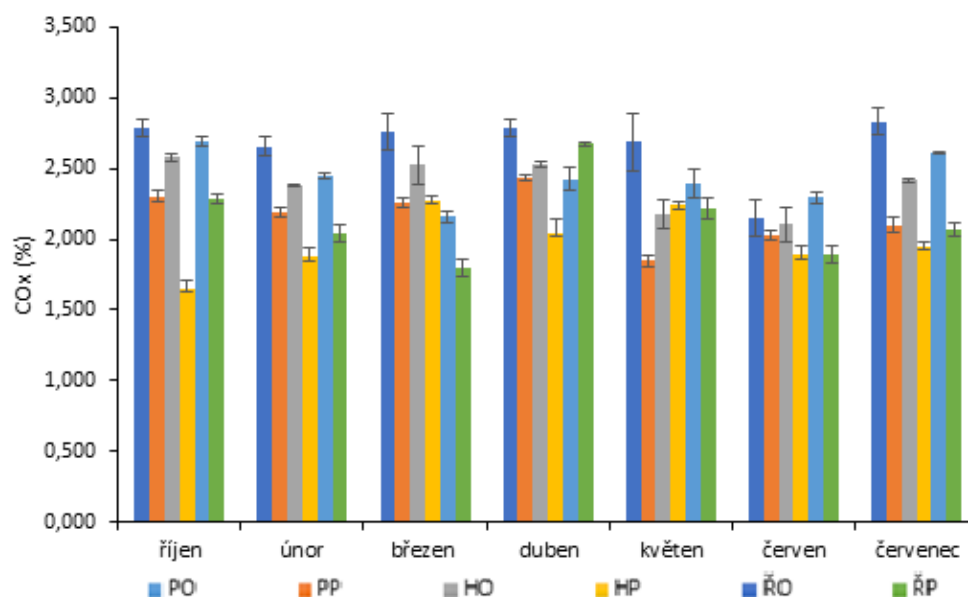
Tabulka 19 statistické šetření hodnot obsahu uhličitánů

| Č. buňky | Tukeyův HSD test; proměnná výsledky (Tabulka 1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,96905, sv = 12,000 | | | | | | |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | varianta | 1 17,505 | 2 17,113 | 3 11,979 | 4 12,860 | 5 16,544 | 6 17,140 |
| 1 | PO | | 0,995773 | 0,000319 | 0,001069 | 0,830725 | 0,996989 |
| 2 | PP | 0,995773 | | 0,000503 | 0,002133 | 0,977270 | 1,000000 |
| 3 | HO | 0,000319 | 0,000503 | | 0,874091 | 0,001223 | 0,000486 |
| 4 | HP | 0,001069 | 0,002133 | 0,874091 | | 0,006468 | 0,002031 |
| 5 | ŘO | 0,830725 | 0,977270 | 0,001223 | 0,006468 | | 0,972371 |
| 6 | ŘP | 0,996989 | 1,000000 | 0,000486 | 0,002031 | 0,972371 | |

5.2.1.5 Stanovení obsahu organického uhlíku

Stanovení obsahu humusových látek bylo provedeno metodou oxidování organického uhlíku ve vzorku. Z hodnot CO_x, které jsou v grafu 16 lze následně určit obsah humusu a slovní hodnocení. Vzhledem k tomu, že se hodnoty vyskytují v limitech 1,7 % -2,9 % CO_x lze tvrdit, že obsah humusových látek byl při všech měřeních vysoký. Při porovnání povrchu půdy a hlubším odběrem je vidět, jak obsah humusu s hloubkou klesá. To je v souladu s minimalizačními technologiemi, kdy se rostlinné zbytky ponechávají na povrchu půdy, nebo jen mělce zapravené. Na hodnotách je vidět, jak kolísají vlivem intenzity mineralizace a množstvím hmoty, která je poskytnuta. Nejvíce uhlíku bylo naměřeno na variantě PO, to je zcela v souladu s množstvím posklizňových zbytků. Na tento fakt navazuje HO s nejmenším

obsahem oxidovatelného uhlíku a mezi těmito variantami se pohybuje ŘO. Sice nejvíce humusu bylo stanoveno u varianty PO, ale s kvalitou organických látek by to bylo naopak.



Obrázek 16 Graf množství organického uhlíku

5.2.1.6 Obsah živin v půdě

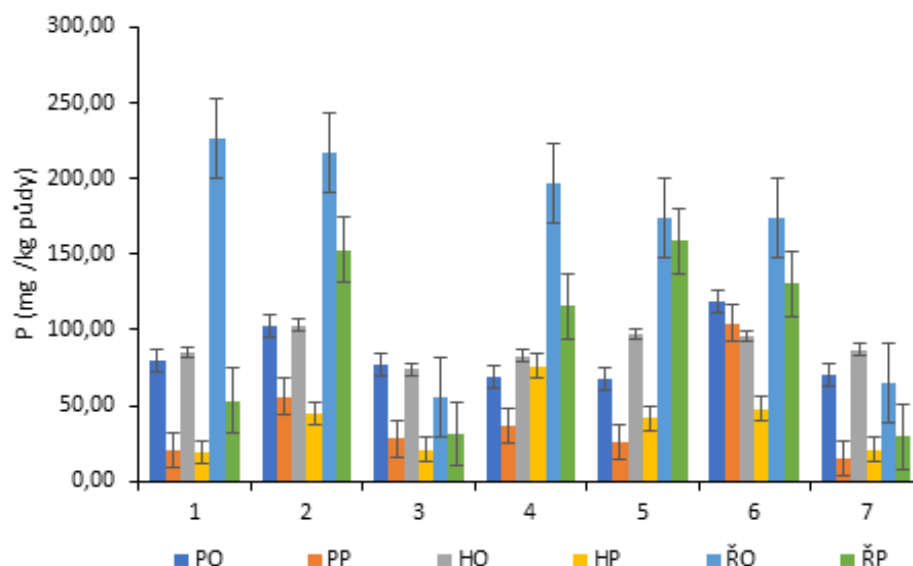
Při posuzování vlivu předplodiny bylo klíčovým měřením stanovení množství živin. Jednalo se o měření pomocí extrakčního činidla melich Melich III. Z tohoto důvodu se změřily obsahy všech živin, bohužel i špatně přístupných pro rostliny, neboť toto extrakční činidlo je velmi agresivní. Byly změřeny obsahy fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku.

5.2.1.6.1 Fosfor

Jelikož bylo v podzimním termínu aplikováno hnojivo AMOFOS v dávce 52 P₂O₅ můžeme vidět na hodnotách v grafu 17 obsah fosforu v půdě vidět mírný nárůst během jara. Dále je viditelný nejvyšší stav obsahu fosforu u varianty po řepce, kde máme podle tabulky 20 vysoký obsah fosforu, zatímco u pšenice jen dobrý a hrachu dokonce nízký stav. V měsíci březnu je zajímavý pokles hodnot u všech variant, který si vysvětlují nejvyšším odběrem rostlinami. Od dubna se všechny hodnoty navyšují, což může být nižším odběrem rostlinami a také probíhající mineralizací organických látek.

Tabulka 20 Tabulka Hodnocení obsahu fosforu (ÚKZÚZ 2000)

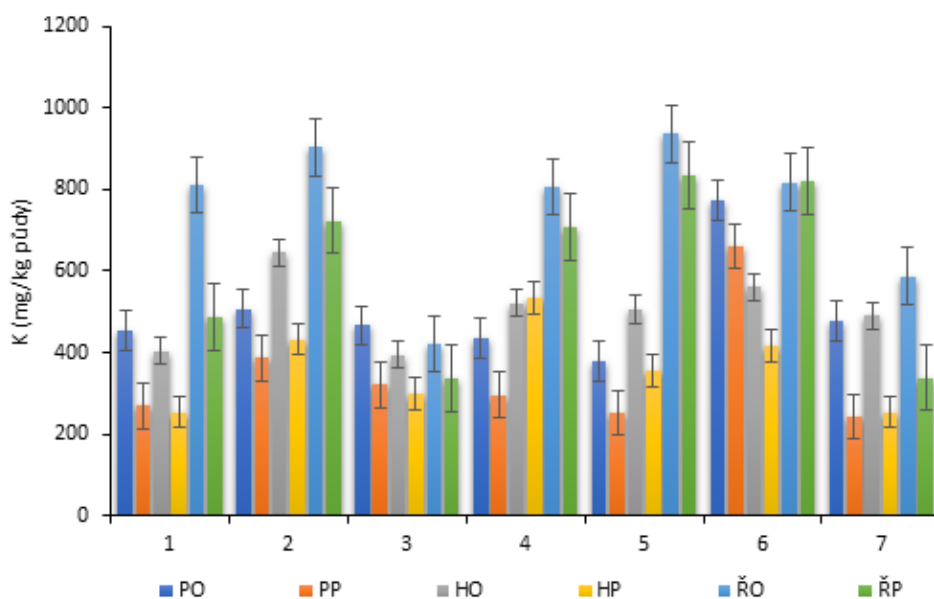
| Živina | Půdní druh | Obsah přístupných živin (mg/kg) | | | | |
|--------|-------------|---------------------------------|------------|--------|---------|--------------|
| | | nízký | vyhovující | dobrý | vysoký | Velmi vysoký |
| Fosfor | univerzální | Do 50 | 51-80 | 81-115 | 116-185 | Nad 185 |



Obrázek 17 Graf obsahu fosforu

5.2.1.6.2 Draslík

Z výsledků obsahu draslíku viz. Graf 18, je patrné, draslík má vyšší hodnoty ve vrchní části ornice než v hloubce. Z odběrů vyplývá poměrně vysoká zásobenost draslíkem, neboť u všech vzorků byl obsah dle tabulky 21 určen jako vysoký. Dále je zajímavé, že nejvyšší hodnoty draslíku zanechala po sobě řepka. Dále je viditelný březnový a dubnový jev odběru rostlinami. Po březnovém minimu, kdy byli hodnoty mezi jednotlivými variantami téměř vyrovnané, v dubnu se významně projevila mineralizace řepkové organické hmoty a březnová aplokace draselného hnojiva kieserit.



