

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Hodnocení zásob a potenciální sekvestrace uhlíku
v půdách vybraných oblastí České republiky**

Diplomová práce

Autor práce: Mgr. Oldřich Falta

Program studia: Ochrana a využívání přírodních zdrojů

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

© 2025 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci: "**Hodnocení zásob a potenciální sekvestrace uhlíku v půdách vybraných oblastí České republiky**" 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 2025

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Luboši Borůvkovi a Ing. Petře Vokurkové, Ph.D., za jejich ochotu, trpělivost a cenné rady při metodickém vedení práce.

Hodnocení zásob a potenciální sekvestrace uhlíku v půdách vybraných oblastí České republiky

Souhrn

Práce je zaměřena na porovnání zásob organického uhlíku a odhad potenciální sekvestrace uhlíku ve dvou regionech České republiky s rozdílnými půdními a klimatickými podmínkami. První území představuje zemědělskou společnost AGRO Jesenice s teplejším klimatem a kvalitnějšími půdami, druhé území je v Zemědělské společnosti Svobodné v chladnější části republiky.

Odběry půdních vzorků byly provedeny v březnu 2024, podle metodiky Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského z hloubky 0-30 cm. U každého vzorku byl stanoven obsah oxidovatelného uhlíku a vypočtena objemová hmotnost půdy na jejichž základě byla určena zásoba uhlíku a odhadnut potenciál sekvestrace. Analýzy oxidovatelného uhlíku byly provedeny ve dvou laboratořích, na České zemědělské univerzitě v Praze a v laboratoři Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. Následně byly tyto výsledky porovnány mezi sebou.

Bylo zjištěno, že vyšší zásoby uhlíku se vyskytují v teplejší oblasti, a byl potvrzen příznivý vliv šetrnějších forem hospodaření, jako jsou bezorebné systémy a aplikace organických hnojiv na akumulaci uhlíku. Zároveň se však neprokázalo, že by teplejší klima automaticky vedlo k vyššímu potenciálu sekvestrace, protože relativní nárůsty byly v některých případech vyšší v chladnější oblasti.

Klíčová slova: půdní organický uhlík; potenciální sekvestrace uhlíku; půdní organická hmota; udržitelné hospodaření

Assessment of carbon stocks and potential sequestration in soils of selected regions of the Czech Republic

Summary

The thesis is focused on comparison of organic carbon stocks and estimation of potential carbon sequestration in two regions of the Czech Republic with different soil and climatic conditions. The first area represents the agricultural company AGRO Jesenice with a warmer climate and better quality soils, the second area is in the Agricultural company Svobodné in a colder part of the country.

Soil sampling was carried out in March 2024, according to the methodology of the Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, from a depth of 0-30 cm. For each sample, the oxidizable carbon content was determined and the soil bulk density was calculated based on which the carbon stock was determined and the sequestration potential was estimated. The analyses of oxidisable carbon were carried out in two laboratories, at the Czech University of Life Sciences Prague and in the laboratory of the Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture. Subsequently, these results were compared with each other.

It was found that higher carbon stocks occur in warmer areas, confirming the influence of more environmentally friendly forms of farming, such as no-till systems, application of organic fertilizers on carbon accumulation. At the same time, however, it has not been shown that a warmer climate automatically leads to higher sequestration potential, as relative increases were in some cases higher in the colder region.

Keywords: soil organic carbon; potential carbon sequestration; soil organic matter; sustainable management

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3 Literární rešerše	3
3.1 Půda a půdní organický uhlík	3
3.1.1 Význam a koloběh uhlíku	3
3.1.2 Půda jako zásobárna uhlíku	5
3.2 Půdní organická hmota a půdní organický uhlík	6
3.2.1 Rozdělení organické hmoty v půdě	8
3.2.2 Formy organických látek a organické hmoty v půdě	10
3.2.3 Význam organické hmoty v půdě	10
3.2.4 Zásoby organické hmoty v půdě a jejich hodnocení	11
3.2.5 Sekvestrace a odhad potenciální sekestrace uhlíku v půdě	12
3.2.6 Způsoby hospodaření vedoucí ke zvýšení obsahu uhlíku	14
3.3 Orné půdy a trvalé travní porosty	15
3.3.1 Orná půda.....	16
3.3.2 Uhlík v orné půdě	16
3.3.3 Trvalé travní porosty.....	18
3.3.4 Uhlík v půdách trvalých travních porostů.....	19
4 Metodika	20
4.1 Popisy území	20
4.1.1 Zemědělská společnost AGRO Jesenice u Prahy	20
4.1.2 Půdní podmínky AGRO Jesenice u Prahy	21
4.1.3 Klimatické podmínky AGRO Jesenice u Prahy	21
4.1.4 Zemědělská společnost Svobodné	23
4.1.5 Půdní podmínky zemědělské společnosti Svobodné	23
4.1.6 Klimatické podmínky zemědělské společnosti Svobodné.....	24
4.2 Odběr vzorků	24
4.2.1 Odběry vzorků v AGRO Jesenice u Prahy	25
4.2.2 Odběry vzorků v zemědělské společnosti Svobodné	26
4.3 Analýza vzorků	27
4.3.1 Stanovení výměnného pH půd extrakcí roztokem chloridu vápenatého...	27
4.3.2 Stanovení Cox titrací modifikovanou Tjurinovou metodou	28
4.3.3 Stanovení Cox spektrofotometricky po oxidaci chromosírovou směsí...	29
4.3.4 Výpočet objemové hmotnosti	29
4.3.5 Výpočet zásob půdního uhlíku a potenciální sekvestrace uhlíku	30
4.3.6 Statistické vyhodnocení	32

5	Výsledky	33
5.1	Výsledky oxidovatelného organického uhlíku Cox a pH v AGRO Jesenice	34
5.2	Výsledky oxidovatelného organického uhlíku Cox a pH v ZS Svobodné	35
5.3	Výsledky objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku v AGRO Jesenice	36
5.3.1	Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v AGRO Jesenice dle stovení Cox modifikovanou Tjurinovou metodou	37
5.3.2	Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v AGRO Jesenice dle stovení Cox spektrofotometricky.....	38
5.4	Výsledky objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku v ZS Svobodné	39
5.4.1	Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v ZS Svobodné dle stovení Cox titrací modifikovanou Tjurinovou metodou ..	40
5.4.2	Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v ZS Svobodné dle stovení Cox spektrofotometricky.....	41
5.5	Porovnání pH, objemové hmotnosti, zásob půdního organického uhlíku, hodnot oxidovatelného uhlíku ve všech sledovaných půdách	42
5.5.1	Provnání hodnot pH půd	42
5.5.2	Provnání objemové hmotnosti	42
5.5.3	Provnání zásob půdního organického uhlíku	43
5.5.4	Provnání minima, maxima, průměrných a středních hod obsahu Cox ve všech sledovaných půdách	43
5.5.5	Provnání potenciální sekvestrace uhlíku na vybraných místech obou zemědělských společností	45
5.6	Statistické vyhodnocení.....	50
5.6.1	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku metodou dle analýz na ČZU ...	50
5.6.2	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku metodou analýz na ÚKZÚZ ...	51
5.6.3	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku v kambizemích	53
5.6.4	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku v kambizemích a hnědozemích	54
5.6.5	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku v orných půdách	56
5.6.6	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku orných půdách kambizemích ..	58
5.6.7	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku v trvalých travních porostech ..	61
5.6.8	Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku orných půdách 2024 a 2018 ...	62
6	Diskuze.....	64
7	Závěr	70
8	Literatura.....	71
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	77
10	Seznam příloh	79

1 Úvod

Úroveň naší civilizace je výrazně postavena na spotřebě fosilních paliv, jejich využívání je zásadní v produkci energie, v dopravě, průmyslové výrobě a v zemědělství. Značné procento produktů denní i dlouhodobé spotřeby má svůj původ ve fosilních zdrojích a vděčí za něj zejména fotosyntetické aktivitě autotrofních organismů, jako jsou rostliny, řasy a sinice (Marek et al. 2022).

Fotosyntetická produkce jako základ využívá oxid uhličitý, přičemž jejím produktem je formování uhlovodíků, což jsou látky obsahující uhlík a jejich spotřeba je tedy spojena s uvolňováním oxidu uhličitého, jenž je významným faktorem ovlivňujícím skleníkový efekt v atmosféře (Lacis et al. 2010; Marek et al. 2022).

Uhlík je podstatnou složkou veškeré organické hmoty včetně biomasy organismů (Šimek et al. 2019a).

Část uhlíku se ukládá v půdách ve formě humusu, kde může setrvat krátkodobě nebo i po dlouhou dobu. Postupným rozkladem se však uvolňuje zpět do atmosféry ve formě oxidu uhličitého, čímž se doplňuje atmosférická uhlíková zásoba (Šimek et al. 2019a).

Rostoucí koncentrace oxidu uhličitého a dalších plynů, způsobené spalováním fosilních paliv, významně přispívá ke globálním změnám klimatu. Od 19. století dochází k výraznému nárůstu emisí oxidu uhličitého, které převyšují jeho přirozené ukládání. Vzhledem k nepravděpodobnosti obrácení tohoto trendu v blízké budoucnosti je nezbytné zaměřit se na hledání jiných řešení (Nátr, 2000).

Jedním z řešení je ukládání uhlíku do půdy, které by mohlo přispět ke snížení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře (Zomer et al. 2017). Toto se jeví jako jedna z perspektivních strategií pro zmírnění nebo zpomalení klimatických změn, známé jako mitigace (Kögel-Knabner et al. 2022).

Půda je po oceánech druhou největší zásobárnou vázaného uhlíku. V terestrických ekosystémech je množství vázaného uhlíku třikrát vyšší než množství uhlíku ve formě oxidu uhličitého v atmosféře. Z celkové zásoby uhlíku v terestrických ekosystémech je 74 % uloženo v půdě (Lal, 2008; Batjes, 1996).

Je proto velice důležité se tématem sekvestrace uhlíku do půdy zabývat vzhledem k velkému množství potenciálně dostupné orné půdy, což může být dosažitelná a potenciálně účinná cesta k rychlému zvýšení sekvestrace CO₂ a zmírnění globálních klimatických změn (Zomer et al. 2017).

Globální klimatická změna označuje dlouhodobé odchylky klimatických parametrů, jako jsou teplota, srážky či rychlost větru, od hodnot typických od počátku 20. století. Tyto změny souvisejí s lidskou činností, která výrazně zvyšuje emise skleníkových plynů, rychleji než přirozené procesy za posledních 20 000 let (Marek et al. 2011).

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Hypotézy:

- 1) Vyšší zásoba organického uhlíku je v teplejších oblastech s kvalitnějšími půdami.
- 2) Způsob hospodaření výrazně ovlivňuje zásoby organického uhlíku v půdě.
- 3) Vyšší potenciální sekvestraci uhlíku mají kvalitnější půdy v teplejších oblastech.

Cíle práce:

Půda zadržuje největší množství uhlíku v suchozemském ekosystému. Udržení tohoto množství nebo dokonce zvýšení obsahu (sekvestrace) organického uhlíku v půdě tak napomůže zmírnit klimatické změny. Cílem této diplomové práce bylo pro dvě vybraná, půdně a klimaticky odlišná území České republiky zpracovat odhad a rozložení zásob organického uhlíku v půdách a zpracovat odhad potenciální sekvestrace uhlíku.

3 Literární rešerše

3.1 Půda a půdní organický uhlík

Půda je jeden ze základních výrobních prostředků člověka a hlavních kamenů lidské civilizace. Na půdu je nutné se dívat jako na dynamický přírodní útvar, který se tvoří, vyvíjí a udržuje pod vlivem okolního prostředí (Tomášek, 2014).

Dle Brady & Weil (2014) je půda pohledem lidského života neobnovitelným přírodním zdrojem.

Půda se skládá z pevných, kapalných a plyných fází. Pevný podíl půdy je tvořen převážně minerálními částicemi, jako úlomky hornin a minerálů a jejich zrny. Malé množství připadá na organické látky, souhrnně nazývané jako půdní organická hmota, která se vyskytuje ve vyšších vrstvách zemské kůry, obvykle v prvním metru hloubky půdy a nazývá se organický recentní uhlík. Další formy uhlíku jsou v půdě ve formě organického geogenního a minerálního anorganického. Organický geogenní uhlík je vázán na organické látky jako ropné uhlovodíky, zemní plyn. Minerální anorganický uhlík je závislý na složení matečné horniny (Šimek et al. 2019a).

Hlavní složkou půdní organické hmoty je půdní organický uhlík (SOC – *soil organic carbon*), který pochází z buněk rostlinných a živočišných zbytků. Tento uhlík lze rozdělit na uhlík obsažený v rostlinných a živočišných zbytcích v různých stádiích rozkladu, uhlík obsažený ve stabilním humusu, který vzniká z organických zbytků, a zbytkový uhlík, který je téměř inertní, jako například zuhelnatělé částice nebo zbytky po požárech (Nelson & Sommers, 1996).

Množství uhlíku v půdách je ve velké míře ovlivněno člověkem, při zemědělské činnosti dochází k rychlejšímu rozkladu organické hmoty, jehož důsledkem jsou poté emise oxidu uhličitého v atmosféře (Kimble et al. 2022).

Změny ve využívání půdy k zemědělství, stejně tak zemědělská výroba značně přispívají ke zvýšení atmosférického oxidu uhličitého, který představuje až 24 % celosvětových emisí skleníkových plynů (Zomer et al. 2017).

3.1.1 Význam a koloběh uhlíku

Uhlík je klíčovým prvkem života na Zemi, tvoří základ veškeré biomasy a je součástí všech organických látek.

Během růstu a života se uhlík ukládá v jednoduchých i velmi složitých látkách v biomase. Po odumření biomasy je rozkládán a uvolňován v jednoduchých uhlikatých sloučeninách. Klíčovou roli v cyklu uhlíku hrají mikroorganismy, včetně těch půdních, které se podílejí na mineralizaci a rozkladu odumřelých těl všech organismů, přičemž se uvolňuje uhlík, dusík a další živiny, které jsou znovu dostupné pro nové organismy a tvorbu nové biomasy. Globální cyklus uhlíku zahrnuje intenzivní výměnu mezi suchozemskými ekosystémy, oceány a atmosférou. Atmosféra funguje jako aktivní zásobník uhlíku, především ve formě oxidu uhličitého, který je neustále absorbován a vázán v nové biomase autotrofních organismů (Šimek et al. 2019b).

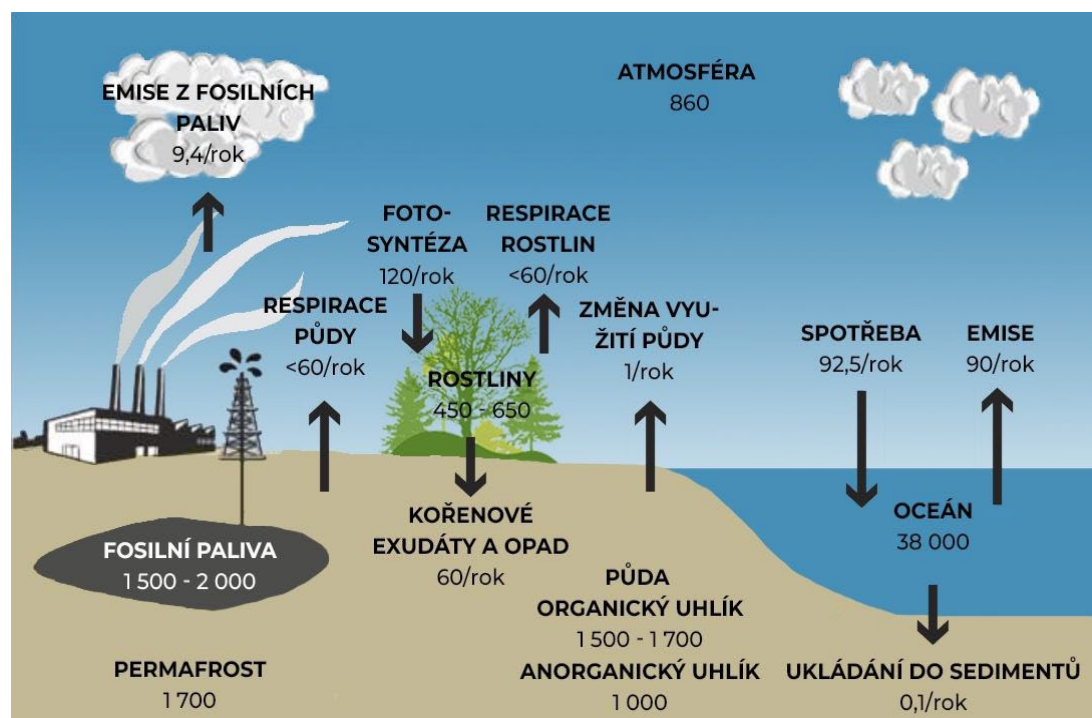
Uhlíkový cyklus patří mezi hlavní planetární cyklus, který je podstatný pro stabilizaci teploty na Zemi (Kadrnožka, 2008). Tento cyklus je poměrně stabilní a funguje jako přirozený termostat, napomáhající udržovat vhodné klimatické podmínky (Riebeek, 2011). Jeho význam je v regulaci koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, především oxidu uhličitého a metanu (Harvey, 2010). Cyklus uhlíku je v posledních desetiletích narušen, což se projevuje nárůstem koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře (Friedlingstein et.al. 2020).

Mimo oxidu uhličitého a metanu se v atmosféře dále vyskytují oxid uhelnatý, dimetylsulfid, apod. Z uhlíkatých sloučenin v atmosféře značně převažuje oxid uhličitý (Šimek et al. 2019a). Antropogenní emise oxidu uhličitého pak pocházejí zejména ze spalování fosilních zdrojů, jako jsou uhlí, ropa, zemní plyn a koks (Harvey, 2010).

Proces spalování fosilních paliv, zejména uhlí, výrazně urychluje uvolňování oxidu uhličitého do atmosféry. Každoročně se tak uvolňuje přibližně 6 Gt uhlíku, který byl miliony let uložen hluboko pod zemským povrchem (Riebeek, 2011).

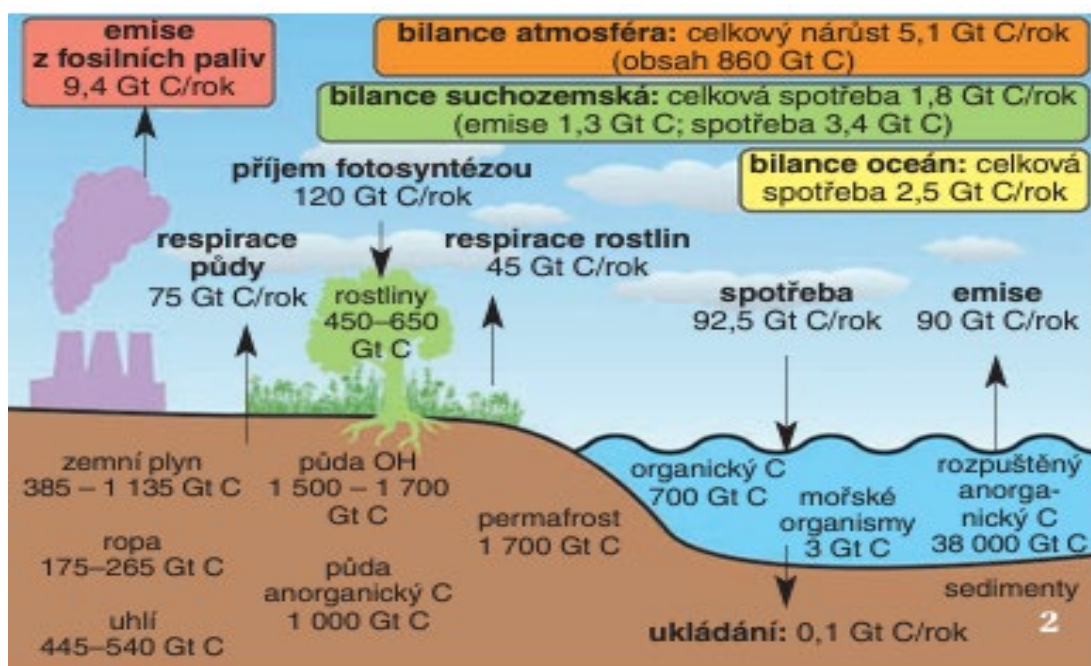
Různí autoři uvádějí odlišná množství velikostí jednotlivých zásobníků a přenosů uhlíku, je to způsobené různým původem, formou a dynamikou uhlíku (Šimek et al. 2019a).

V následujících obrázcích jsou uvedeny globální toky uhlíku. Zásoba uhlíku v půdě, oceánech, atmosféře, apod. Množství v jednotlivých rezervoárech je uvedeno v gigatunách. 1 Gt je 10^{15} gramů. 1 Gt je 1 Pg (petagram), což je 10^{15} gramů ($\text{Gt} = \text{Pg} = 10^{15} \text{ g}$).



Obr. 1: Globální toky a zásobníky uhlíku, uvedeno v gigatunách C (upraveno podle Lehmann a Kleber, 2015; GLOBE Carbon cycle, 2017)

Podrobnější schéma globálních toků uhlíku na Zemi je uveden v následujícím obrázku. Různí autoři odhadují zásoby i přenosy uhlíku odlišně. V základních rysech se ale shodují, včetně jejich přebytku v posledním období v rozsahu asi 3-5 Pg C/rok, což se projevuje nárůstem množství uhlíku v atmosféře (Friedlingstein et al. 2020).



Obr. 2: Podrobnější globální toky a zásobníky uhlíku, uvedeno v gigatunách uhlíku (upraveno podle: Friedlingstein et al. 2020)

3.1.2. Půda jako zásobárna uhlíku

V suchozemských ekosystémech se uhlík ukládá do půdy, rašeliny, rostlinného opadu, zbytků živočichů a rostlin, stejně jako do jejich biomasy. Mezi suchozemskými ekosystémy a atmosférou probíhá intenzivní výměna uhlíku, která se odehrává především prostřednictvím oxidu uhličitého a metanu, a v menší míře také skrze další uhlikaté sloučeniny (Šimek et al. 2019a).

Půdy mohou působit jako zdroje i pohlcovače uhlíku v závislosti na hospodaření, úrovních vstupu, biomase, mikroklimatických podmínkách a bioklimatických změnách. Ve světové půdě je uloženo podstatně více uhlíku, než je přítomno v atmosféře (Batjes, 1996).

Půdy na Zemi uchovávají obrovské množství uhlíku, a to jak v anorganické, tak v organické podobě. Uhlík v anorganických látkách je zejména v uhličitanech, jeho zásoby v této formě se uvádějí na 700 Pg uhlíku. Podle Horwath (2015) se udává na 748 Pg anorganického uhlíku do hloubky jednoho metru (Šimek et al. 2019a).

Existuje všeobecná shoda, že technický potenciál sekvestrace uhlíku v půdě je významný (Zomer et al. 2017). Při správném hospodaření má půda potenciál účinně vázat uhlík z atmosféry. I když stále přetrvávají nejistoty ohledně rozsahu sekvestrace uhlíku, dostupné důkazy jsou dostatečné k tomu, aby došlo k většímu zaměření na zemědělskou půdu (Kane, 2015). I přes různé odhady je však jasné, že v půdách je obsaženo více uhlíku než v biomase rostlin a živočichů a v atmosféře dohromady (Šimek et al. 2019a).

Co se týká sekvestrace plodin, mohly by na celém světě sekvestrovat mezi 0,90 a 1,85 Pg C/rok (Zomer et al. 2017). Vegetace představuje nejmenší zásobník uhlíku s odhadovaným množstvím 650 Gt neboli 650 Pg uhlíku. Naopak největším zásobníkem jsou oceány a vodní systémy, které obsahují přibližně 38 000 Pg uhlíku (Kane, 2015). Z pohledu globálního

uhlíkového cyklu představují půdy druhý největší rezervoár vázaného uhlíku, a to hned po oceánech (Lal, 2008).

Hodnocení zásob organické hmoty v půdě se liší v závislosti na hloubce půdního profilu, pro kterou jsou odhady prováděny. Zatímco některé zdroje zohledňují pouze svrchní vrstvu půdy, jiné pak zahrnují celkovou hloubku půdy (Šimek et al. 2019a). Podrobnější informace o množství organického uhlíku v půdě jsou uvedeny v kapitole 3.2.4.

3.2 Půdní organická hmota a půdní organický uhlík

Půdní organická hmota SOM, v angličtině *soil organic matter*, je tvořena mrtvými půdními organismy a různými organickými látkami. Autotrofní rostliny, které využívají světelnou energii k tvorbě organických látek z anorganických sloučenin, představují hlavní zdroj organické hmoty v půdě. Nejvýznamnější podíl organických látek v půdě pochází právě z rostlin, jejich opadu a zbytků (Šimek et al. 2019a).

Půdní organická hmota zahrnuje veškerý organický materiál, který prošel procesem rozkladu a humifikace, tedy postupnou přeměnou organických zbytků. Její složení je ovlivněno dlouhodobým působením půdotvorných faktorů, lidskou činností, způsobem využívání půdy a systémem hospodaření (Kubát et al. 2008).

Dle Lavallee et al. (2020) je půdní organická hmota složena z odumřelé biomasy rostlin, živočichů a mikroorganismů, stejně jako látky, které tyto organismy vylučují, například extracelulární enzymy, kořenové exudáty či odpadní produkty, jako jsou exkrementy a další výměšky. Organické látky obvykle tvoří méně než 10 % hmotnosti půdy, mají však zásadní význam v jejím fungování.

Množství organické hmoty v půdě je velmi variabilní. Povrchové vrstvy většiny minerálních půd obsahují přibližně několik hmotnostních procent organických látek. Přesné stanovení obsahu organické hmoty není jednoduché, především kvůli rozmanitému původu a formě organických látek (Šimek et al. 2019a). V půdách se půdní organická hmota vyskytuje od téměř zanedbatelného zastoupení až do 30 %, v porovnání s minerální složkou půdy. Je však zásadní pro fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a klíčová pro udržení její produktivity a dalších funkcí (Dlugoš, 2011).

Organický uhlík se vyskytuje v půdě ve třech formách: volné, stabilní a aktivní. Volný organický uhlík není vázán na žádné minerály ani spojen s minerálními agregáty. Stabilní uhlík je obsažen v humusových látkách, huminových kyselinách a fulvokyselinách a je odolný vůči mineralizaci a biodegradaci. Aktivní neboli labilní uhlík zahrnuje rozložitelné sloučeniny, které jsou snadno metabolizovatelné. Tento typ uhlíku podléhá oxidaci, což vede ke snižování obsahu humusu v půdě. Jeho mikrobiální rozklad je úzce spojen s uvolňováním živin (Šarapatka, 2014).

Hlavní složkou půdní organické hmoty je půdní organický uhlík, anglicky: SOC – *soil organic carbon*. Ten je součástí buněk rostlin a živočichů. Dělí se na uhlík v rostlinných a živočišných zbytcích, které jsou v různých fázích rozkladu, uhlík ve stabilním humusu vzniklém z organických zbytků a uhlík v podobě zbytkových, téměř inertních částic, patří sem zuhelnatělé zbytky uhlíku po požárech. Půdní organický uhlík představuje významnou součást globálního uhlíkového cyklu a hraje klíčovou roli v půdní úrodnosti a zdraví (Nelson & Sommers, 1996).

Obvykle obsah organické hmoty klesá s rostoucí hloubkou půdního profilu. Typickým příkladem je kambizem, kyselá lesní půda, kde se vzhledem k nízkému pH organické látky hromadí pouze v svrchní vrstvě, poté jejich obsah rychle klesá s hloubkou (Šimek et al. 2019a).

Organické látky produkované rostlinami a mikroorganismy se v půdě rozkládají a mineralizují, přičemž mineralizace půdního organického uhlíku představuje klíčový proces, bez kterého by globální systém Země nemohl fungovat.

Dle Dluhoš (2011) organický uhlík tvoří přibližně 58 % půdní organické hmoty.

Proto přepočet organického uhlíku na organickou hmotu (v procentech) používá koeficient 1,724 (Johnston et al. 2009). Podle různých autorů je to 1,7-2,0. Výsledek pak udává přibližný obsah organické hmoty v půdě (Šimek et al. 2019b). Konverzní faktor 1,724 je tradičně připisován holandskému chemikovi Jacobu Maartenovi Van Bemmelenovi. Van Bemmelenův faktor je používán jako přepočítávací koeficient 1,724 pro odhad obsahu organické hmoty. Z přehledu vědecké literatury vyplynulo, že tento faktor jako první navrhnul Emil Theodor von Welte. V německé literatuře se tento faktor přesto připisuje Van Bemmelenovi. Welte a Van Bemmelen uvádějí průměrný obsah huminové kyseliny v půdě 58 %. K číslu se došlo, tím, že se vydělilo číslo sto číslem padesáti osmi. Tento přístup vedl k nesprávným závěrům a půdní uhlík byl chybně přepočítáván (Pospíšilová & Tesařová, 2009).

Použití jednotného faktoru pro přepočet půdního organického uhlíku na půdní organickou hmotu je sporné. Rostoucí zájem o sekvestraci uhlíku v půdě vyžadovalo potřebu rychlých, levných a přesných metod měření obsahu uhlíku. Konvenční faktor se zpočátku jevil jako nejjednodušší řešení, avšak jeho použití by mělo být vnímáno pouze jako orientační. S očekávaným nárůstem dostupných dat a poznatků je pravděpodobné, že tento faktor bude v budoucnu revidován (Pribyl, 2020).

Podle Nelson & Sommers (1996) je přesnější použít koeficient 2, místo běžně používaného faktoru 1,724. Žádný faktor pro přepočet organického uhlíku na půdní organickou hmotu není univerzálně platnou fyzikální konstantou, variabilita obsahu uhlíku v půdách je příliš vysoká na to, aby bylo možné stanovit jediný univerzální faktor pro všechny podmínky (Pribyl, 2020).

Půdní organická hmota se někdy odvozuje od celkového oxidovatelného uhlíku v půdě neboli celkového obsahu organického uhlíku (Mrázková et al. 2017).

Oxidovatelný uhlík je jedním z mnoha ukazatelů množství organické hmoty v půdě, kvantifikuje se jako Corg nebo Cox. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský zjišťuje obsah oxidovatelného uhlíku (Cox), ta zahrnuje primární organickou hmotu, složenou z rozložených i nerozložených kořenů, kořenového vlášení, zbytků po sklizni, uhynulých mikroorganismů, organických hnojiv, humusových kyselin a fulvokyselin (Smatanová, 2021).

V poslední době se ukazuje, že Cox nezahrnuje pouze humus, ale také ne zcela zhumifikovaný podíl půdní organické hmoty, který je označován jako primární půdní organická hmota (PPOH) (Kolář et al. 2014). Dělení organické hmoty v půdě je popsáno v následující kapitole.

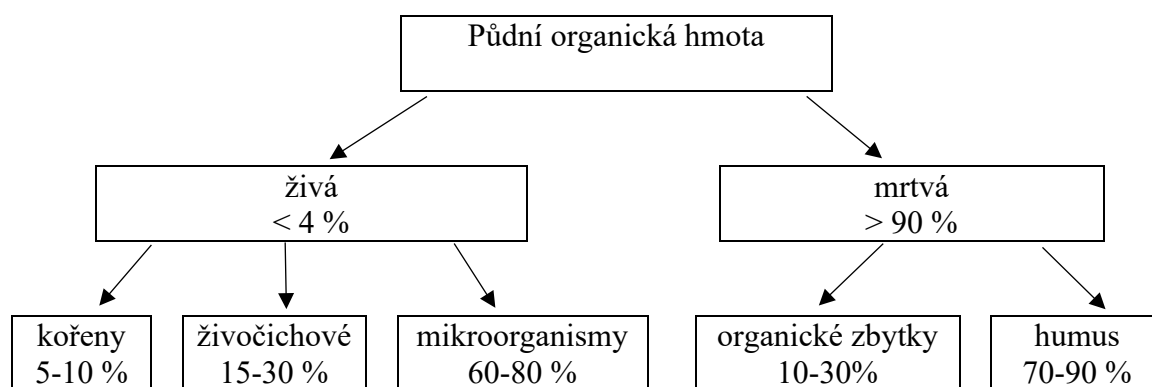
Obsah organické hmoty v půdě může poskytnout přibližný odhad množství dusíku, protože poměr hmotnosti organické hmoty k dusíku je přibližně 20:1. Teplota a srážky nejvíce ovlivňují množství organické hmoty, včetně uhlíku a dusíku (Šimek et al. 2019a).