Obrázek 18 Graf obsahu draslíku

Tabulka 21 hodnocení obsahu draslíku (ÚKZÚZ 2000)

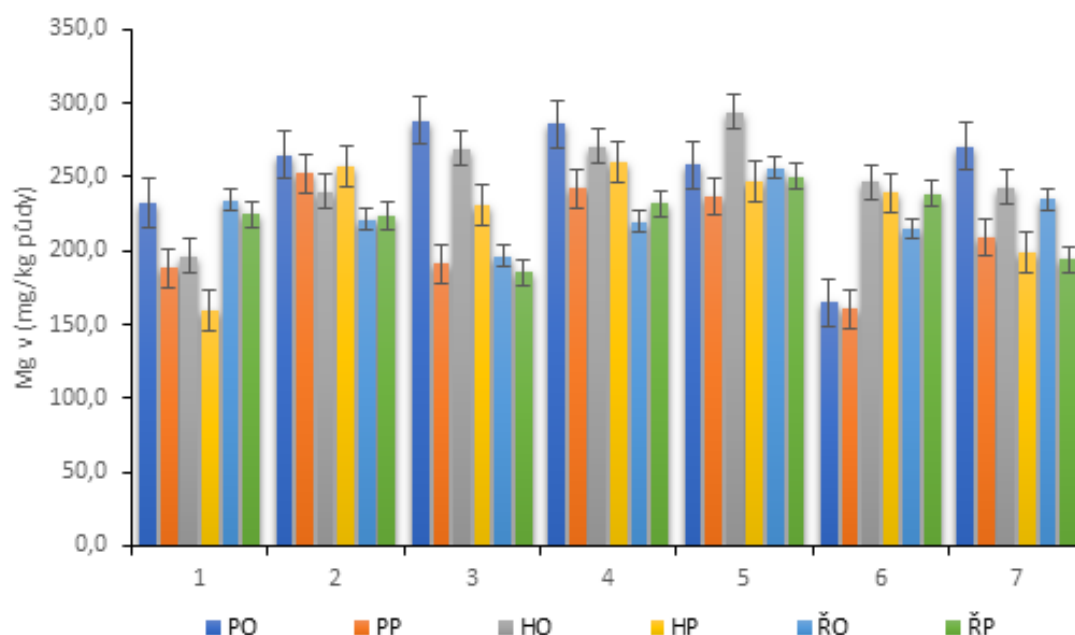
| Živina | Půdní druh | Obsah přístupných živin (mg/kg) | | | | |
|---------|------------|---------------------------------|------------|---------|---------|--------------|
| | | nízký | vyhovující | dobrý | vysoký | Velmi vysoký |
| Draslík | střední | Do 105 | 106-170 | 171-310 | 331-420 | Nad 420 |
| | těžká | Do 170 | 171-260 | 261-350 | 351-510 | Nad 510 |

5.2.1.6.3 Hořčík

Hodnoty hořčíku viz graf 19, se nacházejí v hladinách vyhovující až dobrý. Statisticky významné rozdíly jsou u napříč variantami a měsíci odběru. Je zajímavé, že se liší i obsahy hořčíku v podorníci. Z grafu nelze jednoznačně říci která předplodina je v ohledu na obsah hořčíku lepší, neboť se během mineralizace obsahy značně liší. Hodnocení obsahu lze provést podle taboolky 22.

Tabulka 22 Hodnocení obsahu hořčíku (ÚKZÚZ 2000)

| Živina | Půdní druh | Obsah přístupných živin (mg/kg) | | | | |
|--------|------------|---------------------------------|------------|---------|---------|--------------|
| | | nízký | vyhovující | dobrý | vysoký | Velmi vysoký |
| Hořčík | střední | Do 105 | 106-160 | 161-265 | 266-330 | Nad 330 |
| | těžká | Do 120 | 121-220 | 221-330 | 331-460 | Nad 460 |



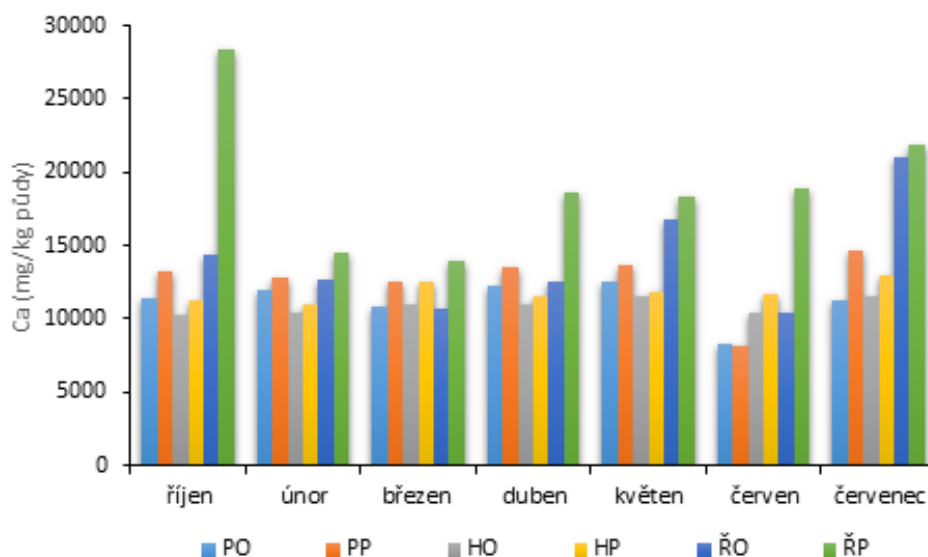
Obrázek 19 Graf obsahu hořčíku

5.2.1.6.4 Vápník

Na grafu 20 jsou vyobrazeny hodnoty vápníku. Hodnoty jsou vlivem přiblížení matečné horniny vyšší v hloubce. U všech vzorků byly podle tabulky 23 obsahy stanoveny jako velmi vysoké. Varianty PO a PP byly mírně vyšší, než varianty HO a HP. Naprosto odlišné byly varianty ŘO a ŘP, kdy v říjnu varianta ŘO byla mírně vyšší než obě varianty v ornici, u varianty ŘP byla naměřena extrémní hodnota 28 500 ppm. Tento fenomén se v brzkých jarních měsících zmírnil, v březnu mezi variantami nebyl shledán statistický rozdíl, při pozdější mineralizaci rostlinných zbytků se od dubna hodnoty opět zvyšovaly. Tento jev si lze vysvětlit jedine mineralizací rostlinných zbytků řepky, která do slámy váže vysoké obsahy vápníku, a rozkladem chlubokých řepkových kořenů.

Tabulka 23 Hodnocení obsahu vápníku

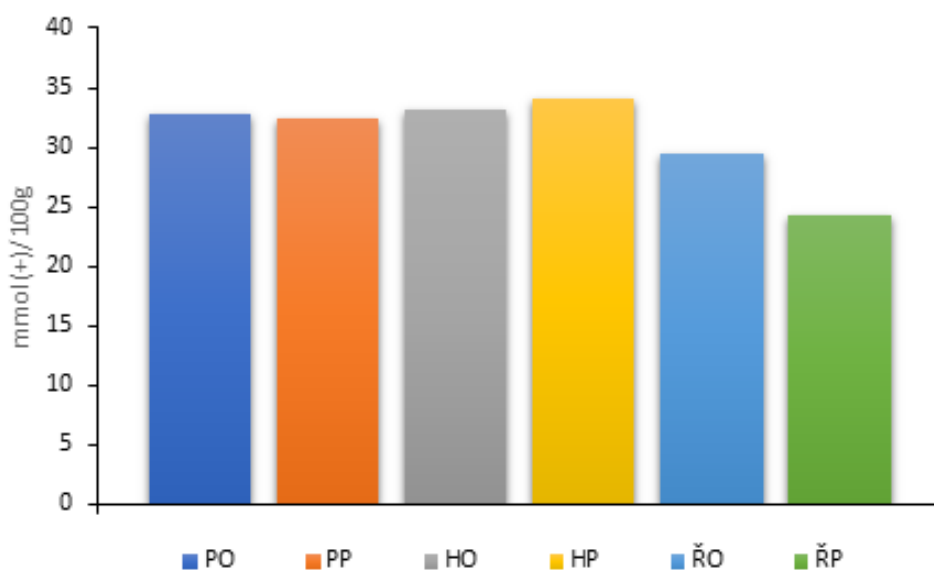
| Živina | Půdní druh | Obsah přístupných živin (mg/kg) | | | | |
|--------|------------|---------------------------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| | | nízký | vyhovující | dobrý | vysoký | Velmi vysoký |
| vápník | střední | Do 1100 | 1100-2000 | 2001-3300 | 3301-5400 | Nad 5400 |
| | těžká | Do 1700 | 1701-3000 | 3001-4200 | 4201-6600 | Nad 6600 |



Obrázek 20 Graf obsahu vápníku

5.2.1.7 Hodnoty KVK

Pro určení vlastností půd bylo stanoveno i KVK. Z grafu 21 je patrné, že půdy mají dosti vyrovnanou kationtovou výměnnou kapacitu, jediné významněji nižší hodnoty vykazuje vzorek ŘP, což je zapříčiněno bližší matečnou horninou. Tento fakt potvrdilo i šetření anova tukeyuv test, který je zobrazen v tabulce 24.



Obrázek 21 Graf kationtové výměnné kapacity

Tabulka 24 Statistické šetření výsledků KVK

| Č. buňky | Tukeyův HSD test; proměnná hodnoty (Tabulka1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 4,0000, sv = 12,000 | | | | | | |
|----------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | varianta | 1 32,805 | 2 32,423 | 3 33,123 | 4 34,082 | 5 24,312 | 6 29,455 |
| 1 | po pšenici 0cm | | 0,999880 | 0,999951 | 0,965540 | 0,002445 | 0,370795 |
| 2 | po pšenici 25 cm | 0,999880 | | 0,997708 | 0,903879 | 0,003504 | 0,490652 |
| 3 | po hrachu 0cm | 0,999951 | 0,997708 | | 0,990079 | 0,001834 | 0,286269 |
| 4 | po hrachu 25 cm | 0,965540 | 0,903879 | 0,990079 | | 0,000822 | 0,118523 |
| 5 | po řepce 25 cm | 0,002445 | 0,003504 | 0,001834 | 0,000822 | | 0,070936 |
| 6 | po řepce 0 cm | 0,370795 | 0,490652 | 0,286269 | 0,118523 | 0,070936 | |

5.2.2 Fyzikální vlastnosti

5.2.2.1 Zrnitost půd

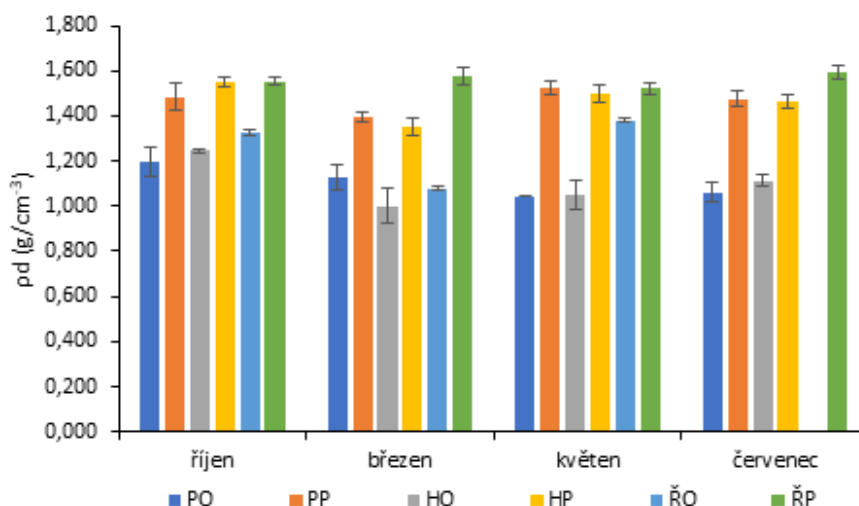
V tabulce 25 se nacházejí naměřené hodnoty zrnitostí půd. Výsledné klasifikace půdního druhu jsou u variant PO, PP, HO, HP, ŘO shodně stanoveny jako jílovitohlinitá půda. U jediného vzorku ŘP byly naměřeny nižší hodnoty jílových částic, proto byl půdní druh stanoven jako půdy hlinitá. Tato odchylka může být zapříčiněna menší hloubkou matečné horniny a z toho důvodu vyššího procenta větších nezerodovaných částec horniny.