Uhlík a dusík z pohledu hodnocení kvality půdy jsou stejně důležité. Uhlíkaté látky poskytují rostlinám živiny a zároveň slouží jako jejich zásobárna a tím přispívají k stabilitě půdních agregátů a ovlivňují sorpční vlastnosti půdy (Smatanová, 2021).

3.2.1 Rozdělení organické hmoty v půdě

Živá část organické hmoty, skládající se z živých organismů, má méně než čtyři hmotnostní procenta. Neživá organická hmota pak tvoří více než 90 hmotnostních procent organického podílu půd, viz níže. Jedná se o hrubou představu hmotnosti organismů v půdě (Šimek et al. 2019b).

Na následujícím schématu je uvedeno rozdělení půdní organické hmoty. V mnoha půdách je vyšší obsah organických zbytků v různých fázích rozkladu přeměněn na nižší obsah humusových látek, než je uvedeno níže (Šimek et al. 2019a).



Obr. 3: Rozdělení organické hmoty v půdě (hmotnostní procenta). Zastoupení jednotlivých frakcí v různých půdách je rozdílné. Neživá půdní organická hmota je zastoupena většinou více než 90 hmotnostních procent organického podílu půd, živá obvykle obsahuje méně než 4 hmotnostní procenta. V mnoha půdách je také vyšší obsah organických zbytků v různých fázích rozkladu přeměněn na nižší obsah humusových látek oproti uvedeným údajům (upraveno podle Theng et al. 1989; Wood, 1995; Šimek et al. 2019a)

Půdní organická hmota se skládá z živé a neživé neboli mrtvé složky, které jsou na sobě závislé a ovlivňují se. Všechny složky spolu souvisejí, mají však specifické využití a plní odlišné funkce. Neměly by se zaměňovat či zahrnovat do jedné skupiny (Mrázková et al. 2017).

Dle Koláře et al. (2005) je půdní organická hmota dělena na dvě skupiny. První je primární půdní organická hmota a druhá je stabilní organická frakce, která je nazývána humusem. První skupina je z hlediska krátkého časového úseku rozložitelná a neprošla celým procesem humifikace. Druhá složka kompletním procesem humifikace prošla a je označena jako humus, což je stabilní organická frakce, rozložitelná v průběhu stovek až tisíců let.

Podle Váchalové et al. (2016) je dělení půdní organické hmoty podobné, dělí se na primární půdní organickou hmotu, která neprošla humifikačními procesy, a na organickou hmotu, neboli humus, který prošel humifikačními procesy.

Šarapatka & Urban (2006) organickou hmotu dělí na biomasu, materiály nehumusové povahy a humus. Humus pak dělí na nehuminové a huminové látky. Huminové látky ještě dělí na fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy.

Humus zahrnuje všechny organické látky v půdě, mimo nerozložených tkání rostlin a živočichů, produktů rozkladu a půdní biomasy. Z huminových látek je humin nejtmavší a je nejodolnější k mikrobiálnímu rozkladu. Někdy je sem zahrnováno humusové uhlí jako nejstarší složka půdní organické hmoty. Huminové kyseliny či humáty mají střední odolnost vůči rozkladu a tmavší barvu než fulvokyseliny. Fulvokyseliny se rychle rozkládají a mohou vznikat při nižší biologické aktivitě nebo štěpením látek s vyšší molekulovou hmotností. Někteří autoři uvádějí, že vznikají v počáteční fázi humifikace (Šarapatka, 2014).

Správné rozlišování organické hmoty je zásadní, protože její nesprávné členění může vést k nepřesným závěrům. Proto je důležité jednoznačně rozlišovat mezi primární organickou hmotou a humusem (Mrázková et al. 2017).

Další práce dělí humus na humus živný, sem patří fulvokyseliny a látky nehuminové, a humus stálý, kam se zařazují huminové kyseliny a humin (Šarapatka, 2014).

Jak bylo popsáno výše, půdní organická hmota se dříve soustředila především na huminové látky. Ty představují komplexní a stabilní sloučeniny, které byly považovány za hlavní formu organického uhlíku v půdě (Lehmann & Kleber, 2015; Lavallee et al. 2020).

Používání pojmů jako humus a huminové látky je stále upřednostňováno před výrazy, jako je organický uhlík nebo půdní organická hmota (Kopecký et al. 2022).

Jiný přístup k půdní organické hmotě je chápán jako souvislý proces přeměny organických sloučenin, které se v půdě postupně rozkládají a přecházejí z jedné fáze do druhé. Dělí se do různých forem na partikulovanou organickou hmotu (*particulate organic matter* - POM), organickou hmotu vázanou na půdní minerály (*mineral-associated organic matter* - MAOM) a rozpuštěnou organickou hmotu (*dissolved organic matter* - DOM) (Lehmann & Kleber, 2015; Lavallee et al. 2020).

Partikulovaná (částeczková) organická hmota, POM, se vyskytuje ve formě fragmentů viditelných pouhým okem a skládá se z částečně rozloženého rostlinného materiálu (Lavallee et al. 2020).

Organická hmota vázaná na půdní minerály, MAOM se tvoří z rozložených těl a metabolických produktů bakterií a hub, z kořenových exudátů rostlin nebo z rostlinného materiálu ve velmi pokročilých stádiích rozkladu. Tato hmota se nachází ve formě mikroskopických povlaků pokrývajících povrch půdních částic (Yu et al. 2022).

Organická hmota vázaná na půdní minerály zůstává v půdě mnohem déle než partikulovaná organická hmota, která je náchylnější k rozkladu půdní mikroflórou, a proto se rozkládá rychleji (Lehmann & Kleber, 2015).

Partikulovaná organická hmota je výrazně ovlivnitelná zemědělskými zásahy, které narušují půdní strukturu, například orbou. Proto není tak efektivní pro dlouhodobé ukládání uhlíku v půdě jako organická hmota vázaná na půdní minerály, přesto však jeho přítomnost a rozklad v půdě mohou přispět ke vzniku nových částic organické hmoty vázané na půdní minerály (Lavallee et al. 2020).

3.2.2 Formy organických látek a organické hmoty v půdě

Organické látky vstupující do půdy pocházejí z různých zdrojů. Podle původu je rozdělujeme na rostlinné, živočišné, mikrobiální a antropogenní, přičemž antropogenní zahrnují spady xenobiotických látek. Největší část mrtvé biomasy připadá na odumřelé rostliny, významné jsou i mrtvá těla živočichů, mikroorganismy a jejich metabolické produkty (Šimek et al. 2019a).

Všechny formy organických látek uvedených v předchozí kapitole výše, včetně stále platných huminových látek, přispívají k půdním vlastnostem, jak fyzikálním, tak chemickým, a tím ovlivňují i její funkční charakteristiky (Šarapatka 2014).

Organické látky v půdě z hlediska jejich rozkladu a dostupnosti dělíme na snadno rozložitelné a dostupné (labilní), hůře dostupné (rekalcitrantní) a na ty, které jsou téměř nerozložitelné (inertní). Dostupné labilní organické látky, jako kořenové exsudáty obsahující monosacharidy, aminokyseliny a organické kyseliny, podporují zvětrávání hornin a uvolňování živin, zejména fosforu. Monosacharidy vznikají fotosyntézou, slouží jako zdroj energie a základ pro pomaleji rozložitelné látky, jako jsou celulóza a lignin, tyto látky nazýváme rekalcitrantní (Šimek et al. 2019a).

Kirkels et al. (2014) popisují existenci organických látek dle forem a dělí je na labilní, relativně nerozloženou organickou hmotu, a na vázanou v rámci půdních agregátů a v komplexní formě chráněnou vazbami na minerální částice. Labilní forma je redistribuována a mineralizována, avšak erozní a sedimentační procesy mohou způsobit přechody mezi jednotlivými formami, například rozrušením agregátů.

Organické látky v půdě zahrnují labilní složky rychle využívané mikroorganismy, hůře rozložitelné či rekalcitrantní látky a inertní uhlík, který se rozkládá nejdéle. Labilní látky jsou důležité jako zdroj energie pro mikroorganismy a živočišnou biomasu (Bronick & Lal, 2015).

Živočišná biomasa, tvořená převážně vodou a chitinem, dodává půdě uhlík a dusík. Těla živočichů jsou významným zdrojem organické hmoty, zatímco jejich exkrementy jsou hůře rozložitelné (rekalcitrantní). Mikrobiální biomasa stejně jako živočišná je labilní a rychle se rozkládá (Šimek et al. 2019a).

3.2.3 Význam organické hmoty v půdě

Význam organické hmoty v půdě a informace o chování půdní organické hmoty jsou velmi důležité, protože půda má velký potenciál sekvestrovat uhlík, což může být jedno z řešení problémů globálního oteplování (Lavallee et al. 2020).

Zvyšování půdního organického uhlíku na rozsáhlých plochách orné půdy, včetně vylepšených postupů hospodaření po celém světě, může významně přispět ke zlepšení sekvestrace uhlíku a zmírnění klimatických změn (Zomer et al. 2017).

Organická hmota má na fyzikální a chemické vlastnosti půdy větší vliv, než by naznačoval její poměrně nízký podíl v půdě (Šimek et al. 2019a).

Navíc množství organické hmoty a zároveň množství půdního uhlíku pozitivně ovlivňuje půdní úrodnost a zdraví půdy. Zvýšení uhlíku v půdě znamená zlepšení fyzikálních vlastností půdy, lepší schopnost zadržování vody a ekologickou odolnost včetně potenciálního

zvýšení zemědělské produkce. Půda také získává větší odolnost vůči suchu a sezónním výkyvům, což pomáhá předcházet dopadům způsobeným degradací půdy (Zomer et al. 2017).

Půdní organický uhlík hraje podstatnou roli v půdní úrodnosti a zdraví (Nelson & Sommers, 1996). Je důležité nejprve uchovat stávající půdní organický uhlík a poté se snažit o zvýšení chybějícího vyčerpaného uhlíku (Beillouin et al. 2023). Půdy chudé na organickou hmotu mají horší strukturu, méně stabilní půdní agregáty a omezenou kapacitu pro zadržování živin, menší hydraulickou vodivost a menší schopnost zadržet vodu (Leroy et al. 2008). Pro správnou funkci půdy a úspěšné pěstování plodin je zásadní určitá hladina organické hmoty. Vyšší obsah však nemusí být vždy výhodou, neboť klíčovým faktorem je její složení a biologické, chemické i fyzikální vlastnosti (Šimek et al. 2019b). Pro zvýšení obsahu organické hmoty v půdě se doporučuje aplikace organických hnojiv (Hutchinson et al. 2007). Půdní organická hmota ovlivňuje mnoho vlastností půdy, včetně cyklu živin, přičemž její množství a složení závisí na způsobu využívání půdy, typu půdy, klimatu a vegetaci (Loveland & Webb, 2002). Půdní organická hmota je neustále doplňována kořenovými exsudáty a posklizňovými zbytky (Šarapatka, 2014). Půdní mikroorganismy jí využívají jako hlavní zdroj energie a živin. Snižování celkového obsahu uhlíku v půdě, způsobené například nevhodným managementem nebo znečištěním, je obvykle pomalý proces. Mikrobiální biomasa však na tyto změny reaguje výrazně rychleji a může sloužit jako citlivý indikátor změn v půdních podmínkách (Šimek et al. 2019a).

3.2.4 Zásoby organické hmoty v půdě a jejich hodnocení

Množství organického uhlíku v půdě světa je 1 550 Pg, z toho 950 Pg je ve formě uhličitánů (Lal, 2008; Batjes, 1996). Dle Zomer et al. (2017) je celková půdní zásoba uhlíku do hloubky jednoho metru odhadovaná na 2 500 Pg C, přičemž 1 500 Pg C připadá na půdní organický uhlík. To je přibližně 3,2 krát větší zásoba než atmosférická zásoba uhlíku a 4 krát více než je uloženo v biosféře.

Zásoba organického uhlíku je v celém půdním profilu až 3 000 Pg C, do 3 metrů se odhaduje jeho množství na 2 300 Pg C. Do hloubky 1 metru se počítá se zásobou mezi 1 325 a 1 500 Pg organického uhlíku (Lal, 2008).

Stále se doplňují informace o množství uhlíku v půdách a je pravděpodobnější, že novější údaje jsou přesnější, proto se předpokládá, že celkový obsah organického uhlíku v půdách je odhadován na 3 000 Pg, z toho dvě třetiny v půdní vrstvě do 1 metru. Odhady se pohybují mezi 1 200 Pg a 3 051 Pg (Šimek et al. 2019a).

Odhady zásob organického uhlíku jsou nejisté, rozhodující množství je však v hloubce do jednoho metru (Minasny et al. 2017).

Dle Lal et. al (2015) je uhlík v půdách nejenom blízko povrchu půdy, ale také v celé hloubce půdního profilu, např. více jak 50 % zásob organického a anorganického uhlíku do hloubky 1 m je uloženo v podloží pod hloubkou 0,3 m. Koncentrace půdního organického uhlíku je pak v povrchových půdách vyšší než ve větších hloubkách.

Mimo organické sloučeniny obsahuje půda také uhlík ve formě anorganických látek, především uhličitánů. Celkový obsah anorganického uhlíku v půdách ve formě uhličitánů se přibližně odhaduje na 940 Pg C (Brady & Weil, 2014). Podle Horwath (2015) je přibližné množství anorganického uhlíku do 1 m hloubky půdy 748 Pg C.

V povrchových vrstvách většiny minerálních půd se nachází několik procent organických látek podle hmotnosti, což odpovídá zhruba 20-50 gramům organického uhlíku na jeden kilogram suché půdy (Friedlingstein et al. 2020).

Dle Georgiou et al. (2022) se celkové množství globálního uhlíku ve frakci organické hmoty vázané na půdní minerály odhaduje na 899 Gt C do hloubky 1 m, přičemž 50 % tohoto množství se nachází v horních 30 centimetrech půdního profilu.

Co se týká zásob uhlíku v České republice, pak se počítá s hmotností 950 393 943 tun. Největší část tohoto množství, konkrétně 547 200 278 tun, je uložena v půdě, odhad je 57,6 % (Pechanec et al. 2018).

3.2.5 Sekvestrace a odhad potenciální sekvestrace uhlíku v půdě

Sekvestrace je tzv. oddělení části uhlíku od jeho globálního cyklu. Sekvestrace uhlíku v půdě je proces dlouhodobého zachycování a ukládání uhlíku v půdě, který snižuje jeho koncentraci v atmosféře (Johnson et al. 2007; Šimek et al. 2019b).

Dle Olson et al. (2014) je sekvestrací uhlíku přenos CO₂ z atmosféry do půdy prostřednictvím rostlin a organických látek, které se stávají součástí organické hmoty. Uhlík může být v půdě zadržen krátkodobě nebo až po tisíciletí.

Sekvestrace uhlíku v půdě je proces zachycování a ukládání atmosférického oxidu uhličitého do půdy (Lal et al. 2015). Sekvestrace uhlíku v zemědělských půdách není jen strategií ke zmírnění klimatických změn, ale také způsobem, jak zlepšit zdraví půdy a zemědělskou produktivitu (Kimble et al. 2002).

Správně obhospodařovaná půda má potenciál vázat uhlík z atmosféry a disponuje značnou kapacitou pro sekvestraci uhlíku. Schopnost je ale omezena dosažením bodu nasycení. Po jeho překročení může půda přestat fungovat jako rezervoár a stát se zdrojem CO₂, případně dosáhnout rovnováhy. Bod nasycení je ovlivněn vlastnostmi půdy, zejména obsahem a typem jílu, které určují míru ochrany organického uhlíku (Kane, 2015).

Každá půda má svůj práh nasycení uhlíkem, přičemž účinnost jeho sekvestrace se s přibližováním k tomuto limitu postupně snižuje (Stewart et al. 2007).

Uhlík v půdě existuje v různých formách, které se liší dostupností pro organismy. Čerstvá organická hmota se mění působením půdních živočichů na drobné částice, tzv. particulate organic matter (POM), které jsou snadno rozložitelné a dobře přístupné mikroorganismům (Šimek et al. 2019b). Labilní látky jsou důležité jako zdroj energie pro mikroorganismy a živočišnou biomasu (Bronick & Lal et al. 2015).

Půdní uhlík se často ve velmi krátké době vrátí do atmosféry (Kane, 2015). Stabilizace nastává, když se půdní uhlík obalí minerálními částicemi, čímž se snižuje dostupnost organické hmoty a zvyšuje její odolnost, organická hmota se stává rekalcitrantní (Šimek et al. 2019a). Uhlík je více chráněn před mikroorganismy a fyzikálními či biochemickými procesy, jeho doba zdržení je od několika let až desetiletí (Kane, 2015). Dle Bronick & Lal et al. (2015) je rekalcitrantní organická hmota odolnější vůči rozkladu a doba rozkladu uhlíku tedy trvá déle, měsíce až roky. Organická hmota, která zůstává v půdě v rozmezí od staletí do tisíciletí a je téměř nerozložitelná se nazývá inertní, (Kane, 2015). Zásobníky uhlíku (labilní i

rekalcitrantní) mohou být stále náchylné s přísunem čerstvé organické hmoty vlivem tzv. priming efektu. Tento jev označuje krátkodobou změnu rozkladu půdní hmoty vlivem zvýšené aktivity mikroorganismů (Šimek et al. 2019a).

Půdní organická hmota je bohatá na dusík a je cenným zdrojem pro mikroorganismy. Malý přírůstek uhlíku, cca 15 % mikrobiální biomasy, zvyšuje rozklad a produkci CO₂, jedná se o pozitivní priming efekt. Vyšší přírůstek, nad 50 %, snižuje produkci CO₂ a podporuje jeho ukládání, jedná se o negativní priming efekt (Šimek et al. 2019b).

Schopnost půdy ukládat uhlík je limitována saturací, přičemž každá půda má specifický limit. Po jeho dosažení se účinnost sekvestrace snižuje. Uhlíková saturace nastává, když se zásoby minerálně asociované organické hmoty (MAOM) přestanou zvětšovat (Stewart et al. 2007). V tomto stavu konstantní přísun uhlíku nezvyšuje obsah MAOM. Nové vstupy uhlíku se akumulují pouze v nechráněné formě, která je rychle nebo postupně mineralizována, což omezuje další ukládání uhlíku (Castellano et al. 2015). Naopak o uhlíkově deficitní půdu se jedná, když zvýšení přísunu uhlíku vede ke zvýšení obsahu MAOM (Stewart et al. 2007).

Přesto za posledních 60 let změnou využívání půdy došlo k úbytku 116 Gt uhlíku ve 2 m hloubky půdy. Navýšíme-li ho, dojde ke zvýšení sekvestrace uhlíku v půdách. Rozhodující množství půdního organického uhlíku je v hloubce do jednoho metru (Scharlemann et al. 2014; Minasny et al. 2017).

Obecně je odhadovaná rychlost sekvestrace půdního uhlíku od 100 do 1 000 kg C/ha/rok pro půdní organický uhlík a 2-5 kg C/ha/rok pro sekundární uhličitany. Rychlost sekvestrace půdního organického uhlíku je vyšší v půdách chladných a vlhkých než v půdách, kde převládá teple a suché podnebí (Lal et al. 2015).

Vyšší teplota urychluje rozklad organických látek, což vede k nižšímu obsahu organické hmoty v půdě. Naopak vyšší vlhkost půdy obvykle znamená vyšší obsah organické hmoty. Zamokřené půdy se špatnou aerací obsahují více organické hmoty než dobře provzdušněné půdy (Šimek et al. 2019a).

V kapitolách 3.1.1 a 3.1.2 je popsán globální cyklus uhlíku, zahrnující fixaci oxidu uhličitého fotosyntézou, tvorbu a rozklad biomasy a návrat oxidu uhličitého do atmosférického zásobníku. Emise oxidu uhličitého z půdy jsou nevyhnutelné, jelikož vyplývají z aktivity půdních mikroorganismů a jsou přirozenou součástí uhlíkového cyklu. (Šimek et al. 2019b).

Janzen (2006) klade otázku, zda by se měl být půdní organický uhlík hromadit nebo využívat. Sekvestrace uhlíku zahrnuje zvýšení jeho obsahu v půdě, včetně organické hmoty. Současně je však rozložená organická hmota klíčová pro podporu života v půdě a biologické procesy. Lze buď upřednostnit sekvestraci uhlíku na úkor biologické aktivity, nebo podporovat biologickou aktivitu snižováním zásob organického uhlíku v půdě. Řešením je zvýšení vstupu uhlíku do půdy, které podpoří sekvestraci i biologické procesy rozkladu a mineralizace. Klíčové je navracení organických zbytků z plodin či organických hnojiv, jako jsou hnůj a komposty, apod. (Šimek et al. 2019b). Možnosti zvýšení obsahu uhlíku jsou podrobněji rozebrány v následující kapitole.

3.2.6 Způsoby hospodaření vedoucí ke zvýšení obsahu uhlíku

Rozsáhlé výzkumy v posledních letech ukázaly, že správným obhospodařováním půdy se mohou zvýšit zásoby uhlíku na zemědělských půdách. Jedná se o přidávání organických hnojiv, meziplodin, mulčování, řízení úrodnosti, konzervační zpracování půdy, popřípadě agrolesnictví či střídavá pastva (Zomer et al. 2017).

Kvalita a úrodnost půdy jsou klíčové pro dlouhodobou udržitelnost na Zemi. Intenzivní hospodaření v posledních desetiletích sice přineslo výrazný nárůst výnosů plodin, to ale způsobilo negativní dopady, jako je zvýšení eroze, snížení biologické aktivity v půdě, úbytek organické hmoty a pokles obsahu uhlíku v půdě (Šarapatka & Urban, 2006).

Vácha (2019) upozorňuje, že úbytek půdní organické hmoty zvyšuje náchylnost půdy k vodní a větrné erozi, snižuje její schopnost vázat živiny, omezuje filtrační a retenční kapacitu a zhoršuje zadržování kontaminantů, čímž zvyšuje jejich mobilitu. Dále vede ke snížení pufrací schopnosti půdy, což zvyšuje riziko acidifikace a celkově negativně ovlivňuje její produkční schopnost.

Organická hmota v půdě je stále více vnímána jako potenciální zdroj uhlíku uvolňovaného globálním oteplováním. Podporu sekvestrace uhlíku lze zajistit zpomalením jejího rozkladu, což zahrnuje omezení orby a kultivačních zásahů. Optimální obsah organické hmoty podporuje racionální agrotechnika, jako je aplikace chlévského hnoje, kompostů a zeleného hnojení. Degradaci organické hmoty zpomalí šetrné zpracování půdy s omezením orby a minimalizací kultivačních operací (Šimek et al. 2019b).

Pokles optimálního obsahu půdního organického uhlíku přispívá k degradaci půdy, narušení jejích ekosystémových funkcí a zvýšeným emisím CO₂ do atmosféry. Je odhadováno, že za poslední čtvrtstoletí na celém světě došlo k úbytku půdního organického uhlíku v zemědělských půdách (Milne et al. 2015).

Podle Randusové (2014) je nízký obsah půdního organického uhlíku závažným problémem, který postihuje téměř polovinu evropské půdy. Tento jev je politicky vnímán jako hrozba pro kvalitu a funkčnost půdy i celého životního prostředí, proto je snaha o snížení jeho ztrát.

Snížení ztrát uhlíku lze dosáhnout ochranou půdy před mineralizací a erozí, aplikací hnojiv, které přinese zvýšení obsahu uhlíku (Lal et al. 2015).

Mineralizaci lze omezit minimálním zpracováním půdy, kdy se půdy nekypří orbou, a tím se snižuje provzdušnění. Na těžkých jílovitých půdách však orba zůstává nezbytná kvůli zhutňování. Ke zvýšení organického uhlíku je klíčové dodání odolné organické hmoty, například kompostů či chlévského hnoje. Zaorávka rostlinných zbytků nebo zeleného hnojení, zejména jetelovin a luskovin, již nemá tak výrazný účinek (Šimek et al. 2019b).

Zvýšení obsahu uhlíku podporuje vyšší kvalita a množství rostlinných a živočišných vstupů do půdy, udržení celoročního rostlinného pokryvu, zlepšení mikrobiální diverzity a snížení narušení půdy (Kane, 2015).

U narušených půd dochází ke ztrátám organického uhlíku vlivem eroze. Pěstováním zemědělských plodin se do půd dostává mnohem méně organických látek než přirozenou vegetací (Randusová, 2014).

Více organických látek v podobě obsahu organické hmoty a zvýšeného obsahu uhlíku v půdě je v chlévském hnoji, který podporuje koloběh živin, biologické procesy a je klíčový v

ekologickém zemědělství. Na rozdíl od konvenčního zemědělství, které organickou hmotu často snižuje, ekologické systémy využívají jeteloviny a jetelotrávy k zlepšení pórovitosti, vodní kapacity a stability půdní struktury. Organická hmota slouží jako hlavní zdroj živin pro půdní organismy, zatímco minerální hnojiva působí nepřímo přes zvýšenou rostlinnou produkci (Šarapatka & Urban, 2006).

Kvalitních organických hnojiv je v České republice málo, z důvodu nízkého stavu dobytka, a tím i nízké produkci chlévské mrvy, stejně tak i nedostatkem vhodných surovin pro kompostování. V našich podmínkách by se mělo pro udržení organické hmoty v půdě dodat do půdy cca 5-6 t/ha organických látek hnojením. Ideální je aplikovat jednou za 3-4 roky. Nevyhovující jsou například kaly z čistíren odpadních vod, které by mohly znečistit půdy. (Šimek et al. 2019b).

Další možností zvýšení obsahu uhlíku lze dosáhnout také ponecháním zelených úhorů, které podporují čistý zisk uhlíku. Popřípadě zvýšením podzemní biomasy prostřednictvím vyšší produkce kořenů, což je v kontrastu se současnými osevními postupy preferujícími rostliny s mělkým kořenovým systémem (Kane, 2015).

Většina půd na světě je stále daleko od dosažení nasycení uhlíkem a může významně profitovat ze zvýšeného přísunu organického uhlíku. Nevhodné hospodaření však často způsobuje, že půdy jsou hluboko pod svou kapacitní hranicí pro ukládání uhlíku (Lal, 2004).

Zvýšení obsahu uhlíku lze docílit použitím biocharu či biouhlu a dalšími opatřeními, mezi která patří střídání plodin, využití mulče, rekultivace degradovaných půd a efektivní kapkové závlahy (Lal et al. 2015).

Biouhel (biochar) je v současnosti studován pro schopnost sekvestrace uhlíku díky organickému uhlíku odolnému rozkladu a příznivé účinky na půdu. Přispívá ke snížení ztrát živin omezením vyplavování dusíku, zvyšuje kationtovou výměnnou kapacitu, snižuje ztráty vody, zmírňuje kyselost a váže rizikové prvky. Nevýhodou je tmavá barva, která může zahřívát půdu a urychlovat mineralizaci, avšak tento negativní efekt je ve srovnání s přínosy zanedbatelný (Šimek et al. 2019a).

3.3 Orné půdy a trvalé travní porosty

Zkoumané půdy jsou zemědělské půdy, které patří do zemědělského půdního fondu. Zákon České národní rady č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu ve znění pozdějších předpisů definuje zemědělský půdní fond jako jednu ze složek životního prostředí a nenahraditelný omezený přírodní zdroj umožňující zemědělskou výrobu. Ochrana produkčních i mimoprodukčních funkcí zemědělského půdního fondu, zlepšování jeho stavu a jeho udržitelné využívání jsou činnosti, kterými je zajišťována ochrana životního prostředí.

Podle výše uvedeného zákona tvoří zemědělský půdní fond pozemky zemědělsky obhospodařované, jako orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty a půda, která byla a má být nadále zemědělsky obhospodařována, ale dočasně obdělávána není, dále jen zemědělská půda.

Zemědělská půda z celkové rozlohy České republiky zaujímá více než polovinu, přibližně 53,3 %. Většina zemědělské půdy je využívána k produkci plodin, které se pěstují na orné půdě (Šarapatka et al. 2021).

Podobně jako ostatní přírodní vědy má i pedologie stanovený systém, známý jako půdní klasifikace. Základní jednotkou klasifikace je půdní typ, definovaný jako skupina půd sdílejících podobné morfologické a analytické znaky, které vznikly působením určitého souboru půdotvorných činitelů. Půdy jednoho typu vznikly vlivem stejného hlavního půdotvorného procesu a vyznačují se charakteristickou kombinací půdních horizontů, která je pro daný typ konstantní (Tomášek, 2014).

V České republice se v současnosti využívá Taxonomický klasifikační systém půd ČR (Němeček et al. 2011), který poskytuje jednotný přístup ke klasifikaci půd bez ohledu na jejich využití, ať už se jedná o zemědělské, lesní či městské půdy. Tento systém umožňuje také převod na mezinárodní klasifikační standardy, a to s různou mírou přesnosti v závislosti na specifikách půd. Celkem rozlišuje 26 půdních typů, které jsou zařazeny do 15 referenčních tříd, což zajišťuje přehlednost a konzistenci při hodnocení půdního pokryvu na území ČR (Šarapatka et al. 2021).

Z celkové rozlohy České republiky 78 871 km² tvořila k 31.12.2024 zemědělská půda 53,2 %, přibližně 41 941 km². Dále 34,0 % lesní pozemky, 24,7 % trvale travní porosty, 2,2 % vodní plochy a 1,7 % zastavěné plochy a nádvoří. V dlouhodobém pohledu se za posledních 30 let snížila výměra zemědělské půdy o 88 tisíc ha, orné půdy o 273 tisíc ha, naopak vzrostla výměra trvale travních porostů o 39 tisíc ha, lesních pozemků o 53 tisíc ha, vodních ploch o 12 tisíc ha, zastavěných ploch a nádvoří o 7 tisíc ha a ostatních ploch o 17 tisíc ha (ČSÚ 2025).

Ze zemědělského půdního fondu je diplomová práce zaměřená převážně na ornou půdu a trvalé travní porosty.

3.3.1 Orná půda

Na Zemi se odhaduje, že přibližně 48 milionů km² půdy je využíváno pro zemědělství (Erenstein et al. 2021).

Odhaduje se, že orné půdy na Zemi je přibližně 14 milionů km² (Právělie et al. 2021).

Orná půda v České republice tvoří cca 70 % rozlohy zemědělské půdy, přičemž neustále dochází k ubytku orné půdy, na které jsou v rámci osevních postupů střídány jednotlivé plodiny podle pěstitelských oblastí a vlastního zaměření (Šarapatka et al. 2021).

Rostlinná výroba v České republice se soustředí na pěstování plodin pro potravinářské a krmivářské účely, ale také na produkci surovin pro farmaceutický a lehký průmysl. Dominantní postavení mají obilniny, které pokrývají více než polovinu obdělávané půdy. K dalším významným plodinám patří olejniny, luskoviny, píce, cukrová řepa a brambory. Vedle toho se pěstuje široká škála ovoce, zeleniny, chmele, révy vinné a také léčivých, aromatických a kořeninových rostlin. Rostlinná výroba zahrnuje i produkci osiv, péči o úrodnost půdy a ochranu rostlin před škůdci a chorobami (Hofman et al. 2021).

3.3.2 Uhlík v orné půdě

Organický uhlík v orné půdě významně ovlivňuje tvorbu a stabilitu půdních agregátů, a tím i celkovou půdní strukturu. Přičemž má klíčovou roli v regulaci pórovitosti, vodního režimu půdy, kationtové výměnné kapacity, pufrací schopnosti a aktivitě půdních organismů (Milne et al. 2015).

Naopak sníží-li se obsah organického uhlíku v orných půdách, povede to k degradaci půdy, zhoršení její funkce a taktéž ke zvýšení emisí oxidu uhličitého v atmosféře, proto by měla být snaha o ochranu, obnovu či navýšení organického uhlíku v půdě (Banwart et al. 2015).