Tabulka 25 Tabulka zrnitostního složení půd

| VZOREK | Půdní druh | fyz.jíl | (< 0,01 mm) | (0,01 - 0,05 mm) | (0,05 - 0,1 mm) | (0,1 - 2 mm) |
|--------|-----------------|---------|--------------|------------------|-----------------|--------------|
| PO | jílovitohlinitý | 30,68 | 46,68 | 24,44 | 6,58 | 22,27 |
| PP | jílovitohlinitý | 36,19 | 50,52 | 21,47 | 3,73 | 21,27 |
| HO | jílovitohlinitý | 40,54 | 54,74 | 28,67 | 2,35 | 14,23 |
| HP | jílovitohlinitý | 40 | 48,58 | 17,3 | 4,29 | 29,81 |
| RO | jílovitohlinitý | 36,81 | 47,57 | 23,36 | 6,53 | 22,51 |
| RP | hlinitý | 29,5 | 40,27 | 9,31 | 7,18 | 43,22 |

5.2.2.2 Objemová hmotnost půdy

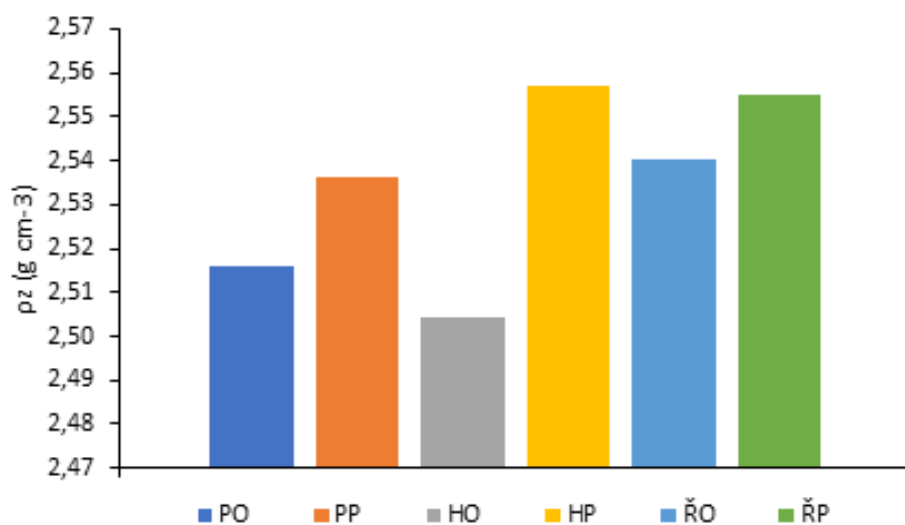
Na grafu 22 jsou znázorněny hodnoty objemové hmotnosti. Hodnoty mezi variantami jsou velmi podobné a není mezi nimi statistický rozdíl, až na variantu ŘP v březnu a červenci, která je vyšší než ostatní.



Obrázek 22 Graf objemové hmotnosti

5.2.2.3 Specifická hmotnost půdy

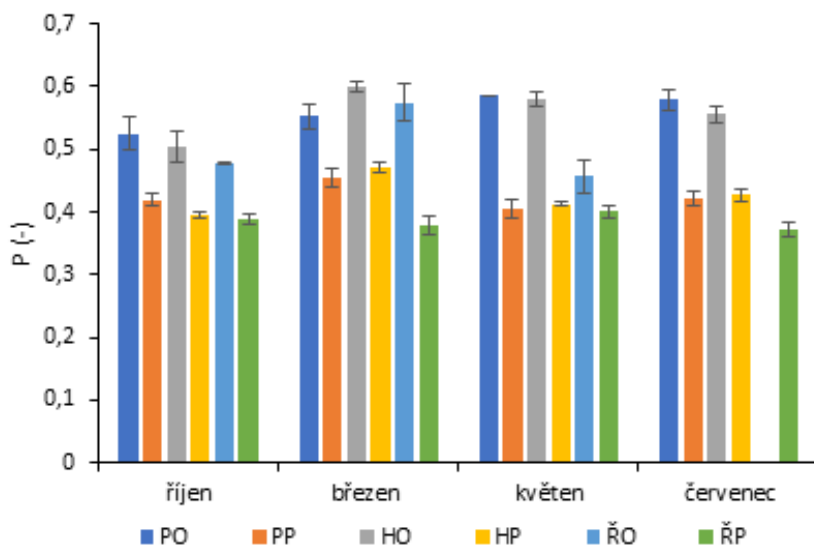
Na grafu 23 je vidět, že půdy byly poměrně podobné. Odchylka mezi nejnižší a nejvyšší hodnotou u orních profilů je maximálně 0,06 g. Hodnoty měření v 25 cm bylo ještě vyrovnanější. Tam se hodnoty lišili o 0,03 g.



Obrázek 23 Graf specifických hmotností

5.2.2.4 Pórovitost

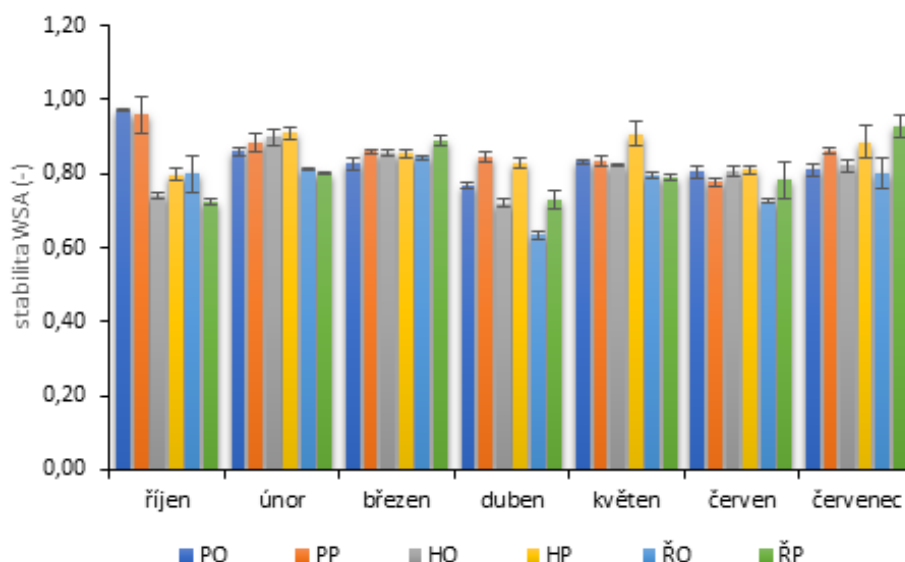
Hodnoty grafu 24 ukazují, že nejvyšší hodnota pórovitosti (P) byla dosažena u variant v ornici, oproti hloubce 25 cm. Nejvyšší pórovitost měl hrách v březnu, 0,6. největší pokles hodnoty byl zaznamenán v květnu kdy mezi PO a HO není statistický rozdíl, ŘO je významně nižší.



Obrázek 24 Graf pórovitosti

5.2.2.5 Stabilita půdních agregátů

Z grafu 25 je patrné, že hodnoty stability agregátů jsou obecně velmi stabilní. PO se v říjnu dokonce rovná 1, to znamená, že se vůbec nerozpadaly. Z vývoje dat je zřetelné. Že nejméně stabilní agregáty byly po řepce. Nejstabilnější působí jako předplodina pšenice. Hrách měl zpočátku nižší hodnoty, později se vyvíjel srovnatelně s pšenicí.