Zásoby půdního organického uhlíku v orných půdách dnes výrazně ovlivňuje lidská činnost, jako je intenzivní orba, zhutňování půdy či používání hnojiv a pesticidů, které mění přirozené půdní procesy (Joosten, 2015).

Podle Horwath (2015) je obsah organického uhlíku v orných půdách na Zemi průměrně 7,9 kg/m², průměrné vstupy jsou 0,48 kg C/m²/rok. Celková zásoba uhlíku v biomu orné půdy je 195 Pg uhlíku, z toho pak v rostlinách 23 Pg uhlíku a 172 Pg uhlíku v půdě.

Smith (2008) uvádí zásobu uhlíku v orné půdě v Evropě 53 t/ha pro hloubku 0-30 cm.

Obsah organického uhlíku v půdě v ČR se může vyjadřovat pomocí parametrů Corg nebo Cox. Kvalita organické hmoty závisí na jejích frakcích a podmínkách transformace. Při hodnocení je třeba uvádět typ uhlíku a metodu stanovení. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský sleduje obsah oxidovatelného uhlíku, neboli Cox. Od roku 2014 do roku 2022 se obsah Cox stanovoval v 35 000 vzorcích pokrývajících 500 tisíc hektarů zemědělské půdy. Ve výběru byly zastoupeny půdy rozdílných půdních typů, druhů a různých klimatických regionů. Hodnocení Cox v orných půdách ukázalo relativně malé rozpětí průměrného obsahu, pohybující se mezi 1,40-2,01 %. Průměr v ČR byl 1,6 % Cox (Smatanová, 2021).

Tab. 1: Deskriptivní statistika Cox orných půd v krajích a prozkoušená výměra za období 2014 - 2022 (Smatanová, 2021)

Kraj	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Středočeský	1,61	1,56	0,33	4,90	5 003	56 484
Jihočeský	1,72	1,67	0,35	3,99	2 643	17 012
Plzeňský	1,52	1,51	0,35	3,89	2 775	32 171
Karlovarský	2,01	1,99	0,60	3,62	1 219	9 578
Ústecký	1,72	1,70	0,35	3,51	2 363	46 902
Liberecký	1,52	1,52	0,35	3,26	1 071	16 922
Královéhradecký	1,57	1,61	0,04	5,05	1 852	38 215
Pardubický	1,40	1,44	0,18	3,80	2 862	58 969
Vysočina	1,63	1,65	0,35	4,23	3 490	44 877
Jihomoravský	1,68	1,60	0,35	4,46	2 655	48 901
Olomoucký	1,61	1,57	0,70	4,80	2 459	46 912
Moravskoslezský	1,52	1,48	0,63	2,91	1 663	27 116
Zlínský	1,82	1,83	0,90	4,78	627	14 100
ČR orná půda	1,60	1,59	0,35	5,05	30 787	460 219

Klimatické podmínky významně ovlivňují obsah půdní organické hmoty. Klíčovými faktory jsou teplota, srážky, délka suchého období a nadmořská výška. V ČR je pro účely BPEJ rozlišeno 10 klimatických regionů. Rychlost rozkladu organických látek závisí na teplotě a vlhkosti (Smatanová, 2021).

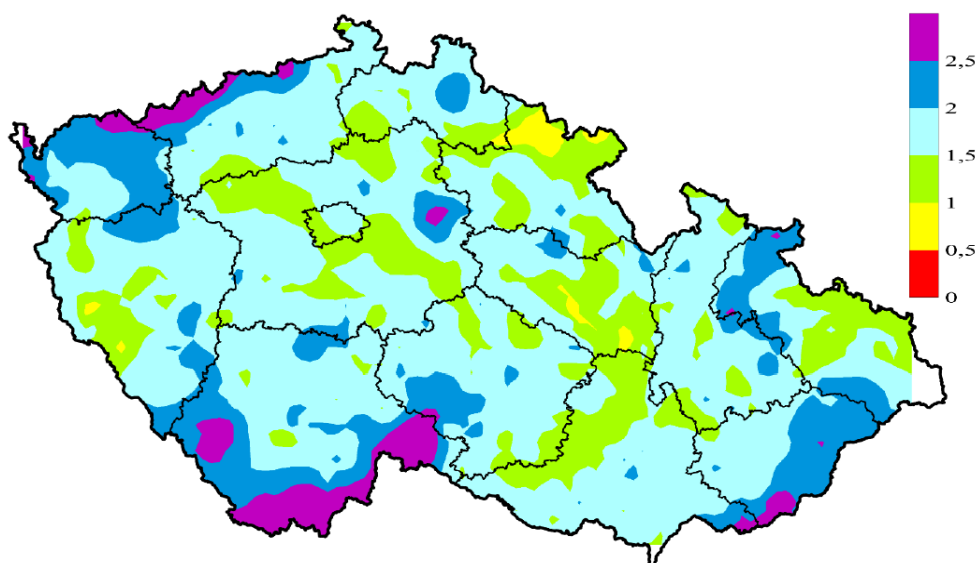
Vyšší teplota rozklad organických látek urychluje, zatímco vyšší vlhkost ho zvyšuje (Šimek et al. 2019b).

Znehodnocená půda má menší množství obsaženého organického uhlíku, než je její možná kapacita (Lal et al. 2015).

V následující tabulce je uveden obsah oxidovatelného uhlíku v zemědělských půdách Cox od roku 2014 do roku 2021 podle klimatického regionu zjišťovaný Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským

Tab. 2: Deskriptivní statistika Cox v zemědělských půdách podle klimatického regionu za období 2014 - 2021 (Smatanová, 2021)

Klimatický region	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků
VT–velmi teplý, suchý	1,70	1,64	0,35	4,26	1 425
T1–teplý, suchý	1,75	1,71	0,35	3,51	2 232
T2–teplý, mírně suchý	1,76	1,59	0,33	4,90	1 468
T3–teplý, mírně suchý	1,64	1,57	0,57	4,80	5 123
MT1–mírně teplý, suchý	1,54	1,52	0,35	3,97	2 350
MT2–mírně teplý, mírně vlhký	1,52	1,55	0,35	5,05	9 148
MT3–mírně teplý, vlhký, nížinný	1,63	1,57	0,70	3,92	1 270
MT4–mírně teplý, vlhký	1,63	1,67	0,00	4,47	8 673
MCH–mírně chladný, vlhký	1,98	1,98	0,18	6,18	2 574
CH–chladný, vlhký	2,68	2,60	0,72	6,83	450



Obr. 4: Zobrazení obsahu Cox zemědělských půd za období 2014-2022 (Smatanová, 2021).

3.3.3 Trvalé travní porosty

Travní porosty jsou podstatnou součástí životního prostředí, mimo jiné tím, že jejich rozloha se pohybuje mezi 25-40 % výměry zemědělské půdy a z pohledu České republiky pak 12 % výměry státu (Fiala & Kulovaná, 2001).

Trvalé travní porosty v České republice tvoří téměř čtvrtinu rozlohy zemědělské půdy, konkrétně 24,8 %, což vyplývá z údajů Českého statistického úřadu z roku 2024 (ČSÚ 2025; eAGRI 2025).

Trvalé travní porosty se zakládají v oblastech nevhodných pro ornou půdu, například na kamenitých, svažitých či podmáčených stanovištích, nebo v místech s krátkou vegetační dobou či nedostatečnou mocností ornice. Pokud nejsou ovlivňovány hnojením či sečením, odpovídají přirozeným stanovištním podmínkám. V méně vhodných oblastech jsou využívány extenzivně nebo ponechány ladem, zejména v důsledku úbytku skotu, což zvyšuje jejich ekologický význam. Odhaduje se, že nevyužívaná plocha činí 300-400 tisíc ha, tedy přibližně třetinu celkové výměry (Fiala & Kulovaná, 2001).

Trvalé travní porosty jsou významnou součástí zemědělské krajiny, která zajišťuje produkci píce, ochranu půdy před erozí a podporu biodiverzity (Tůma et al. 2020)

Trvalé travní porosty lze rozdělit podle způsobu hospodaření na pastviny, louky a smíšené porosty. Jejich kvalita a produkční potenciál jsou ovlivněny klimatickými a půdními podmínkami, způsobem managementu a intenzitou využívání (Kučera et al. 2019).

3.3.4 Uhlík v půdách trvalých travních porostů

Trvalé travní porosty se prokázaly jako nejefektivnější způsob managementu pro uchování organického uhlíku (Vleeshouwers & Verhagen, 2002). Travní porosty a těžší půdy mívají více organické hmoty než lehčí půdy či lesní půdy (Šimek et al. 2019b).

Podle Horwath (2015) je obsah organického uhlíku v travních porostech na Zemi 13,3 kg C/m², průměrné vstupy jsou 0,3 kg C/m²/rok.

Trvalé travní porosty hrají klíčovou roli v ukládání uhlíku v půdě, díky vysokému podílu podzemní biomasy a minimálnímu narušování půdního profilu v porovnání s ornou půdou (Tůma et al. 2020).

V půdě množství organického uhlíku závisí na podmínkách stanoviště, intenzitě hospodaření a délce trvání travního porostu (Kučera et al. 2019).

V kapitole 3.3.2. je uvedeno, že vážený průměr ze všech 30 787 odebraných vzorků v ČR v letech 2014-2022 z orné půdy je 1,6 %. Medián je 1,59 % Cox. U trvalých travních porostů bylo odebráno v ČR v letech 2014-2022 celkem 2 993 vzorků, přičemž vážený průměr byl 2,32 % a medián pak 2,35 % Cox (Smatanová, 2021).

Tab. 3: Statistika Cox v zemědělských půdách podle kultur za období 2014-2022 (Smatanová, 2021)

Kultura	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	1,60	1,59	0,35	5,05	30 787	460 219
Chmelnice	1,48	1,48	0,39	2,57	233	577
Vinice	1,54	1,42	0,35	2,66	182	367
Ovocný sad	1,62	1,58	0,73	3,35	524	2 383
TTP	2,32	2,35	0,35	6,83	2 993	36 260
ČR zemědělská půda	1,66	1,62	0,35	5,05	34 719	499 778

4 Metodika

4.1 Popisy území

Pro odběry vzorků byly zvoleny dva zemědělské podniky / společnosti v různých půdně-klimatických oblastech. Na následujícím obrázku 5 je jedním modrým křížkem označena Zemědělská společnost AGRO Jesenice u Prahy s půdami hnědozemě a kambizemě v teplejší oblasti České republiky. Druhý modrý křížek označuje umístění Zemědělské společnosti Svobodné, která leží v chladnější oblasti České republiky v Podkrkonoší, kde jsou kambizemě. Červeně jsou označena krajská města.



Obr. 5: Označení míst odebraných vzorků Zemědělské společnosti AGRO Jesenice u Prahy a Zemědělské společnosti Svobodné

4.1.1 Zemědělská společnost AGRO Jesenice u Prahy

Zemědělská společnost AGRO Jesenice u Prahy a.s. (dále jen AGRO) leží ve Středočeském kraji v okrese Praha – západ a v okrese Praha – východ. Společnost AGRO má několik divizí, z nejvýznamnějších jsou to rostlinná výroba, živočišná výroba, dále tři bioplynové stanice a kompostárna. Celkem na konci roku 2024 společnost obhospodařovala 4 930 ha zemědělské půdy. Z toho největší rozloha je rozloha orné půdy 4 500 ha, trvalých travních porostů pak bylo 260 ha a bez produkce 170 ha. Rostlinná výroba je zaměřena na pěstování potravinářské pšenice, sladovnického ječmene, řepky, máku, ozimého ječmene, triticales, ovsa a sóji, což jsou hlavní tržní plodiny. Z krmných plodin se pěstují víceleté pícniny, jako je vojtěška, jetel, a dále silážní kukuřice. Živočišná výroba je zaměřena na chov krav, na konci roku 2024 jich bylo 1 150, a chov prasat, kterých bylo 21 000 kusů. Tři bioplynové stanice zpracovávají převážně odpady živočišné výroby, jako je kejda a hnůj doplněný silážní kukuřicí (Kubiš, 2025).

4.1.2 Půdní podmínky AGRO Jesenice u Prahy

V AGRO Jesenice u Prahy, byly odebrány vzorky na půdních typech hnědozemě a kambizemě. Vzorky byly odebírány v nadmořské výšce od 322 do 443 m n. m. Hnědozemě jsou nejrozšířenější mezi 200 až 450 m n. m., jsou to co se týká terénu převážně plošiny, mírně zvlněné pahorkatiny, mohou být i ve vrchovinách. Půdotvorný proces je zde převážně illimerizace, kdy vrchní část profilu je ochuzována o jílnaté částice, které jsou vsakující vodou přemísťovány do hlubších půdních horizontů. Pod humusovým horizontem leží zesvětlený ochuzený horizont, neboli eluviální horizont, který je u většiny hnědozemí zlikvidován orbou. Jedná se nejčastěji o středně těžké, někdy těžší půdy. Co se týká humusu, jeho složení je ještě příznivé, oproti černozemím je jeho obsah nižší. Půdní reakce je často slabě kyselá, sorpční vlastnosti jsou zhoršeny, fyzikální vlastnosti jsou pak příznivé (Tomášek, 2014). Celkem zde bylo odebráno 12 vzorků, z toho jich 5 bylo na půdním typu hnědozemě a 7 na kambizemi. Půdní typ kambizem je popsána v kapitole 4.1.5., viz níže.

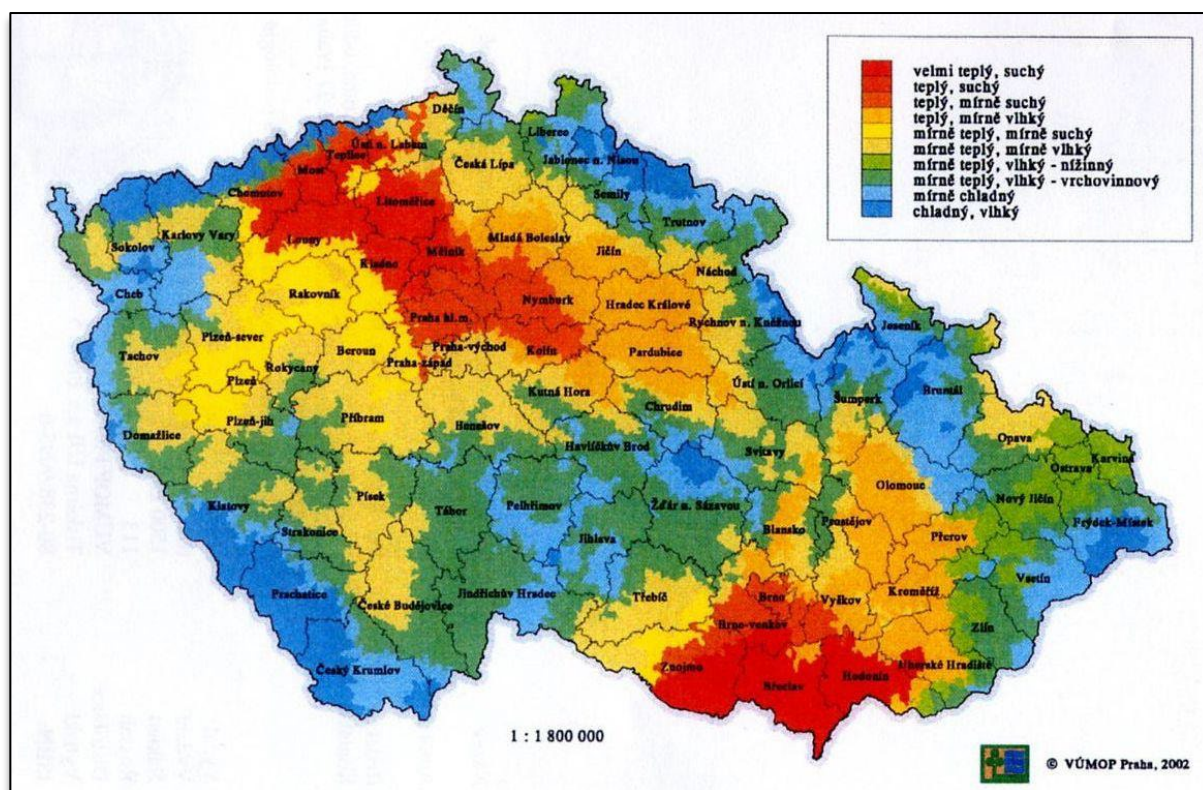
4.1.3 Klimatické podmínky AGRO Jesenice u Prahy

Klimatický region či lépe příslušnost ke klimatickému regionu je označena první číslicí bonitované půdně ekologické jednotky, tzv BPEJ, což je základní mapovací jednotka, která se označuje pětimístným kódem. Každá číslice v tomto kódu má specifický význam. První, jak bylo zmíněno, určuje klimatický region. Druhé a třetí číslo označuje hlavní půdní jednotku (HPJ) podle klasifikační soustavy. Čtvrté číslo vyjadřuje sklonitost terénu, expozici ke světovým stranám a jejich kombinaci. Páté číslo značí vzájemnou kombinaci hloubky půdy a skeletovitosti půdního profilu (Vopravil, 2011).