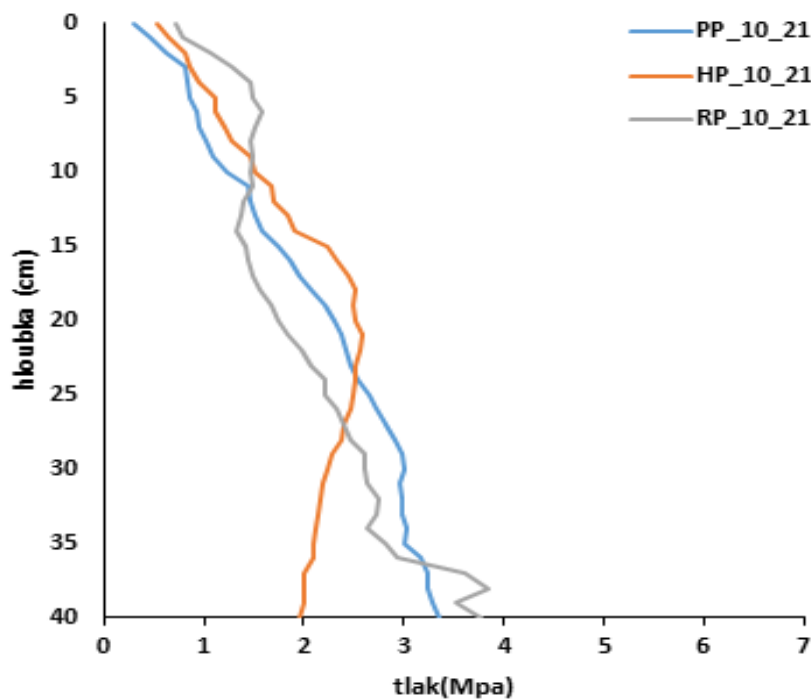


Obrázek 25 Graf stability půdních agregátů

5.2.2.6 Penetrometrický odpor

5.2.2.6.1 Penetrometrický odpor říjen

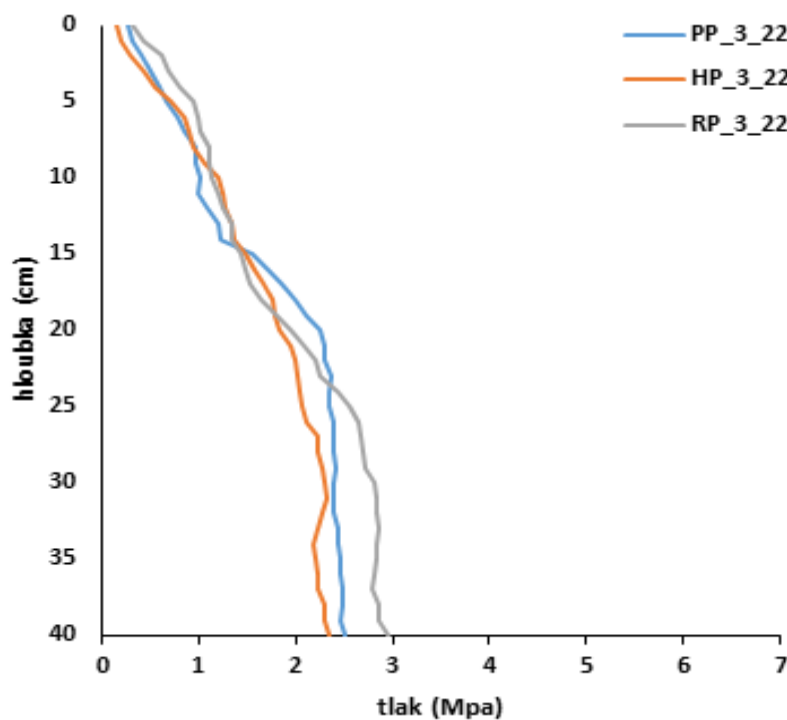
V grafu 26 je vyobrazen průběh říjnového měření. Je zde patrný pozitivní vliv kořenů řepky v hloubce 15-25 cm, poté hodnoty stoupají až v 35 cm překročí kritickou hranici zhutnění. Překvapivým výsledkem byl hrách, kdy v hloubce 15-25 cm měl vyšší hodnoty oproti pšenici, od 25 cm je však velmi pozitivní. Varianta HP během měření nepřekročila kritickou hranici 3,2 MPa křivka variaty PP je poměrně lineární a dosahuje ve 40 cm ke kritické hodnotě.



Obrázek 26 v Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci říjnu

5.2.2.6.2 Penetrometrický odpor března

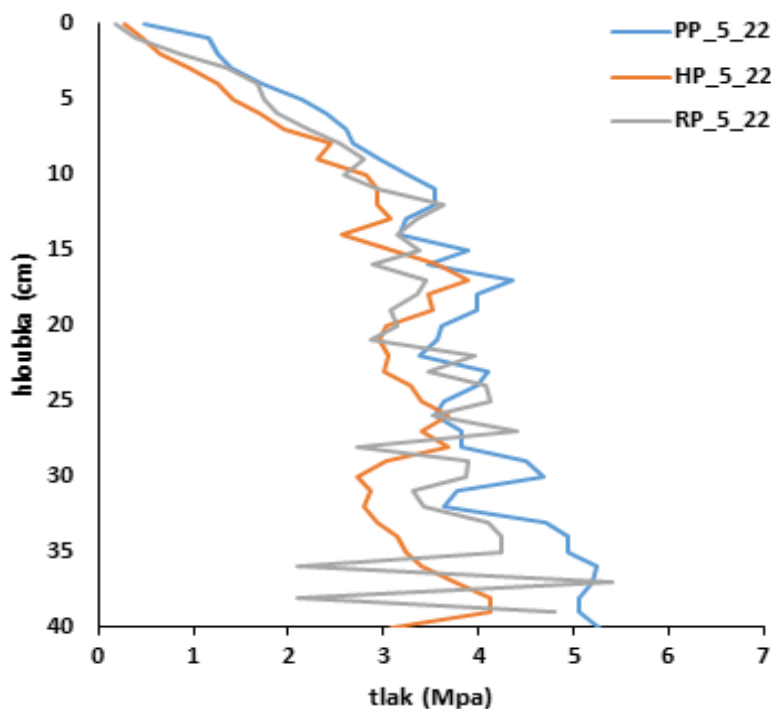
Na grafu 27 je vyobrazeno měření v měsíci březnu. Je zde vidět poměrně vyrovnaný liteární chod hodnot. Hodnoty se navzájem překříží v 15 m a později ještě jednou. V hloubce 40 cm byl nejméně ztuhl pozemek po hrachu, v těsné blízkosti byl pozemek po pšenici nejzthutněnější pozemek byl po řepce, nebyla však dosažena hraniční hodnota 3,2 MPa.



Obrázek 27 Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci březnu

5.2.2.6.3 Penetrometrický odpor květen

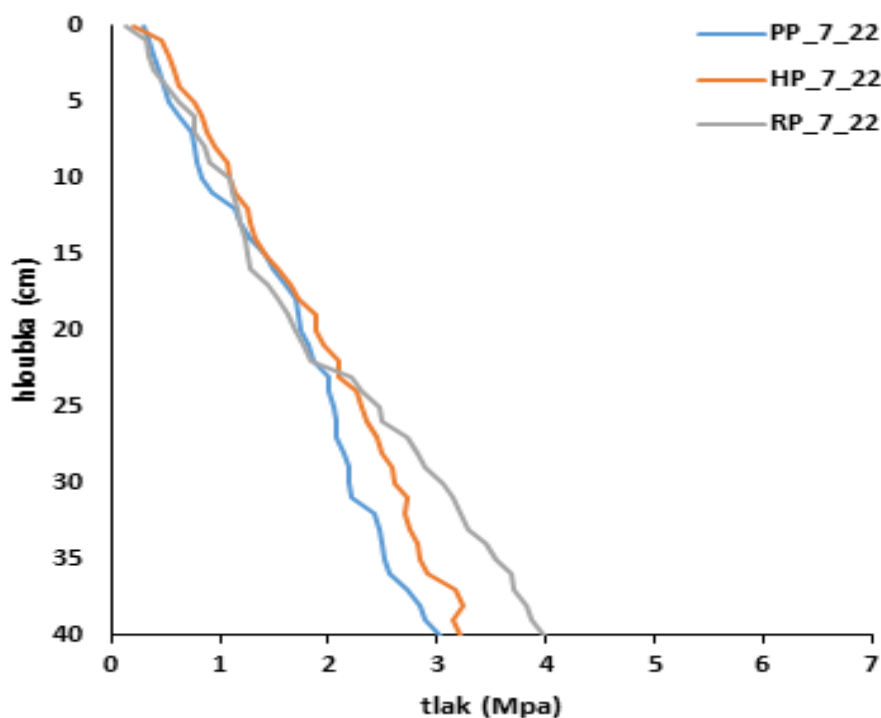
V grafu 28 z měsíce května je zřejmé že penetrometrický odpor byl velmi vysoký. Je to zapříčiněno velikým suchem. Nejutůženěji působí pozemek po pšenici, nejméně po hrachu a mezi nimi po řepce. Jelikož měření neproběhlo v ideální vlhkosti a hodnoty jsou velmi rozkolísány, nelze průkazně říci, která varianta je lepší.



Obrázek 28 Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci květnu

5.2.2.6.4 Penetrometrický odpor červenec

Na grafu 29 jsou vyobrazeny hodnoty z červencového měření. Oproti květnu je zde vyobrazena lineární křivka utužení s narůstající hloubkou. Jako nejméně utužený ve 40 cm byl pozemek po pšenici s hodnotou 3 MPa. V závěsu dvě varianty tedy nepřesáhli hraniční hodnotu. Varianta ŘP kritickou hodnotu zhutnění přesáhla již v 30 cm a zhutnění pokračovalo do 40 cm na hodnotu 4 MPa byla varianta HP s 3,2 MPa v hloubce 40.

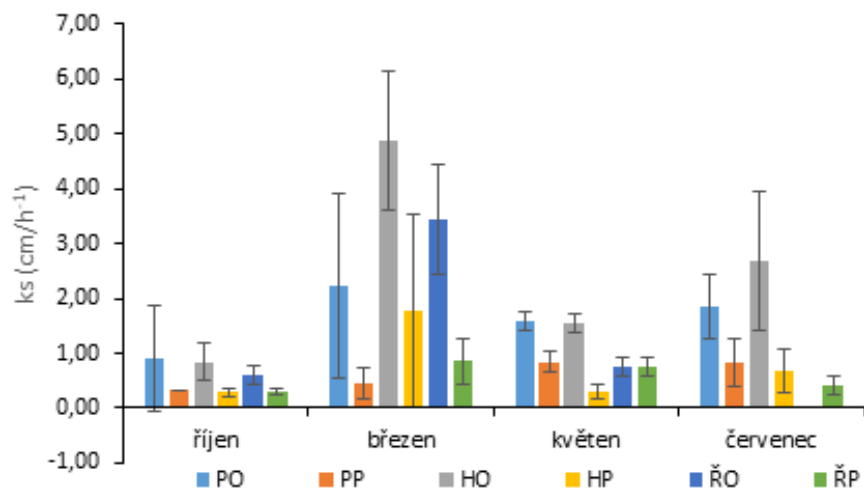


Obrázek 29 Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci červenci

5.2.3 Výsledky hydraulických vlastností půd

5.2.3.1 Nenasycená hydraulická vodivost

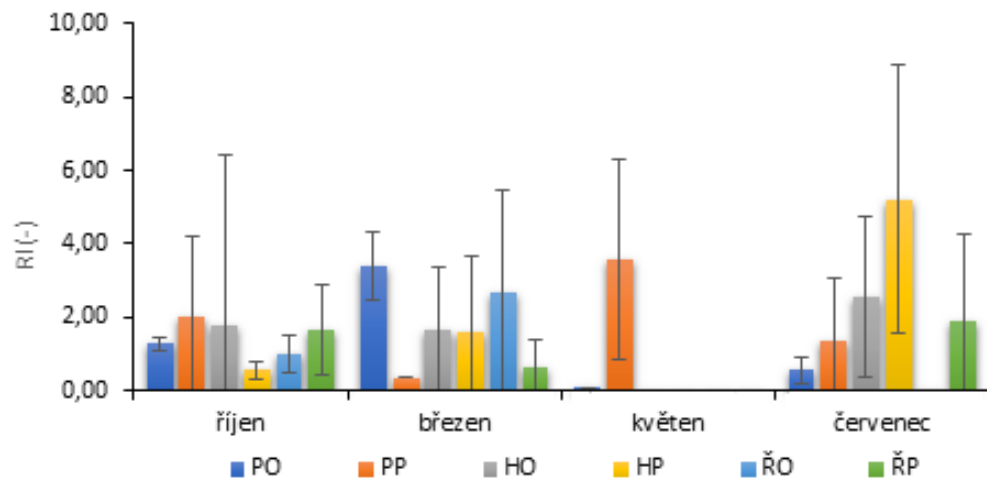
V průběhu terénního měření bylo provedeno měření nenasyčené hydraulické vodivosti minidiskovými infiltrometry. Z naměřených hodnot byly vyjádřeny nenasyčené hydraulické vodivosti (KS) podle normy Wooding (1968). Naměřené hodnoty jsou vyznačeny v grafu 30. Z naměřených dat vyplývá, že téměř ve všech variantách bylo proudění nejvyšší v měsíci březnu. Z grafu je patrné, že nejvyšší infiltrace byla u říjnového měření u pozemku po hrachu. Během měsíců nebyl mezi variantami na povrchu a podorníci žádný statistický rozdíl. Poměrně logicky byly infiltrace v hloubce 25 cm řádově nižší, z důvodu nižší pórovitosti podorníci a měnícím se pdním podmínkám.



Obrázek 30 Graf nenasyčené hydraulické vodivosti podle Woodinga.

5.2.3.2 Index repelence

V grafu 31 je znázorněn chod hodnot indexu repelence. Naměřené hodnoty jsou velmi nízké. Z grafu nelze říci, která varianta má celkově vyšší hodnotu repelence, neboť je chod velmi variabilní, nebo se hodnoty statisticky podobají. Statistická průkaznost byla velmi ovlivněna poměrně velkými směrodatnými odchylkami. U všech variant a odběrů, je určena půda jako mírně vodoodpudivá půda až smáčivá půda.



Obrázek 31 Graf indexu repelence

6 Diskuze

Cílem této diplomové práce bylo, zjistit jaký vliv má především na půdní charakteristiky použití různých předplodin pro pěstování pšenice ozimé. Sledované pozemky byly v poměrně blízko sebe asi 100 m. Z měření průzkumu půd vyplývá, že na všech plochách je shodný půdní typ. Půdní typ byl podle českého klasifikačního systému půd (Němeček et al. 2011) určen za černozem pelická, s matečnou horninou slíny a slínovce, což potvrzuje výzkum (VÚMOP 2023).

6.1 Sledované výnosové parametry pšenice ozimé

V ročníku 2021/2022 bylo nejvíce limitujícím prvkem na výnos, hlavního ale úměrně tomu i vedlejšího produktu pšenice ozimé (*Triticum aestivum*), silné sucho v pozdním jarním období. Deficit srážek měl vliv na rostliny celé jarní období, po fázi metání se však projevil naplno. má nejvíce pozitivní vliv jako předplodina řepka ozimá (*Brassica napus subsp. napus*). Pšenice ozimá (*Triticum aestivum*) je méně vhodná plodina jako předplodina pro pšenici ozimou. Tyto výsledky potvrzuje práce (Kroutil, Prokinová & Vašák 2006). Výnos zrna pšenice po hrachu byl lepší než po obilnině, což potvrzuje studie (Míša & Smutný 2012).

Druhým sledovaným výnosovým parametrem byla hmotnost tisíce semen. Tento parametr je úzce spjat s celkovým výnosem zrna. Z výsledků vyplývá, že nejvyšší HTS bylo naměřeno po předplodině řepce. Jako druhá nejvyšší HTS byla určena u varianty po hrachu. Po pšenici byla HTS nejnižší. Tyto závěry souhlasí se závěry (Míša & Smutný 2012), (Kroutil, Prokinová & Vašák 2006).

6.2 Výsledky analýz půd

Sledované půdní vlastnosti jsem si rozvrhl do dvou částí. Parametry měnící se v dlouhodobém horizontu byly naměřeny pouze pro výzkum půd a možnost srovnání charakteristik mezi stanovišti. Jako druhou množinu měření jsem si zvolil parametry, které se běžně během roku mění, a tudíž jsou z podstatné části ovlivněny výměšky exudátů a růstem rostlin, popřípadě mikroflórou spjatou s danými rostlinami.

6.2.1 Seznamující analýzy

Jako první informativní analýza byla provedena analýza obsahu karbonátů. Půdy byly stanoveny jako vysoce karbonátové, poměrně překvapivým byl statisticky významný rozdíl mezi HO společně s HP a ostatními variantami. Dalším informativním měřením byla analýza KVK. Ta odhalila rozdíl mezi ŘO a ostatními variantami. Z fyzikálních analýz byla stanovena specifická hmotnost. Ta se pohybovala v rozmezí od 2,5 do 2,56 přičemž hodnoty v podorničí byly vždy vyšší než v orniční vrstvě, to souvisí s množstvím norganické hmoty a obsahem jílovcích částic. Jako poslední informativní analýza je zařazena tabulka zrnitostního složení, přičemž se prokázalo odlišné zrnitostní složení u varianty ŘO, což koresponduje s nejnižšími hodnotami KVK.

6.2.2 Výzkumné chemické analýzy

Hodnocení výsledků pH bylo dosti složité, Jelikož se hodnoty mezi variantami během měsíců lišily svým chodem, kdy každý měsíc byla nejkyselější odlišná varianta, nebo mezi variantami nebyl statisticky významný rozdíl. Všechny varianty měli shodný vývoj, kdy se během jara postupně zvyšovalo pH. Hodnoty pH Cacl se v orniční vrstvě pohybovaly na úrovni 7,85. Těchto hodnot nabyli i (Vlček & Pokorný 2005). U hodnot podorníčí se objevovaly hodnoty o několik desetin vyšší, to bylo zapříčiněno přiblížením se k matečné hornině. Salinita půd byla ve všech měřeních dosti vysoká. Z měření vyplývá, že vyšší zasolující vliv měla jako předplodina řepka, zejména po jarním hnojení. Obsah organického uhlíku ukázal, že nejvíce uhlíku zanechala pšenice. Obsahy se blížily hodnotám naměřeným v práci (Černý et al. 2010) s pracemi Obsahy živin draslík, fosfor, hořčík, vápník byly stanoveny v extrakčním činidle Mehlich III (Mehlich 2003). Vyplývalo, že rozkladem rostlinných zbytků řepky bylo do prostředí uvolněno velké množství fosforu, které se zvyšovalo postupně i v podorníčí. Z řepkových pozůstatků se uvolnilo i nejvíce draslíku. U hořčíku byla nejvýznamnější předplodina pšenice. Extrémní nárůst obsahu vápníku se projevil zapravením řepkových pozůstatků. To je v souladu s tvrzením o vápníku v řepce zveřejněném v článku (Černý et al. 2018)

6.2.3 Výzkumné fyzikální analýzy

Z fyzikálních charakteristik byla prostřednictvím kopeckého válečků a v nich odebraných neporušených vzorcích půd, naměřena hodnota objemová hmotnost a s ní spojená půdní pórovitost. Hodnoty pórovitosti byly nižší, než zveřejnil (Vlček et al.) Objemová hmotnost byla nižší v podorníčí než v orniční vrstvě. Naměřené hodnoty byly v souladu s výsledky autorů (Golabi et al., 2007; Abu-Zreig et Al-Widyan, 2002), kteří hodnotili vliv vysokých dávek kompostu z odpadní biomasy na objemovou hmotnost zeminy. Ve výsledcích stability půdních agregátů byl stanoven významný rozdíl mezi stabilitou po pšenici vůči variantě po řepce. V části sledovaného období se hodnoty takřka nelišily a neměly mezi sebou statistický rozdíl. Naměřené hodnoty byly vysoké, neboť podle (Jirků et al. 2013) má na stabilitu půdních agregátů rozhodující vliv množství organické hmoty a užívání bezorebné technologie. Tuto myšlenku potvrzuje ve své práci i (Reicha a Wurlitzera 2004). Pro posouzení vlivu rozkládajícího se kořenového systému na půdní utužení bylo provedeno ve čtyřech termínech měření penetrometrického odporu půdy. Tam bylo hypotézou, že nejvíce pozitivní vliv bude mít jako předplodina porost řepky. Řepkové kořeny a posklizňové zbytky se pozitivně projeví v hloubkách 10-20 cm. Jelikož půdy jsou podle (VÚMOP 2023) náchylné na zhutnění, potvrdilo se tvrzení (Schrader 2004) kde se pojednává o pozitivním vlivu minimalizačních bezorebných technologií na zhutnění půdy, neboť naměřené hodnoty nepřesáhly v orniční vrstvě hraniční mez utužení.

6.2.4 Výsledky hydraulických vlastností

Pro účely této práce byly změřeny nenasycené hydraulické vodivosti pomocí minidisk infiltrometrů. Hodnoty byly silně ovlivněny suchem v jarních měsících. Ze zjištěných dat vyplývá, že u měření na povrchu při třech ze čtyř měření nebyl mezi variantami statisticky

významný rozdíl. Rozdíl se projevil v červnu, a to u ŘO vůči oběma zbylým variantám. U hodnot v podorníci se tento jev opakoval a rozdíl byl opět v květnu, ale tentokrát u varianty HP. Hodnoty byly vyšší, než ve své práci uvádí (Jirků a kol., 2013, Kodešová a kol., 2011 nebo Fér a kol., 2018) z důvodu odlišné půdy. Infiltrace byla nicméně výrazně nižší, než popisuje (Lipiec a kol. 2006)

Výsledky byly hodnoceny podle nově navrženého hodnocení dle Iovino a kol., (2018). Z hodnot indexu repelece nebylo možné jednoznačně určit přímo vliv plodin a stanovit trvalejší logický stav vlastnosti. Ve dvou měřeních se potvrdilo tvrzení, že s narůstající hloubkou index repelece roste. To může být způsobeno zvyšujícím se obsahem hydrofobních sloučenin a výsledek mikrobiální aktivity (Peng et al., 2003). Získaná data jsou nižší, než uvádí (Alagna a kol. 2017). Přítomný obsah organického uhlíku může být také zodpovědný za rozdíly v repelentnosti půdních agregátů, stabilizuje agregáty a v průběhu rychlého smáčení a zvýší odpudivost půdy (Eynard et al., 2006; Raut et al., 2012) Vyšší obsah organických látek působící společně s vyšším pH, zapříčiňuje navýšení rozpustnosti kyselin a snížení povrchového napětí vody (Hurraß a Schau mann, 2006)