Na základě dat Českého hydrometeorologického ústavu z období 1901–1950 vymezil Vladimír Karský pro území České a Slovenské republiky deset klimatických regionů. Základní členění zahrnuje oblasti velmi teplé, teplé, mírně teplé, mírně chladné a chladné, které se dále dělí na subregiony suché, mírně suché, mírně vlhké a vlhké. Hlavním kritériem pro vymezení těchto klimatických regionů byla podobnost podmínek ovlivňujících růst a vývoj zemědělských plodin. Mezi rozhodující faktory patřily: roční suma průměrných denních teplot nad 10 °C, průměrná roční teplota vzduchu, pravděpodobnost výskytu suchého vegetačního období průměrný roční úhrn srážek a vláhové jistoty během vegetace. Podrobněji v následující tabulce č. 4. Doplnující indikátory byly nadmořská výška, výskyt fénových jevů, expoziční charakter krajiny, lokální historické záznamy, vztahy k dlouhodobým výnosovým trendům a další relevantní údaje. Na základě stanoveného formátu kódu BPEJ bylo nakonec vymezeno deset klimatických regionů, označených čísly 0 až 9 (Mašát, 2002).

Tab. 4: Základní charakteristiky klimatických regionů bonitovaných půdně ekologických jednotek ČR (Mašát, 2002)

kód KR	symbol KR	charakteristika regionů	suma teplot nad 10 °C °C	průměrná roční teplota °C	průměrný roční úhrn srážek mm	pravděpodobnost suchých vegetačních období v %	vláhová jistota ve vegetačním období
0	VT	velmi teplý, suchý	2800-3100	9 - 10	500 - 600	30 - 50	≤ 0 - 3
1	T1	teplý, suchý	2600-2800	8 - 9	pod 500	40 - 60	≤ 0 - 2
2	T2	teplý, mírně suchý	2600-2800	8 - 9	500 - 600	20 - 30	2 - 4
3	T3	teplý, mírně vlhký	2500-2800	(7) 8 - 9	550 - 650 (700)	10 - 20	4 - 7
4	MT1	mírně teplý, suchý	2400-2600	7 - 8,5	450 - 550	30 - 40	0 - 4
5	MT2	mírně teplý, mírně vlhký	2200-2500	7 - 8	550 - 650 (700)	15 - 30	4 - 10
6	MT3	mírně teplý (až teplý), značně vlhký	2500-2700	7,5 - 8,5	700 - 900	0 - 10	nad 10
7	MT4	mírně teplý, vlhký	2200-2400	6 - 7	650 - 750	5 - 15	nad 10
8	MCH	mírně chladný, vlhký	2000-2200	5 - 6	700 - 800	0 - 15	nad 10
9	CH	chladný, vlhký	pod 2000	pod 5	nad 800	0	nad 10



Obr. 6: Mapa klimatických regionů bonitovaných půdně ekologických jednotek ČR (Mašát, 2002).

Odběry vzorků ve společnosti AGRO Jesenice u Prahy byly provedeny v deseti případech na klimatickém regionu MT2 s charakteristikou regionu mírně teplý, mírně vlhký. Ve dvou případech pak na klimatickém regionu T2 s charakteristikou teplý, mírně suchý region.

Klimatický region MT2 - mírně teplý, mírně vlhký spadá do pátého klimatického regionu, který zahrnuje v Čechách západní, jižní a východní část Plzeňské pahorkatiny, severní a východní část České křídové tabule, značnou část Středočeské pahorkatiny, Budějovickou, Chebskou, Sokolovskou pánev, na Moravě pak jihovýchodní část Českomoravské vrchoviny, vyšší polohy Boskovické brázdy a pahorkatiny Opavsko-Hlučínské.

Průměrná roční teplota regionu MT2 je 7-8 °C. Roční suma průměrných denních teplot nad 10 °C je 2 200-2 500. Průměrný úhrn srážek je 550-650 mm a pravděpodobnost výskytu suchého vegetačního období je 15-30 % (Mašát, 2002).

Klimatický region T2 - teplý, mírně suchý spadá do druhého klimatického regionu, který je nejvíce zastoupen ve středních Čechách, od východních Čech od Vltavy po Kutnou Horu, v severozápadních Čechách. Na Moravě pak v západní a severní část Dyjskosvrateckého úvalu od Znojma po Brno a jižní část Vyškovské brány.

Ve dvou případech ve společnosti AGRO Jesenice byly odběry v klimatickém regionu T2 s charakteristikou teplý, mírně suchý region.

Průměrná roční teplota regionu T2 je 8-9 °C. Roční suma průměrných denních teplot nad 10 °C je 2 600-2 800. Průměrný úhrn srážek je 500-600 mm a pravděpodobnost výskytu suchého vegetačního období je 20-30 % (Mašát, 2002).

4.1.4 Zemědělská společnost Svobodné

Zemědělská společnost Svobodné a. s. (dále jen Svobodné) leží v Podkrkonoší v Královéhradeckém kraji v okrese Trutnov. Zemědělská společnost Svobodné je zaměřena na rostlinou výrobu a živočišnou výrobu. Rostlinná výroba je realizována na 900 ha, zemědělské půdy. Z této výměry je 530 ha orné půdy a 370 ha připadá na trvalé travní porosty. Svobodné se nachází v znevýhodněné oblasti pro zemědělské podnikání, podhorské oblasti, tzv. LFA oblasti a spadá do nitrátové směrnice v rámci ochrany podzemních vod před dusičnany. Plocha orné půdy se snížila oproti dřívějším letům z důvodu dodržování Nařízení Evropského parlamentu a Rady EU, tzv. DZES, neboli Dobrý zemědělský a environmentální stav, přičemž svažité plochy byly převedeny na trvalé travní porosty. Rostlinná výroba je zaměřena na pěstování krmiva pro potřebu živočišné výroby. Nad rámec živočišné výroby je pěstování tržních plodin, jako je řepka ozimá, žito, oves a ozimá pšenice. Pro potřebu živočišné výroby je pěstována ozimá pšenice, ozimý ječmen, ozimé triticales, navíc je pěstována kukuřice na siláž. Z trvalých travních porostů se vyrábí senáž a v menší míře seno. Živočišná výroba je zaměřena na výrobu kravského mléka. Stav dojných krav je přibližně 300 kusů (ZS Svobodné 2025).

4.1.5 Půdní podmínky zemědělské společnosti Svobodné

Ve společnosti Svobodné bylo odebráno 12 vzorků na půdním typu kambizemě. Kambizemě jsou nejrozšířenějším půdním typem na našem území. Nejméně zastoupeny jsou v nížinách, najdeme je v pahorkatinách, vrchovinách i v horách. Převažující klima je humidnější a mírně teplé. Roční úhrny srážek jsou mezi 500-900 mm a průměrná teplota je mezi 4-9 °C. Kambizemě se nejčastěji vyskytují v nadmořských výškách od 450 do 800 m n.

m., převážně na svazích, vrcholech nebo hřebetech. Půdotvorný pochod je intenzivní vnitropůdní zvětrávání. Jsou to vývojově mladé půdy s obvykle mělkým humusovým horizontem, kde je hnědá až rezivohnědá zbarvená poloha, kde se odehrává intenzivní vnitropůdní zvětrávání. Obsah humusu je silně kolísající, kde ve vyšších polohách je obsah vyšší. Složení humusu je méně kvalitní a půdní reakce slabě kyselá až kyselá. Sorpční vlastnosti jsou závislé na obsahu humusu, fyzikální vlastnosti taktéž kolísají, u středně těžkých půd jsou příznivé (Tomášek, 2014).

4.1.6 Klimatické podmínky zemědělské společnosti Svobodné

Odběry vzorků ve společnosti Svobodné byly provedeny v deseti případech na klimatickém regionu mírně teplý, vlhký - MT4. Ve dvou případech pak na klimatickém regionu MCH mírně chladný, vlhký.

MT4 - mírně teplý, mírně vlhký je sedmý klimatický region, který je z klimatických regionů plošně nejrozšířenější. Zaujímá všechny vyšší části pahorkatin. Patří sem Tachovská brázda, Chodská pahorkatina, části Středočeské pahorkatiny, Brdská vrchovina, největší část Českomoravské vrchoviny, Vizovická vrchovina, Dražanská vrchovina, Nízký Jeseník, Žulovská pahorkatina, Podkrkonošská pahorkatina atd. Části tohoto klimatického regionu v severovýchodní Moravě nejsou zejména srážkově sjednocené, jako části ostatní mají značně vyšší humiditu. Průměrná roční teplota regionu MT4 je 6-7 °C. Roční suma průměrných denních teplot nad 10 °C je 2 200-2 400. Průměrný úhrn srážek je 650-750 mm a pravděpodobnost výskytu suchého vegetačního období je 5-15 %.

Ve dvou případech ve společnosti Svobodné byly odběry v klimatickém regionu MCH mírně chladný, vlhký. MCH mírně chladný, vlhký je v osmém klimatickém regionu, ten zahrnuje všechna podhůří v nadmořské výšce zpravidla nad 550 m. Jeho plocha je zhruba totožná s vrchovinou oblastí stanovištních jednotek. Zaujímá nižší část Krušných hor a Českého lesa, Šumavské podhůří, nejvyšší část Českomoravské vrchoviny, Bílých Karpat, Javorníků a Hostýnských vrchů, nižší část Moravskoslezských Beskyd, nižší část Nízkého Jeseníku, Orlické podhůří, Frýdlantskou pahorkatinu apod. Průměrná roční teplota regionu MCH je 5-6 °C. Roční suma průměrných denních teplot nad 10 °C je 2 000-2 200. Průměrný úhrn srážek je 700-800 mm a pravděpodobnost výskytu suchého vegetačního období je 0-5 % (Mašát, 2002).

4.2 Odběr vzorků

Půdní vzorky ve společnosti AGRO Jesenice a společnosti Svobodné byly odebrány dle Metodického pokynu Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (Smatanová, 2021). Půdní vzorky byly odebrány na celkem dvaceti čtyřech místech. Dvanáct odběrů bylo v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice a dvanáct v Zemědělské společnosti Svobodné.

Odběry vzorků byly provedeny v březnu 2024, a to převážně na trvalých travních porostech a na orné půdě. Jedná se celkem o rozsáhlá území, jejichž bližší popis je uveden v kapitolách 4.1.1 a 4.1.4. Vždy byly odebrány vzorky tak, aby na jednom územním celku byly vzorky jak z orné půdy, tak i z trvalých travních porostů. Byla-li možnost, pak byl odebrán vzorek orné půdy, kde se neorá a kde se orá. To bylo možné pouze v ZS Svobodné. Dále byly odběry prováděny na místech, kde byly již v minulosti odběry provedeny v rámci dřívějších odběrů celostátního průzkumu Agrochemického zkoušení zemědělských půd.

Ve společnosti AGRO Jesenice to bylo na šesti místech, v zemědělské společnosti Svobodné to bylo na dvou místech.

Půdní vzorky byly odebírány v jarním období od 15. března do 23. března 2024, tím byl dodržen termín odběru, který by měl být od 1. února do 31. května.

Lokality odběrů byly zaměřeny přístrojem GPS. Po celou dobu odběru bylo zajištěno dodržování pracovních postupů. Průměrné vzorky byly vždy odebírány z plochy jednotně obhospodařované. Půdní vzorky byly odebírány sondovací tyčí, přičemž jeden průměrný vzorek se skládal minimálně z 30 vpichů. Při odběru bylo dbáno na to, aby nedošlo k přimíchání zeminy z podorniči.

Způsob odběru půdních vzorků byl prováděn tak, že ve středu vzorkované plochy, která byla lokalizována souřadnicovým systémem, se prováděly jednotlivé vpichy a ty byly umisťovány tak, aby reprezentovaly vymezenou plochu kruhu. Velikost poloměru kruhu byla úměrná velikosti vzorkované plochy a byla pro 3 ha 70 m, pro 5 ha 80 m, pro 7 ha 100 m a pro 10 ha a více 120 m. Při odběru byl rovnoměrně postihnut celý odebíraný horizont. U orné půdy hloubka vpichu odpovídala mocnosti orničního profilu a dosahovala 30 cm. U trvalých travních porostů byla odstraněna drnová vrstva.

Odebrané vzorky byly skladovány výhradně v papírových sáčcích, které byly předem označeny číslem vzorku. V průběhu odběru i po jeho ukončení byly vzorky ukládány na vhodném místě k sušení. Při sušení byly sáčky otevřeny, aby k zemině měl dostatečný přístup vzduch. Vzorky nebyly sušeny v blízkosti zdroje tepla ani na místech vystavených přímému slunečnímu záření. Vysušená zemina byla po vysušení prosévána sítím s průměrem ok 2 mm. Před proséváním byly odstraněny rostlinné zbytky.

4.2.1 Odběry vzorků v AGRO Jesenice u Prahy

Odběry vzorků v AGRO Jesenice byly provedeny od 19. března do 23. března 2024. Odběry byly provedeny na orné půdě a na trvalých travních porostech. Pro statistické porovnání bylo odebráno osm vzorků orné půdy. Vzorky byly odebírány v nadmořské výšce od 322 m n. m. (Průhonice) do 443 m n. m. (Radějovice). Před vlastním odběrem byla vytipována místa odběru tak, aby reprezentovala celou plochu společnosti v AGRO Jesenice, v okrese Praha – západ a Praha – východ a zároveň, byla vybrána stejná místa, kde byl již v minulosti proveden odběr. Celkem byly provedeny tři odběry v katastru Dolních Břežan (vzorek č. 1, 2 a 3) a jeden v Libni (vzorek č. 12).

Na odběrových lokalitách č. 1 a 3 byly již v roce 2018 odebrány a analyzovány půdní vzorky Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (dále jen ÚKZÚZ). U vzorků č. 1, 2, 3 a 12 byl určen půdní typ hnědozem. Další vzorek (č. 4) byl odebrán v Sulicích a dva vzorky (č. 5 a 6) v lokalitě Mandava. Na lokalitách č. 4 a 5 byly rovněž odebrány a analyzovány vzorky v roce 2018 na ÚKZÚZ, přičemž u všech těchto vzorků byl stanoven půdní typ kambizem. Tři vzorky (č. 7, 8 a 9) byly odebrány v katastru Radějovice, všechny s půdním typem kambizem. Vzorky z lokalit č. 7 a 8 byly také analyzovány již v roce 2018 na ÚKZÚZ. Poslední dva odběry (č. 10 a 11) pocházely z katastru Průhonice, který jako jediný náleží do sedmého klimatického regionu MT4 (mírně teplý, mírně vlhký). V katastru Průhonice se vzorek č. 11 nacházel na půdním typu kambizem, zatímco vzorek č. 10 byl odebrán z půdního typu

hnědozem. Mimo dvou odběrů v katastru Průhonice byl v deseti případech proveden odběr na klimatickém regionu MT2 s charakteristikou regionu mírně teplý, mírně vlhký. Celkem bylo odebráno 8 půdních vzorků na orné půdě (vzorky č. 1, 3, 4, 5, 7, 8, 11 a 12) a 3 vzorky na trvalých travních porostech (vzorky č. 2, 6 a 10). Půdní vzorek č. 9 byl odebrán na úhoru.