7 Závěr

V rámci výzkumu této práce byl na uvedených pozemcích v černozemní oblasti suchého teplého regionu proveden základní pedologický průzkum. Byla vykopána půdní sonda z které vyplývá, že půda je velmi hluboká. Dále bylo v půdní sondě vidět zvětralé podloží vápnitých slínů a slínovců. Přímo na místech výzkumu byly při odběru vzorků naměřeny penetrometrické odpory. Z těch vyplývá, že řepka ozimá má pozitivní vliv na otužení v horizontu 15-25 cm. Dále na místě byly naměřeny nenasycené vodní proudění. Z toho bylo vypočítáno KS WOODING. Z hodnot dat vyplývá, že u měření na povrchu při třech z čtyř měření nebyl mezi variantami statisticky významný rozdíl. Rozdíl se projevil v červnu, a to u ŘO vůči oboum zbylým variantám. U hodnot v podorníci se tento jev opakoval a rozdíl byl opět v květnu, ale tentokrát u varianty HP. Z tohoto důvodu nelze potvrdit hypotézu 1, tedy „Změní se nenasycená hydraulická vodivost půdy v závislosti na použité předplodině“? Tato neprůkaznost dat, může být ovlivněna velmi suchým průběhem klimatických podmínek, který je demonstrován v metodice této práce. Na druhou hypotézu, tedy: Bude statisticky významný rozdíl u půdních vlastností v závislosti na použité předplodině“ lze říci, že u některých analýz jako je obsah živin, COX, salinita byl zaznamenán statisticky významný rozdíl. Nicméně možná z důvodu špatných povětrnostních podmínek nebyl během odběrů a následných měření zjištěn konstantní trend statisticky významného rozdílu u výsledků dat půdní reakce, WSA, pórovitost P. Na otázku potvrzení tvrzení zlepšující předplodiny a zhoršující předplodiny lze dle výsledků výnosových parametrů říci, že řepka jako předplodina má pozitivní vliv na výnos následné plodiny, hrách však nedopadl dle očekávání a dle naměřených výsledků byl je jeho vliv průkazně podobný jako vliv pšenice, která je klasifikována jako zhoršující plodina. Z dat vyplývá, že díky vlivu ročníku je jednoletý pokus nedostačující, nicméně i z něj jdou udělat o vlivu jisté závěry. Lze říci, že jednotlivé předplodiny mají rozdílné vlivy na chemické vlastnosti půd, tím především na následnou plodinu oproti trvalejšímu ovlivnění půdního prostředí. Vliv jednotlivých předplodin na půdu by se pravděpodobně projevil plně až po několikaletém pěstování plodin po sobě.

8 Literatura

Abu-zreig M., Al-widyam, M., (2002). Influence of olive mills solid waste on soil hydraulic properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2002, 33, 3–4, 505 – 517

Almeida et al. 2018. Uma Análise Custo-Benefício de Implantes Dentários Comparado Com o Uso de Retratamento Dentário

Baier J., Baierová V. 1985. Abeceda výživy rostlin a hnojení. SZN, Praha.

Binder R. 1970. Zahrádzanie bystrín a lavín. Bratislava,

Brady N, Weil R. 1999. Soil organic matter The nature and properties of soils.

Carter M. 1988. Equilibrium credit rationing of small farm agriculture
Author links open overlay panel University of Wisconsin, Madison, WI 53706, USA

Cudlín P. et al. 1999. Příčiny snížení vodohospodářské funkce lesa v krajině. Závěrečná zpráva úkolu VaV 610/2/98, DÚ 01/07. České Budějovice, Ústav ekologie krajiny AV ČR, 84 s

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Časová K., Nedvěd V. (2010) Mineral and organic fertilization efficiency in long-term stationary experiments. Department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition, Faculty of Agrobiology, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences in Prague, Prague, Czech Republic

Černý J., Balík J., Kulhánek M., Vaněk V. 2015 b. Půdní úrodnost. Sborník z 21. Mezinárodní konference Racionální použití hnojiv, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha, s. 15 -20.

Černý J., Sedlár O., Kulhánek M., Balík J., Suran P. (2018). VLIV PH PŮDY NA OBSAH VÁPŇÍKU V ROSTLINÁCH OZIMÉ ŘEPKY Česká zemědělská univerzita v Praze

Čuhel J., Malý S. 2013. Půdy jsou kyselé, vyžadují vápnění. *Zemědělec*, ročník XXI, č. 45, Profi Press, Praha, s.23

Dexter A.R. 2004. Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting
Geoderma 120, 215-225.

Dexter A.R., Czyz E.A. 2007. Application of S-theory in study of soil physical degradation and its consequences. *Land Degradation & Development*, 18, 369–381.

- Eynard A., Schumacher T.E., Lindstrom M.J., Malo D.D., and Kohl R.A., 2006. Effects of aggregate structure and organic C on wettability of Ustolls. *Soil Till. Res.*, 88, 205-216.
- Fér M, Kodešová R, Hroníková S, Nikodem A. 2020. The effect of 12-year ecological farming on the soil hydraulic properties and repellency index. *Biologia* 75:799-807.
- Fér, M., Kodešová, R., Nikodem, A., Jelenová, K., Klement, A. 2018. Influence of soil water content on CO₂ efflux within the elevation transect heavily impacted by erosion. *Ecohydrology*. 2018e
- Fér M, Kodešová R, Nikodem A, Jirků V, Jakšík O, Němeček K. 2016. The land use impact on hydraulic properties of Haplic Cambisol. *Biologia* 71:1144-1150.
- Gajda M., Czyż A., Dexter R. 2015. Effects of long-term use of different farming systems on some physical, chemical and microbiological parameters of soil quality. *Int. Agrophys.*, 30, 165-172.
- Gee G., Or D. 2002. Particle-size analysis. Pages 255-294 in Dane JH, Topp GC, editors. *Methods of Soil Analysis. Part 4 – Physical Methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison.
- Golabi M. H., Denney M. J., Iyengar C. (2007). Value of composted organic wastes as an alternative to synthetic fertilizers for soil quality improvement and increased yield. *Compost Science & Utilization*, 2007, 15, 4, 267 – 271.
- Hraško J. 1962. Rozbory pod. Slovenské vydavateľstvo pod hospodárskej literatúry, Bratislava.
- ISO 10390:2005. Soil quality. Determination of pH. standard by British Standard / International Organization for Standardization, 03/22/2005.
- Hurraß J. and Schaumann G.E., 2006. Properties of soil organic matter and aqueous extracts of actually water repellent and wettable soil samples. *Geoderma*, 132, 222-239.
- Hůla, J., Kovaříček, P. a Kroulík M. 2010. Vsakování vody do půdy a povrchový odtok vody u širokořádkových plodin. *Listy Cukrovarnické a Řepářské*, 126 (1). Praha. 5s
- hydrologie podzemních vod. *Academia Praha* 104-21-852
- Javůrek M, Vach M. 2008. Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. *Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha*. ISBN 978-80-87011-57-7
- Jakšík O., Kodešová R. Kubiš A., Stehlíková I., Drábek O., Kapička A. 2015
Soil aggregate stability within morphologically diverse areas. *Catena* 127 (2015) 287–299
- Jakšík O., Kodešová R., Kapička A., Klement A., FÉR M., and Nikodem A. 2016.
Soil & Water Res. 105–113 Using Magnetic Susceptibility Mapping for Assessing Soil Degradation Due to Water Erosion

JANEČEK, M. a kol. 2008. Základy pedologie. 1. vydání. Česká zemědělská univerzita v Praze, 165 s. ISBN 978-80-213-1842-7. Praha

Jandák J. 2003. Cvičení z půdoznalství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.

Jirků V, Kodešová R, Nikodem A, Mühlhanslová M, Žigová A. 2013. Temporal variability of structure and hydraulic properties of topsoil of three soil types. *Geoderma* 204-205:43-58.

Khel T., Vopravil J., Novák P. 2011. Okyselování (acidifikace) půdy. Úroda, ročník LIX, č. 2, Profi Press s.r.o., Praha, s. 78.

Kobrda J., Bičík I., Šefrna L. 2006. Soils and long-term changes of land use in the Czechia. *Geografický časopis*, 58, 2006, 4, 8 figs., 7 tabs., 33 refs.

Kodešová R, Šimůnek J, Nikodem A, Jirků V (2010) Estimation of parameters of the dual-permeability model using tension disc infiltrometer and Guelph permeameter. *Vadose Zone J* 9: 213–225

Kodešová R, Jirků V, Kodeš V, Mühlhanslová M, Nikodem A, Žigová A. 2011. Soil Structure and Soil Hydraulic Properties of Haplic Luvisol used as Arable Land and Grassland. *Soil & Tillage Research* 111:154-161

Kutílek, M., Císlerová, M. a Kuráž V. .1993. Hydropedologie. ČVUT, Praha. 150s

Kulháněk M., Vaněk V., Černý J., Vašák F., Balík J. 2013). Vliv hnojiv na pH půd, potřeba vápnění, faktory ovlivňující potřebu vápnění. Sborník z 19. Mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. ČZU, Praha, s. 33 – 42.

Kroutil P., Prokinová E., Vašák J. (2006). Wheat and Brassica preceding crops - summary of the Three years experiment, Sborník z konference „Prosperující olejniny“,

Kroutil P. Vašák J Prokinová E. 2003. Vliv biofumigačního působení brukvovitých předplodin na ozimou pšenici Česká zemědělská univerzita v Praze.

Krutský N. et al. 1977. Slínovce české křídý. Závěrečná zpráva. Geofond P 29640

Křen K, Neudert L, Procházková B, Smutný V, Hůla J. 2015. Obecná produkce rostlinná 2. část. Mendelova univerzita, Brno. ISBN 978-80-7509-327-1.