Obr. 7: Mapa odběrových míst v AGRO Jesenice u Prahy

4.2.2 Odběry vzorků v Zemědělské společnosti Svobodné

Odběry vzorků ve společnosti Svobodné byly provedeny od 15. března do 18. března 2024. Pro statistické porovnání byly odebrány vzorky na orné půdě (vzorky č. 13, 15, 16, 17, 18 a 24) a na trvalých travních porostech (vzorky č. 14, 19, 20, 22, 23). Půdní vzorek č. 21 byl odebrán na úhoru. Vzorky byly odebírány v nadmořské výšce od 368 m n. m. (Havlovice) do 474 m n. m. (Maršov u Úpice). Před vlastním odběrem byla vytipována místa odběru, v součinnosti se zaměstnanci Zemědělské společnosti Svobodné, tak, aby reprezentovala celou plochu společnosti ZS Svobodné v okrese Trutnov. Byla vytipována místa, kde dochází k mělkému kypření po sklizni - podmítnutí, konkrétně vzorky č. 13 a 18, v ostatních případech na orné půdě dochází k orbě. Ve všech případech byl půdní typ kambizem. Celkem byly provedeny čtyři odběry v katastru Libňatov, dva odběry v katastru Havlovice, dva ve Svobodném, dva v katastru obce Maršov u Úpice a dva v Úpici. Dva vzorky z Maršova patří do klimatického regionu MCH mírně chladný, vlhký, v ostatních deseti případech se jedná o klimatický region mírně teplý, vlhký - MT4.



Obr. 8: Mapa odběrových míst v ZS Svobodné

4.3 Analýza vzorků

4.3.1 Stanovení výměnného pH půd extrakcí roztokem chloridu vápenatého

Stanovení výměnné půdní reakce bylo provedeno na všech 24 vzorcích, navážením 5 g půdy - jemnozeme. Ta byla smíchána s 25 ml roztoku chloridu vápenatého a 2 hodiny důkladně protřepána na třepačce. Principem je, že mezi vyluhovacím roztokem a půdou dojde k ustanovení rovnováhy mezi ionty vodíku v roztoku a ionty vodíku vázanými v sorpčním komplexu půdy. Aktivita iontů byla následně změřena kalibrovaným pH-metrem v půdní suspenzi za použití skleněné iontové selektivní elektrody. Výsledky stanovení byly vyhodnoceny a klasifikovány podle tabulky č. 5, která rozlišuje půdy podle hodnot pH od silně kyselých po silně alkalické (Zbíral, 2016).

Tab. 5: Kritéria pro vyhodnocení pH (Sánka et al. 2018)

Hodnota pH	Půdní reakce
< 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 Stanovení Cox titrací modifikovanou Tjurinovou metodou

Metoda stanovení Cox titrací po oxidaci chromosírovou směsí, tzv. modifikovanou Tjurinovou metodou byla provedena na 24 vzorcích v laboratoři ČZU. Tato metoda je vhodná pro vzorky s běžným obsahem a přirozeným složením organických látek. Oxidovatelný organicky vázaný uhlík v půdě se oxiduje s přebytkem chromsírové směsi, tedy dichromanem draselným v kyselině sírové. Nespotřebované množství dichromanu draselného bylo stanoveno titrací roztokem Mohrovy soli s vizuální indikací konce titrace a podle trvalé výchylky ručičky potenciometru (Zbíral et al. 2022).

Pro stanovení Cox došlo k navážení 0,2 g jemnozemě s částicemi menšími než 0,25 mm. Tento vzorek byl přenesen do kádinky a smíchán s 10 ml chromsírové směsi s 0,0667 M $K_2Cr_2O_7$. Vše bylo promícháno a přikryto hodinovým sklem. Současně bylo do čtyř kádinek odměřeno 10 ml čisté chromsírové směsi pro stanovení faktoru Mohrovy soli, což představovalo slepé vzorky.

Pro vyhodnocení se provedl výpočet:

f = faktor Mohrovy soli, který se vypočítal: $f = 40/\text{průměr spotřeby na slepý vzorek}$.

Dále byl vypočten obsah oxidovatelného uhlíku v procentech:

$$\text{Cox} = (12 - 0,3 \cdot S \cdot f) \cdot 100 / n.$$

Jednotlivé symboly v rovnici značí:

S = spotřebu Mohrovy soli při titraci vzorku v mililitrech

n = navážka vzorku v miligramech

f = faktor Mohrovy soli

Obsah humusu v procentech, podle vzorce: $\text{Humus (\%)} = 1,724 \cdot \text{Cox}$ se vyhodnocuje podle tabulky č. 6.

Podle Šimek et al. (2019b) se pro obsah organického uhlíku používá koeficient 1,724, kdy podle různých autorů je to 1,7-2,0. Výsledek pak udává přibližný obsah organické hmoty v půdě.

Tento faktor však není univerzální konstantou, hodnota může být ovlivněna množstvím a složením organické hmoty, obsahem jílových částic a taktéž stupněm dekompozice ve vzorku půdy. Použití univerzálního faktoru 1,724 může při výpočtu celkové zásoby uhlíku v půdě vést ke zkreslení výsledků (Smatanová, 2021). Podrobněji o problematice je pojednáno v kapitole č. 3.2.

Tab. 6: Vyhodnocení Cox a humusu v % (Zbíral, 2022)

Cox (%)	Humus (%)	Označení obsahu
< 0,6	< 1	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

4.3.3 Stanovení Cox spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí

Metoda stanovení Cox spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí byla provedena na 24 stejných vzorcích v laboratoři ÚKZÚZ. Všechny výsledky byly spolu porovnány. Stanovení Cox spektrofotometricky je také určená pro většinu minerálních půd, které mají běžný obsah a přirozené složení organických látek. Oxidovatelný organický uhlík v zemině se oxiduje nadbytkem roztoku dichromanu draselného v prostředí kyseliny sírové při 135 °C. Žlutooranžový dichromanový ion se redukuje na zeleně zbarvený Cr^{3+} ion. Intenzita zeleného zbarvení se měří spektrofotometricky.

Pro stanovení Cox byla navážena jemnozemě s částicemi menšími než 0,25 mm. Automatickou pipetou bylo přidáno 5 ml roztoku dichromanu a následně 7,5 ml kyseliny sírové. Obsah tuby byl opatrně promíchán za použití vibrační míchačky. Tuby dále byly umístěny do mineralizačního bloku vyhřátého na 135 °C a zahřívány po dobu 30 minut. Po vyjmutí z bloku a ochlazení na laboratorní teplotu bylo za chlazení na vodní lázni opatrně přidáno přibližně 50 ml vody. Objem tuby byl kvantitativně převeden do 100ml odměrné baňky, která byla následně doplněna téměř po značku. Po vytemperování byl objem doplněn po značku a obsah baňky pečlivě promíchán. Suspenze byla ponechána 60 minut k usazení, načež byla část roztoku dekantována do centrifugační zkumavky. Odstředování probíhalo po dobu 10 minut při 2000 g. Pokud se v supernatantu i po odstředění vyskytovaly pevné částice, byl obsah zkumavky filtrován přes vhodný filtr ze skleněných vláken. Měření bylo pouze dokonale čirý roztok. Současně bylo do čtyř kádínek odměřeno 10 ml čisté chromsírové směsi pro stanovení faktoru Mohrovy soli, což představovalo slepé vzorky. Absorbance dokonale čirých roztoků byla měřena v kyvetě o optické délce 10 mm při vlnové délce 585 nm v následujícím pořadí: kalibrační roztoky, slepý pokus a vzorky (Zbíral, 2022).

Vzorky, které byly stanoveny spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí byly analyzovány v laboratoři Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského.

4.3.4 Výpočet objemové hmotnosti

Výpočet objemové hmotnosti byl stanoven podle následujícího vzorce:

$$\text{BD} = 100 / (\text{OM} / 0,244 + (100 - \text{OM}) / \text{MDB})$$

Jednotlivé znaky v rovnici značí:

BD = objemová hmotnost ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)

OM = Cox · 1,724

OM:0,244 = hmotnostní podíl organické hmoty v půdě. Konstantní hodnota 0,244 je průměrná objemová hmotnost humusu.

MDB: objemová hmotnost minerální složky, která byla stanovena na $1,54 \text{ g/cm}^3$ (Adams, 1973).

Pro kontrolu objemové hmotnosti byly použity následující výpočty objemové hmotnosti (FAO, 2017).

$$\text{BD} = 1,62 - 0,06 \cdot \text{OM} \quad (\text{Saini, 1996})$$

$$\text{BD} = 1 / (0,6268 + 0,0361 \cdot \text{OM}) \quad (\text{Drew, 1973})$$

$$\text{BD} = 1,482 - 0,6786 \cdot (\log \text{OM}) \quad (\text{Jeffrey, 1970})$$

$$\text{BD} = 0,669 + 0,941 \cdot e^{(-0,06 \cdot \text{OM})} \quad (\text{Grigal et al. 1989})$$

$$\text{BD} = 1 / (0,564 + 0,0556 \cdot \text{OM}) \quad (\text{Honeysett \& Ratkowsky, 1989})$$

4.3.5 Výpočet zásob půdního uhlíku a potenciální sekvestrace uhlíku

Půdní zásobu uhlíku v kg/m^2 v místech odběru vzorků byla stanovena podle následujícího vzorce: $C = h \cdot BD \cdot Cox/10$

Jednotlivé znaky v rovnici značí:

h = hloubka (cm), v tomto případě 30 cm

BD = objemová hmotnost (g.cm^{-3})

Cox = množství organického uhlíku (%)

10 = přepočet na m^2 (Pearson et al. 2005).

Pro účely přepočtu a zjištění potenciální sekvestrace uhlíku ve vybraných půdách, byl přepočten výše uvedený vzorek půdní zásoby uhlíku z kg/m^2 na t/ha .

Nejdříve byl vypočten objem ornice: $A = S \cdot h$ (m^3/ha)

$S = 10\,000 \text{ m}^2 = 1 \text{ ha}$

h = v tomto případě 30 cm = 0,3 m

Dalším krokem byl výpočet hmotnosti půdy na ha: $M = BD \cdot A$ (t/ha)

A = objem ornice (m^3/ha)

BD = objemová hmotnost (g.cm^{-3})

Poté byl přepočten obsah oxidovatelného uhlíku Cox na celkový uhlík C_{TOC} (%)

$C_{TOC} = Cox \cdot 1,09$ (Smatanová et al. 2022).

Následoval výpočet zásoby organického uhlíku v půdě SOC (t C/ha)

$SOC = M \cdot (C_{TOC} / 100)$

M = hmotnost půdy (t/ha)

C_{TOC} = celkový uhlík (%)

Na základě hodnocení uhlíkové bilance byla pomocí kalkulačky na webových stránkách (www.organicahmota.cz) vypočtena nová potenciální zásoba organického uhlíku (v t C/ha) dvěma variantami výpočtu. Aplikace zohledňuje způsob hospodaření, pěstované plodiny, aplikaci organických hnojiv a využití meziplodin pro zelené hnojení. Výpočet bilance organické hmoty vychází z metodiky podle Bielka a Jurčové (2010) a je dán rovnicí:

$$B_C = Q_R + Q_H + Q_Z - Q_S$$

B_C = bilance uhlíku ($\text{t C.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$)

Q_R = množství uhlíku v dané plodině (t C.ha^{-1})

Q_H = vstup uhlíku do půdy z aplikovaných organických hnojiv (t C.ha^{-1})

Q_Z = vstup uhlík z plodiny zeleného hnojení (meziplodiny) (t C.ha^{-1})

Q_S = celková ztráta uhlíku ($\text{t C.ha}^{-1}.\text{rok}^{-1}$) (Bielek & Jurčova, 2010).

První varianta ponechala objemovou hmotnost půdy neměnnou, oproti druhé variantě, která ji zohledňovala a přepočítala objemovou hmotnost podle nové hodnoty obsahu organické hmoty. U obou variant se počítalo s třemi hypotetickými scénáři zlepšeného hospodaření. První scénář zahrnoval bezorebné zpracování půdy. Druhý

scénář přepočítával možnost bezorebného zpracování a meziplodiny a třetí scénář zahrnul bezorebný systém, meziplodinu a organické hnojení.

Varianta 1 se vypočetla jako odhad nové zásoby $SOC_{nový}$ podle vzorce

$$XSOC = SOC_{nový} - SOC \text{ (t C/ha)}$$

SOC = současná zásoba organického uhlíku (t C/ha)

$XSOC$ = potenciální zvýšení přísunu uhlíku vlivem změny hospodaření (zařazení meziplodin, organického hnojení, apod. (t C/ha)

V dalším kroku následoval výpočet nového $C_{TOC_NOVÝ}$ po změně hospodaření

$$C_{TOC_NOVÝ} = (SOC_{nový} / M) \cdot 100 \text{ (\%)}$$

$SOC_{nový}$ = zásoba organického uhlíku (t C/ha)

M = hmotnost půdy (t/ha)

Posledním krokem je výpočet nového $CoX_{nový}$ po změně hospodaření a zásoby organického uhlíku v půdě SOC (t C/ha)

$$CoX_{nový} = C_{TOC_NOVÝ} / 1,09 \text{ (Smatanová et al. 2022).}$$

Na základě hodnocení uhlíkové bilance byla vypočtena nová potenciální zásoba organického uhlíku (t C/ha) variantou dvě, podle následujících vzorců:

Přírůstek organické hmoty XOM v %

$$XOM = (XSOC / M) \cdot 100$$

$XSOC$ = potenciální zvýšení přísunu uhlíku vlivem změny hospodaření (zařazení meziplodin, organického hnojení, apod. (t C/ha)

M = hmotnost půdy (t půdy/ha)

Nový obsah organické hmoty $OM_{nový}$ (%)

$$OM_{nový} = OM + XOM$$

OM = současný obsah organické hmoty (obsah humusu) - vypočtený z CoX . 1,724 (%)

XOM = přírůstek organické hmoty (%)

Nový výpočet objemové hmotnosti (Adams, 1973)

$$BD_{nový} = 100 / (OM_{nový} / 0,244 + (100 - OM_{nový}) / MBD)$$

Dalším krokem byl výpočet hmotnosti půdy (t/ha): $M_{nový} = BD_{nový} \cdot A$

A = objem ornice (m^3/ha)

$BD_{nový}$ = objemová hmotnost ($g \cdot cm^{-3}$)

Výpočet nového celkového uhlíku v % $C_{TOC_nový}$

$$C_{TOC_nový} = (OM_{nový} / 1,724) \cdot 1,09$$

Nový obsah organické hmoty $OM_{nový}$ (%)

Posledním krokem byl výpočet nového $CoX_{nový}$ po změně hospodaření a výpočet zásoby organického uhlíku v půdě SOC (t C/ha)

$$CoX_{nový} = C_{TOC_NOVÝ} / 1,09 \text{ (Smatanová et al. 2022).}$$

4.3.6 Statistické vyhodnocení

Veškeré testované výsledky v této diplomové práci jsou výstupem z programu STATISTICA 12.0. Před vlastním testováním bylo ověřováno, zda mají soubory dat normální rozložení (distribuce) a homogenní rozptyl (variance).

U každé analýzy byla stanovena nulová a alternativní hypotéza, kdy nulová hypotéza H_0 byla stanovena, tak, že oxidovatelný uhlík - Cox se statisticky významně neliší od normálních rozdělení či homogenního rozptylu.

Alternativní hypotéza H_A předpokládá, že rozložení stanovení se statisticky významně liší od normálních rozdělení, popřípadě nemají homogenní rozptyl.

Toto bylo prováděno u všech stanovení Cox, jak dle analýz prováděných na ČZU, tak na ÚKZÚZ, stejně tak pro obě zemědělské společnosti, tedy AGRO Jesenice a Svobodné. Porovnávala se i orná půda, trvalé travní porosty, včetně porovnávání jednotlivých půdních typů. Zvolená hladina významnosti pak byla stanovena $\alpha=0,05$.

Existuje několik variant testů normality rozložení, založených na testování zkoumaného rozložení proti rozdělení s očekávaným normálním rozdělením, jako je Kolmogorov-Smirnovův test a jeho modifikace, Lillieforsův test a Shapiro-Wilkův test.