Kroutil P., Prokinová E., Vašák J. 2006. Wheat and Brassica preceding crops - summary of the three years experiment, Sborník z konference „Prosperující olejniny“, 13.-14.12. 2006

- Lhotský J., 2000 .Zhutňování půd a opatření proti němu: (studijní zpráva) = Soilcompaction and measuresagainstit. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 80-7271-067-2.
- Lichner Ľ. a Syrovátka O. 2004.Vegetační porost krajiny a vodní hospodářství . In: Vodní hospodářství, 8. 234 –237s
- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modificationofMehlich 2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis 15:1409-1416
- METER Group Inc. 2018. Mini Disk Infiltrrometer. METER Group Inc., Pullman, Washington
- Míša P., Smutný V. 2012. Vyhodnocení modelových pěstebních technologií ozimé pšenice Obilnáčské listy 46 - 50 XX. ročník, 2/2012Kroměříž, Agrotest fyto, s.r.o., Havlíčkova 2787, Mendlova univerzita v Brně
- Moravcová Z. 2015. Analýza environmentálníchrizik biofarmy Juré. Uherské Hradiště, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- Němeček J., Tomášek M. 1983. Geografie půd ČSR, Academia,98s
- Němeček J., Muhlhanselová M., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D., Novák, P.2011 Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. ČZU Praha, Praha.
- Nimmo J., Perkins K. 2002. Aggregate Stability and SizeDistribution. Soil Science Society of America, Inc.
- Nypl V. a Kuráž, V. 1992. Hydrologie a pedologie. Ediční středisko VŠCHT, Praha. 150,143s.
- Peng X., Zhang B., Zhao Q., Horn R., and Hallett P.D., 2003. Influence of types of restorative vegetation on the wetting properties of aggregates in a severely degraded clayey Ultisol in subtropical China. Geoderma, 115, 313-324
- Pekárová R, Pekár J, Lichner Ľ. 2015. A newmethodforestimatingsoilwaterrepellency index. Biologia 70:1450-1455.
- Raut S., Sahoo N., and Chakraborty H., 2012. Effect of water regimes on sorptivity and organic matter humic components of soil. Int.Agrophys., 26, 53-59
- Penížek V. 2019. Půdní krajiny. Česká zemědělská univerzita, Praha
- Reich J.; Wurlitzer J.; Halb & Halb. (2004). Anwendungsumfang der Grundbodenbearbeitung mit und ohne Pflug in Thüringen nahezu gleich; -In: Neue Landwirtschaft 11. – S. 39 – 41

Schrader S. (2004). Pfluglos: der Boden bedankt sich; -In: dlz 10. – S. 20 -24

Skjemstad JO, Baldock JA. 2008. Total and organic carbon. Pages 225-237 in: Carter MR, Gregorich EG, editors. Soil Sampling and Method of Analysis. Canadian Society of Soil Science, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Soracco CG, Villarreal R, Melani EM, Oderiz JA, Salazar MP, Otero MF, Irizar AB, Lozano LA. 2019. Hydraulic conductivity and pore connectivity. Effects of conventional and no-till systems determined using a simple laboratory device. *Geoderma* 337:1236-1244

Šarapatka B. 1996. Pedologie. 1. vyd. Univerzita Palackého v Olomouci, 1996. 235 s. ISBN 80-7067-590.

Šarapatka B, Urban J. 2006. Ekologické zemědělství. PRO-BIO, Šumperk.

Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 232 s. ISBN 978-80-244-3736-1.

Šimek M, Borůvka L. 2019 a. Fyzikální vlastnosti půdy. Pages 326-342 in Šimek M, editor. Živá půda: Ekologie, využívání a degradace půdy. Academia, Praha

Šimek M. 2004. Základy nauky o půdě. Jihočeská univerzita, České Budějovice

Šír, M. a Tesař, M. 2004. Testování retenční schopnosti půdy. Aktuality

Špička A. 1964. Vlastnosti půdy a její zpracování. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. Rostlinná výroba.

Rose C., Williams J., Sander G., Barry D. 1983. A Mathematical Model of Soil Erosion and Deposition processes: II. Application to Data from an Arid-Zone Catchment[†]

Vaněk V., Balík J., Černý J., Pavlík M., Pavlíková D., Tlustoš P., Valtera J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha, s. 572.

Wani S., Ali T., Sofi M., Ramzan M., Hakeem K. 2016. An appraisal of conservation tillage on the soil physical properties. In 'Soil science: agricultural and environmental perspectives'. (Eds K Hakeem, J Akhtar, M Sabir) pp. 1–22.

Vlček V., pokorný, E. (2006). Statistical treatment of aberration of chernozems in area Moravia against complex soil survey. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, LIV, No. 2, pp. 181–192

Vlček L., Kocum J., Janský B., Šefrna L., Kučerová A. (2012) Retention potential and hydrological balance of a peat bog: case study of Rokytka Moors, Otava River headwaters, sw. Czechia. *Geografie*, 117, No. 4, pp. 395–414

Vičanová M., Toman F., Mašíček T., Váchová L. 2010. Mendelova univerzita v Brně, Ústav aplikované a krajinné ekologie

Voltr V., Bartlová J., Brtnický M., Denešová O., Froněk P., Honz J., Hlavsa T., Hruška M., Khel T., Kohut M., Křen J., Kubát J., Kučera J., Lang J., Leština J., Lipavský J., Míša P., Novák P., Podešvová J., Pokorný E., Rožnovský J., Štolbová M., Šařec O., Šařec P., Trantinová M., Vigner J., Vilhelm J., Voltr V., Vopravil J. 2011. Hodnocení půdy v podmínkách ochrany životního prostředí. Ústav zemědělské ekonomiky a informací Praha, s. 480.

Washburn A. 1979. Geocryology. A Survey of Periglacial Processes and Environments. E. Arnold, London, 406 s. S

Wooding R. 1968. Steady infiltration from a shallow circular pond. Water Resour. Res. 4, 1259–1273.

Zádorová T., Penížek V., Šefrna, L., Rohočková M., Borůvka L. 2011b. Spatial delineation of organic carbon-rich Colluvial soils in Chernozem regions by Terrain analysis and fuzzy classification. Catena, 85, 22-33.

Zbírál J. 2002. Analýza půd. Jednotné pracovní postupy. ÚKZÚZ, Brno

8.1 Internetové zdroje

<https://bpej.vumop.cz/30300> (dostupné 2023)

<http://lokalita.geology.cz/987> (dostupné 2023)

9 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 Výskat Černozemních oblastí ČR (Kabrda, Bičík, Šefrna)

Obrázek 2 letecký pohled na vyznačené plochy výzkumu

Obrázek 3 zkamenělé organismy z vrchu Oškobrh

Obrázek 4 pohled na plochu 1 – zdroj LPIS

Obrázek 5 pohled na plochu 2 zdroj LPIS

Obrázek 6 pohled na plochu 3 zdroj LPIS

Obrázek 7 Pohled na kopanou půdní sondu.

Obrázek 8 pohled na praskliny v půdě za suchého období

Obrázek 9 Pohled na měření nenasycených infiltrací

Obrázek 10 Graf výnosu pšenice ozimné po jednotlivých předplodinách

Obrázek 11 Graf HTS pšenice ozimné po jednotlivých variantách

Obrázek 12 Graf aktivní půdní reakce

Obrázek 13 Graf výměnné půdní reakce

Obrázek 14 Graf půdní salinity

Obrázek 15 Graf obsahu karbonátů

Obrázek 16 Graf množství organického uhlíku

Obrázek 17 Graf obsahu fosforu

Obrázek 18 Graf obsahu draslíku

Obrázek 19 Graf obsahu hořčíku

Obrázek 20 Graf obsahu vápníku

Obrázek 21 Graf kationtové výměnné kapacity

Obrázek 22 Graf objemové hmotnosti

Obrázek 23 Graf specifických hmotností

Obrázek 24 Graf pórovitosti

Obrázek 25 Graf stability půdních agregátů

Obrázek 26 v Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci říjnu

Obrázek 27 Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci březnu

Obrázek 28 Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci květnu

Obrázek 29 Graf vyobrazení penetrometrického odporu při odběru v měsíci červenci

Obrázek 30 Graf nenasycené hydraulické vodivosti podle Woodinga.

Obrázek 31 Graf indexu repelence

10 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 Sumarizace srážek a porovnání s dlouhodobými průměry

Tabulka 2 Sled agrotechnických operací

Tabulka 3 Vstup živin na ploše 1

Tabulka 4 vstup živin na pozemku 2

Tabulka 5 vstup živin na půdním bloku 3

Tabulka 6 zkratky značení vzorků

Tabulka 7 Hodnocení aktivní půdní reakce

Tabulka 8 Hodnocení výměnné půdní reakce

Tabulka 9 Tabulka pro hodnocení zasolení (Zbíral 2002).

Tabulka 10 Vyhodnocování zkoušky na přítomnost uhličitánů.

Tabulka 11 Tabulka hodnocení obsahu organického uhlíku a humusu (Zbíral 2002).

Tabulka 12 Hodnocení obsahu živin

Tabulka 13 Tabulka hodnocení KVK

Tabulka 14 Klasifikační stupnice půd podle Nováka (Zbíral 2002)

Tabulka 15 Kritické hodnoty škodlivého zhuštění půd podle (Šimon a Lhotský 1989)

Tabulka 16 Klasifikace indexu repelence (Iovino et al. 2018).

Tabulka 17 Statistické šetření hodnot výnosu

Tabulka 18 výsledky statistického šetření HTS

Tabulka 19 statistické šetření hodnot obsahu uhličitánů

Tabulka 20 Tabulka Hodnocení obsahu fosforu (ÚKZÚZ 2000)

Tabulka 21 hodnocení obsahu draslíku (ÚKZÚZ 2000)

Tabulka 22 Hodnocení obsahu hořčíku (ÚKZÚZ 2000)

Tabulka 23 Hodnocení obsahu vápníku

Tabulka 24 Statistické šetření výsledků KVK

Tabulka 25 Tabulka zrnitostního složení půd

11 Seznam použitých rovnic

Rovnice 1 výpočet objemové hmotnosti

Rovnice 2 rovnice výpočtu pórovitosti

Rovnice 3 výpočet WSA

12 Samostatné přílohy

Příloha 1

| datum | varianta | wooding cm h- 1 | sm.odch | RI_P | RI_K | RI sm.odch |
|--------|----------|--------------------|---------|-------|------|------------|
| X.21 | PO | 0,92 | 0,963 | 1,266 | 1,29 | 0,178 |
| X.21 | PP | 0,34 | 0,000 | 1,429 | 2,02 | 2,183 |
| X.21 | HO | 0,84 | 0,335 | 1,851 | 1,81 | 4,621 |
| X.21 | HP | 0,28 | 0,067 | 0,537 | 0,56 | 0,220 |
| X.21 | RO | 0,59 | 0,168 | 0,913 | 1,01 | 0,527 |
| X.21 | RP | 0,30 | 0,070 | 0,822 | 1,66 | 1,220 |
| III.22 | PO | 2,22 | 1,673 | 3,216 | 3,40 | 0,941 |
| III.22 | PP | 0,46 | 0,286 | 2,492 | 3,56 | 2,727 |
| III.22 | HO | 4,86 | 1,269 | 1,200 | 1,66 | 1,706 |
| III.22 | HP | 1,76 | 1,761 | 0,993 | 1,63 | 2,060 |
| III.22 | RO | 3,44 | 1,001 | 1,837 | 2,70 | 2,746 |
| III.22 | RP | 0,85 | 0,415 | 0,564 | 0,66 | 0,734 |
| V.22 | PO | 1,59 | 0,168 | 0,109 | 0,11 | 0,000 |
| V.22 | PP | 0,84 | 0,194 | 0,374 | 0,37 | 0,000 |
| V.22 | HO | 1,54 | 0,164 | X | X | X |
| V.22 | HP | 0,30 | 0,128 | X | X | X |
| V.22 | RO | 0,75 | 0,168 | X | X | X |
| V.22 | RP | 0,75 | 0,168 | X | X | X |
| VII.22 | PO | 1,84 | 0,581 | 0,534 | 0,57 | 0,369 |
| VII.22 | PP | 0,84 | 0,433 | 0,800 | 1,36 | 1,692 |
| VII.22 | HO | 2,68 | 1,255 | 0,847 | 2,57 | 2,184 |
| VII.22 | HP | 0,67 | 0,387 | 3,492 | 5,21 | 3,649 |
| VII.22 | RO | x | x | x | x | x |
| VII.22 | RP | 0,42 | 0,168 | 0,588 | 1,90 | 2,397 |

Příloha 2

| Varianta | Sušina | Obsah přijatelných živin mg/kg půdy v sušině | | | |
|----------|--------|--|-------|-------|-------|
| | % | P | K | Ca | Mg |
| PO 10 21 | 96,32 | 79,37 | 453,7 | 11447 | 232,5 |
| PO 2 22 | 96,55 | 102,72 | 507,2 | 11964 | 264,7 |
| PO 3 22 | 97,16 | 77,27 | 466,6 | 10897 | 288,1 |
| PO 4 22 | 96,19 | 69,45 | 435,3 | 12270 | 285,8 |
| PO 5 22 | 96,13 | 68,17 | 379,1 | 12473 | 258,5 |
| PO 6 22 | 93,68 | 118,70 | 772,9 | 8292 | 164,9 |
| PO 7 22 | 96,37 | 70,09 | 478,6 | 11260 | 270,8 |
| PP 10 21 | 96,25 | 20,74 | 270,0 | 13280 | 188,0 |
| PP 2 22 | 96,50 | 56,11 | 387,1 | 12827 | 252,4 |
| PP 3 22 | 96,84 | 27,94 | 321,6 | 12491 | 191,0 |
| PP 4 22 | 96,30 | 36,69 | 295,7 | 13594 | 242,2 |
| PP 5 22 | 96,17 | 25,72 | 251,6 | 13614 | 236,5 |
| PP 6 22 | 95,02 | 104,60 | 661,1 | 8137 | 160,3 |
| PP 7 22 | 96,29 | 15,39 | 242,9 | 14610 | 209,4 |
| HO 10 21 | 96,36 | 85,11 | 403,9 | 10241 | 196,3 |
| HO 2 22 | 96,07 | 102,93 | 645,9 | 10436 | 240,2 |
| HO 3 22 | 96,73 | 74,05 | 395,0 | 10941 | 269,2 |
| HO 4 22 | 96,06 | 82,88 | 521,1 | 11025 | 270,7 |
| HO 5 22 | 95,51 | 97,31 | 505,9 | 11601 | 293,8 |
| HO 6 22 | 94,06 | 96,15 | 560,0 | 10387 | 246,9 |
| HO 7 22 | 96,49 | 86,82 | 489,3 | 11572 | 243,4 |
| HP 10 21 | 96,25 | 19,47 | 254,2 | 11292 | 160,0 |
| HP 2 22 | 96,04 | 45,05 | 432,8 | 11028 | 257,4 |
| HP 3 22 | 96,37 | 20,89 | 298,6 | 12522 | 230,7 |
| HP 4 22 | 96,06 | 76,25 | 532,6 | 11507 | 260,6 |
| HP 5 22 | 95,59 | 41,59 | 356,5 | 11814 | 247,1 |
| HP 6 22 | 94,96 | 47,91 | 415,8 | 11644 | 239,1 |
| HP 7 22 | 96,23 | 21,02 | 253,8 | 12939 | 199,3 |
| ŘO 10 21 | 97,01 | 226,89 | 811,5 | 14319 | 234,2 |
| ŘO 2 22 | 96,59 | 216,62 | 903,8 | 12636 | 221,3 |
| ŘO 3 22 | 97,40 | 55,99 | 420,9 | 10723 | 196,7 |
| ŘO 4 22 | 96,75 | 196,64 | 806,6 | 12545 | 219,9 |
| ŘO 5 22 | 96,76 | 174,40 | 935,8 | 16815 | 256,5 |
| ŘO 6 22 | 95,99 | 173,66 | 817,5 | 10357 | 215,1 |
| ŘO 7 22 | 97,34 | 65,03 | 586,3 | 21102 | 234,9 |
| ŘP 10 21 | 97,46 | 53,15 | 485,7 | 28441 | 224,5 |
| ŘP 2 22 | 97,04 | 152,76 | 723,7 | 14555 | 223,6 |
| ŘP 3 22 | 97,25 | 31,33 | 337,9 | 14005 | 185,2 |
| ŘP 4 22 | 96,99 | 115,74 | 707,2 | 18641 | 232,1 |
| ŘP 5 22 | 97,01 | 158,71 | 834,9 | 18288 | 250,7 |
| ŘP 6 22 | 95,96 | 130,28 | 819,9 | 18854 | 238,9 |
| ŘP 7 22 | 97,43 | 29,52 | 338,9 | 21934 | 194,2 |

Příloha 3

| varianta | Hodnota | Sm. odchylka |
|----------|---------|--------------|
| RO 10 | 0,80 | 0,0487 |
| RP 10 | 0,73 | 0,0086 |
| HO 10 | 0,74 | 0,0105 |
| HP 10 | 0,80 | 0,0156 |
| PO 10 | 0,97 | 0,0030 |
| PP 10 | 0,96 | 0,0502 |
| PO2 | 0,86 | 0,0108 |
| PP2 | 0,88 | 0,0265 |
| HO2 | 0,90 | 0,0217 |
| HP2 | 0,91 | 0,0175 |
| ŘO2 | 0,81 | 0,0040 |
| ŘP2 | 0,80 | 0,0042 |
| PO3 | 0,83 | 0,0155 |
| PP3 | 0,86 | 0,0066 |
| HO3 | 0,86 | 0,0093 |
| HP3 | 0,85 | 0,0109 |
| ŘO3 | 0,84 | 0,0057 |
| ŘP3 | 0,89 | 0,0143 |
| PO4 | 0,77 | 0,0079 |
| PP4 | 0,85 | 0,0147 |
| HO4 | 0,72 | 0,0109 |
| HP4 | 0,83 | 0,0145 |
| ŘO4 | 0,63 | 0,0103 |
| ŘP4 | 0,73 | 0,0231 |
| PO5 | 0,83 | 0,0074 |
| PP5 | 0,83 | 0,0115 |
| HO5 | 0,82 | 0,0038 |
| HP5 | 0,91 | 0,0337 |
| ŘO5 | 0,79 | 0,0087 |
| ŘP5 | 0,79 | 0,0079 |
| PO6 | 0,81 | 0,0167 |
| PP6 | 0,78 | 0,0103 |
| HO6 | 0,81 | 0,0138 |
| HP6 | 0,81 | 0,0111 |
| ŘO6 | 0,73 | 0,0037 |
| ŘP6 | 0,78 | 0,0497 |
| PO7 | 0,81 | 0,0160 |
| PP7 | 0,86 | 0,0091 |
| HO7 | 0,82 | 0,0168 |
| HP7 | 0,89 | 0,0450 |
| ŘO7 | 0,80 | 0,0435 |
| ŘP7 | 0,93 | 0,0319 |

Příloha 4

| varianta | měsíc | Hodnota salinity | Sm. odchylka | Cox % | Sm. odchylka |
|----------|-------|---------------------|-----------------|-------|-----------------|
| PO | 10 | 130,9 | 2,802 | 2,787 | 0,056 |
| PO | 2 | 110,7 | 0,776 | 2,656 | 0,067 |
| PO | 3 | 134,0 | 2,202 | 2,762 | 0,129 |
| PO | 4 | 292,5 | 2,500 | 2,788 | 0,064 |
| PO | 5 | 135,7 | 8,450 | 2,688 | 0,202 |
| PO | 6 | 131,0 | 12,394 | 2,149 | 0,127 |
| PO | 7 | 146,3 | 6,521 | 2,833 | 0,092 |
| PP | 1 | 109,8 | 0,967 | 2,301 | 0,042 |
| PP | 2 | 121,5 | 1,644 | 2,185 | 0,033 |
| PP | 3 | 113,7 | 1,292 | 2,259 | 0,029 |
| PP | 4 | 190,5 | 30,550 | 2,432 | 0,020 |
| PP | 5 | 125,6 | 10,107 | 1,845 | 0,038 |
| PP | 6 | 139,2 | 1,034 | 2,028 | 0,037 |
| PP | 7 | 140,4 | 6,658 | 2,101 | 0,059 |
| HO | 1 | 122,1 | 3,187 | 2,581 | 0,027 |
| HO | 2 | 158,6 | 7,640 | 2,380 | 0,009 |
| HO | 3 | 177,3 | 2,660 | 2,525 | 0,138 |
| HO | 4 | 357,5 | 0,500 | 2,527 | 0,021 |
| HO | 5 | 192,3 | 16,548 | 2,175 | 0,101 |
| HO | 6 | 120,6 | 3,477 | 2,104 | 0,125 |
| HO | 7 | 155,7 | 3,116 | 2,416 | 0,019 |
| HP | 10 | 110,5 | 3,985 | 1,654 | 0,058 |
| HP | 2 | 122,4 | 0,450 | 1,873 | 0,063 |
| HP | 3 | 121,5 | 1,644 | 2,274 | 0,035 |
| HP | 4 | 174,4 | 8,000 | 2,044 | 0,097 |
| HP | 5 | 126,9 | 5,380 | 2,241 | 0,025 |
| HP | 6 | 126,9 | 9,058 | 1,887 | 0,066 |
| HP | 7 | 141,2 | 8,985 | 1,953 | 0,029 |
| RO | 10 | 185,8 | 0,896 | 2,692 | 0,028 |
| ŘO | 2 | 132,8 | 1,068 | 2,442 | 0,020 |
| ŘO | 3 | 130,0 | 0,419 | 2,157 | 0,043 |
| RO | 4 | 378,8 | 26,200 | 2,427 | 0,079 |
| RO | 5 | 233,2 | 9,159 | 2,397 | 0,103 |
| RO | 6 | 224,7 | 7,930 | 2,292 | 0,045 |
| RO | 7 | 153,7 | 8,773 | 2,610 | 0,011 |
| RP | 10 | 147,9 | 4,713 | 2,283 | 0,037 |
| ŘP | 2 | 113,7 | 1,292 | 2,040 | 0,064 |
| ŘP | 3 | 121,8 | 2,165 | 1,793 | 0,061 |
| RP | 4 | 179,6 | 1,600 | 2,673 | 0,019 |
| RP | 5 | 165,6 | 14,028 | 2,217 | 0,078 |
| RP | 6 | 191,7 | 10,053 | 1,896 | 0,064 |
| RP | 7 | 163,1 | 7,605 | 2,072 | 0,047 |