Zjišťování, zda se jedná o normální rozdělení, bylo vždy prováděno Kolmogorov-Smirnovým testem normality, dále byl použit Lillieforsův test a Shapiro-Wilkův test.

Zjištění homogenity rozptylu, bylo prováděno podle Levenova testu. Levenův test homogenity rozptylu, který vyskladnil program STATISTICA, byl součástí nepárového T-testu. Levenův test pak ukázal, zda se jednalo či nejednalo o homogenní rozptyl. Pokud byla porovnávána data ze dvou území byl použit test pro nepárové vzorky. Pokud tato data měla normální rozdělení a homogenní rozptyl, byla porovnána parametrickým T-testem.

Když byla porovnávána data, která na sobě byla závislá a měla normální rozdělení a homogenní rozptyl, např. data dvou metod používaných na ČZU (stanovení Cox titrací po oxidaci chromsírovou směsí, tzv. Tjurinovou metodou) a na ÚKZÚZ (stanovení Cox spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí), pak byl použit párový T-test. Párový T-test byl použit taktéž pro porovnání dat naměřených v jiných časových dobách v AGRO Jesenice na ÚKZÚZ v letech 2024 a v letech 2018.

V posledním kroku pak statistické výsledky byly vizualizovány pomocí krabicových grafů, kde byly porovnány průměry, směrodatné odchylky, minima a maxima, mediány a kvartily.

5 Výsledky

V tabulkách následujících kapitol jsou uvedeny výsledky laboratorních analýz a výpočtů týkajících se obsahu oxidovatelného organického uhlíku (Cox), půdního pH, objemové hmotnosti půdy (BD) a vypočtených zásob organického uhlíku ve vrchní vrstvě půdy do hloubky 30 cm.

V tabulce č. 7 jsou uvedeny analýzy dvanácti odebraných vzorků ze Zemědělské společnosti AGRO Jesenice, kdy z těchto vzorků se provedlo dvanáct analýz na České zemědělské univerzitě v Praze (ČZU), kde byl obsah Cox stanoven modifikovanou Tjurinovou metodou, a dvanáct analýz z Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ), kde byl Cox analyzován spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí. Všechny odběry a analýzy byly provedeny v roce 2024. Odběry byly z orné půdy (OP), z trvalých travních porostů (TTP) a úhoru (U).

Tabulka č. 8 uvádí analogická data ze Zemědělské společnosti Svobodné, se stejnou metodikou odběru i laboratorního zpracování včetně stejného počtu odebraných a analyzovaných půdních vzorků jako v tabulce č. 7. Pro každý vzorek je uveden rozdíl mezi výsledky Cox získanými na ČZU a ÚKZÚZ, přičemž hodnoty z ÚKZÚZ jsou stejné nebo vyšší než výsledky Cox na ČZU.

Na tyto údaje navazují výpočty obsahu humusu, objemové hmotnosti a zásoby organického uhlíku v půdě, které jsou souhrnně uvedeny v tabulce č. 9, pro Zemědělskou společnost AGRO Jesenice a pro Zemědělskou společnost Svobodné v tabulce č. 14.

V těchto tabulkách je zohledněn výpočet objemové hmotnosti půdy BD a následně zásoby uhlíku v jednotkách kg/m^2 a přepočtených na t C/ha , a to jak na základě hodnot z ČZU, tak z ÚKZÚZ. Hodnoty byly doplněny o klasifikaci obsahu humusu podle tabulky č. 6.

V dalších tabulkách č. 10 až č. 13 pro Zemědělskou společnost AGRO Jesenice a v tabulkách č. 15 až č. 18 pro Zemědělskou společnost Svobodné jsou uvedeny výpočty objemové hmotnosti půdy a zásoby organického uhlíku podle šesti různých autorů: Adams (1973), Saini (1996), Drew (1973), Jeffrey (1970), Grigal et al. (1989) a Honeysett & Ratkowsky (1989). Každý vzorek je tak doplněn o hodnoty BD a zásoby C spočtené podle všech uvedených metod včetně jejich průměru. Tyto výpočty slouží ke srovnání různých přístupů a ověření vhodnosti metody dle Adamse (1973), která byla následně zvolena jako referenční pro interpretaci výsledků.

Z uvedených výsledků v tabulkách č. 7 až č. 18 jsou spočítány procentuální nárůsty Cox a procentuální nárůsty půdního organického uhlíku, včetně celkového zvýšení Cox oproti původní hodnotě a zvýšení půdního uhlíku v t/ha u vzorků analyzovaných na ÚKZÚZ na pěti vybraných lokalitách v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice (AJ) a Zemědělské společnosti Svobodné (ZSS). Data umožňují nejen přímé porovnání obsahu Cox a zásob půdního organického uhlíku mezi lokalitami a mezi půdními typy (hnědozemě a kambizemě) a taktéž srovnání mezi klimatickými regiony MT2 mírně teplý a mírně vlhký a T2 teplý a mírně suchý z AGRO Jesenice a klimatickými regiony mírně teplý a vlhký MT4 a MCH mírně chladný a vlhký ve společnosti Svobodné.

5.1 Výsledky oxidovatelného organického uhlíku Cox a pH v AGRO Jesenice

Tab. 7: Analýzy Cox v % na orné půdě a trvalých travních porostech, pH půdy, klimatický region a půdní typ v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice

Poř.č. vzorku	Místo odběru	Zemědělská půda / Kultura	Analýza Cox (%) modifikovanou Tjurinovou metodou na ČZU 2024	Analýza Cox (%) ÚKZÚZ 2024	pH půdy 2024	Hodnocení pH půdy	Rozdíl metody analýzy Cox (%) na ÚKZÚZ a ČZU (ÚKZÚZ je vždy více o)	Analýza Cox (%) ÚKZÚZ 2018	Klimatický region	Půdní typ
1	Dolní Břežany Svárov u dubu	R - OP	1,49	1,54	5,49	kyselá	0,05	1,12	5 MT2	Hnědozem
2	Dolní Břežany Malá Spálenka	T - TTP	1,57	1,59	5,53	kyselá	0,02	NA	5 MT2	Hnědozem
3	Dolní Břežany Svárov u dubu II.	R - OP	1,75	1,82	5,51	kyselá	0,07	1,02	5 MT2	Hnědozem
4	Sulice Kašparanda horní	R - OP	1,49	1,54	5,61	kyselá	0,05	1,42	5 MT2	Kambizem
5	Mandava Kašparanda dolní	R - OP	1,50	1,54	5,37	kyselá	0,04	1,21	5 MT2	Kambizem
6	Mandava	T - TTP	1,78	1,79	5,41	kyselá	0,01	NA	5 MT2	Kambizem
7	Radějovice U včelína I	R - OP	1,62	1,62	5,62	kyselá	0,00	1,58	5 MT2	Kambizem
8	Radějovice	R - OP	1,27	1,31	5,49	kyselá	0,04	1,54	5 MT2	Kambizem
9	Radějovice	U	1,29	1,35	5,42	kyselá	0,06	NA	5 MT2	Kambizem
10	Průhonice	T - TTP	2,16	2,21	5,84	kyselá	0,05	NA	2 T2	Hnědozem
11	Průhonice - Rozkoš	R - OP	1,69	1,74	5,49	kyselá	0,05	NA	2 T2	Kambizem
12	Libeň	R - OP	1,22	1,23	5,83	kyselá	0,01	NA	5 MT2	Hnědozem

5.2 Výsledky oxidovatelného organického uhlíku Cox a pH v Zemědělské společnosti Svobodné

Tab. 8: Analýzy Cox v % na orné půdě a trvalých travních porostech, pH půdy, klimatický region a půdní typ v Zemědělské společnosti Svobodné

Poř.č. vzorku	Místo odběru	Zemědělská půda / Kultura	Analýza Cox (%) modifikovanou Tjurinova metodou na ČZU 2024	Analýza Cox (%) na ÚKZÚZ 2024	pH půdy 2024	Hodnocení pH půdy	Rozdíl metody analýzy Cox (%) na ÚKZÚZ a ČZU (ÚKZÚZ je vždy více o)	Analýza Cox (%) ÚKZÚZ 2019	Klimatický region	Půdní typ
13	Libňatov	R - OP	1,50	1,54	4,89	silně kyselá	0,04	NA	7 MT4	Kambizem
14	Libňatov	T - TTP	2,04	2,06	5,01	kyselá	0,02	NA	7 MT4	Kambizem
15	Libňatov	R - OP	1,19	1,20	4,84	silně kyselá	0,01	NA	7 MT4	Kambizem
16	Maršov u Úpice	R - OP	1,49	1,50	4,82	silně kyselá	0,01	NA	8 MCH	Kambizem
17	Maršov u Úpice	R - OP	1,19	1,23	4,73	silně kyselá	0,04	NA	8 MCH	Kambizem
18	Havlovice - Popluž	R - OP	1,27	1,31	5,01	kyselá	0,04	NA	7 MT4	Kambizem
19	Havlovice - Králův kopec	T - TTP	1,23	1,28	5,13	kyselá	0,05	NA	7 MT4	Kambizem
20	Svobodné	T - TTP	1,82	1,85	4,84	silně kyselá	0,03	NA	7 MT4	Kambizem
21	Svobodné	U	1,33	1,34	4,77	silně kyselá	0,01	NA	7 MT4	Kambizem
22	Úpice	T - TTP	1,55	1,56	5,08	kyselá	0,01	1,34	7 MT4	Kambizem
23	Libňatov Křižanov	T - TTP	1,7	1,71	4,57	silně kyselá	0,01	NA	7 MT4	Kambizem
24	Úpice	R - OP	1,07	1,09	5,03	kyselá	0,02	0,9	7 MT4	Kambizem

5.3 Výsledky objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku v AGRO Jesenice

Tab. 9: Analýzy Cox v % na orné půdě a trvalých travních porostech, obsahy humusu, spočítaná objemová hmotnost a půdní zásobu organického uhlíku pro analyzované vzorky na ČZU modifikovanou Tjurinovou metodou a spektrofotometricky na ÚKZÚZ v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice

Poř. č. vzorku	Místo odběru	Zemědělská půda	Analýza Cox (%) na ČZU 2024	Obsah humusu (%) 1,724.Cox ČZU	Objemová hmotnost BD, g/cm ⁻³ ČZU	Půdní zásoba uhlíku C(kg)/m ² podle analýz na ČZU	Půdní zásoba uhlíku C(t)/ha podle analýz na ČZU	Analýza Cox (%) na ÚKZÚZ 2024	Obsah humusu (%) 1,724 .Cox ÚKZÚZ	Objemová hmotnost BD g/cm ⁻³ ÚKZÚZ	Půdní zásoba uhlíku C(kg)/m ² podle analýz na ÚKZÚZ	Půdní zásoba uhlíku C(t)/ha podle analýz na ÚKZÚZ	Označení obsahu humusu, dle tab. č. 6
1	Dolní Břežany Svárov u dubu	R - OP	1,49	2,56	1,355	6,057	60,57	1,54	2,65	1,350	6,237	62,37	Střední
2	Dolní Břežany Malá Spálenka	T - TTP	1,57	2,71	1,346	6,340	63,40	1,59	2,74	1,344	6,411	64,11	Střední
3	Dolní Břežany Svárov u dubu II.	R - OP	1,75	3,02	1,327	6,967	69,67	1,82	3,14	1,320	7,207	72,07	Vysoký
4	Sulice Kašparanda horní	R - OP	1,49	2,56	1,355	6,057	60,57	1,54	2,65	1,350	6,237	62,37	Střední
5	Mandava Kašparanda dolní	R - OP	1,50	2,58	1,354	6,093	60,93	1,54	2,65	1,350	6,237	62,37	Střední
6	Mandava	T - TTP	1,78	3,06	1,324	7,071	70,71	1,79	3,09	1,323	7,105	71,05	Vysoký
7	Radějovice U včelína I	R - OP	1,62	2,80	1,341	6,517	65,17	1,62	2,80	1,341	6,517	65,17	Střední
8	Radějovice	R - OP	1,27	2,20	1,380	5,258	52,58	1,31	2,26	1,375	5,404	54,04	Střední
9	Radějovice	U	1,29	2,22	1,377	5,329	53,29	1,35	2,33	1,371	5,553	55,53	Střední
10	Průhonice	T - TTP	2,16	3,73	1,286	8,333	83,33	2,21	3,81	1,281	8,493	84,93	Vysoký
11	Průhonice - Rozkoš	R - OP	1,69	2,91	1,334	6,763	67,63	1,74	3,00	1,328	6,932	69,32	Střední
12	Libeň	R - OP	1,22	2,10	1,385	5,069	50,69	1,23	2,12	1,384	5,107	51,07	Střední

5.3.1 Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v AGRO Jesenice dle stanovení Cox modifikovanou Tjurinovou metodou

V tabulkách níže jsou uvedeny výsledky výpočtů objemové hmotnosti půdy a zásoby organického uhlíku pro vzorky analyzované Tjurinovou metodou na ČZU v AGRO Jesenici. Výpočty byly provedeny na základě postupů několika autorů s cílem ověřit, zda je výpočetní metoda podle Adamse (1973) vhodná pro stanovení objemové hmotnosti půdy. Ačkoli se výše uvedené studie vztahují k odlišným lokalitám a půdním typům, dosažené výsledky byly vzájemně srovnatelné, proto byla pro další výpočty zvolena metoda dle Adamse (1973).

Tab. 10: Vypočítaná objemová hmotnost pro analyzované vzorky na ČZU modifikovanou Tjurinovou metodou podle různých autorů v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice

Cox (%)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Adams, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Saini, 1996)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Drew, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Jeffrey, 1970)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Grigal et al. 1989)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr objemové hmotnosti ze všech šesti rovin BD (g.cm ⁻³)
1,49	1,355	1,466	1,390	1,204	1,476	1,415	1,384
1,57	1,346	1,458	1,380	1,189	1,469	1,400	1,374
1,75	1,327	1,439	1,359	1,157	1,454	1,367	1,350
1,49	1,355	1,466	1,390	1,204	1,476	1,415	1,384
1,50	1,354	1,465	1,389	1,202	1,475	1,413	1,383
1,78	1,324	1,436	1,356	1,152	1,452	1,361	1,347
1,62	1,341	1,452	1,374	1,179	1,465	1,390	1,367
1,27	1,380	1,489	1,417	1,251	1,494	1,458	1,415
1,29	1,377	1,487	1,414	1,246	1,492	1,454	1,412
2,16	1,286	1,397	1,314	1,095	1,422	1,297	1,302
1,69	1,334	1,445	1,366	1,167	1,459	1,377	1,358
1,22	1,385	1,494	1,423	1,263	1,498	1,469	1,422

Tab. 11: Vypočítaná půdní zásoba organického uhlíku pro analyzované vzorky na ČZU modifikovanou Tjurinovou metodou podle přepočtu objemové hmotnosti dle různých autorů v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice

Cox (%)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Adams, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Saini, 1996)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Drew, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Jeffrey, 1970)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Grigal et al. 1989)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovin (kg/m ²)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovin (t/ha)
1,49	6,057	6,553	6,213	5,382	6,598	6,325	6,188	61,88
1,57	6,340	6,867	6,500	5,600	6,919	6,594	6,470	64,70
1,75	6,967	7,555	7,135	6,074	7,634	7,177	7,090	70,90
1,49	6,057	6,553	6,213	5,382	6,598	6,325	6,188	61,88
1,50	6,093	6,593	6,251	5,409	6,638	6,358	6,224	62,24
1,78	7,070	7,668	7,241	6,152	7,754	7,268	7,192	71,92
1,62	6,517	7,057	6,678	5,730	7,120	6,755	6,643	66,43
1,27	5,258	5,673	5,399	4,766	5,692	5,555	5,390	53,90
1,29	5,329	5,755	5,472	4,822	5,774	5,627	5,463	54,63
2,16	8,333	9,053	8,515	7,096	9,215	8,405	8,436	84,36
1,69	6,763	7,326	6,926	5,917	7,397	6,981	6,885	68,85
1,22	5,069	5,468	5,208	4,623	5,483	5,377	5,205	52,05

5.3.2 Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v AGRO Jesenice dle stanovení Cox spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí

V tabulkách níže jsou uvedeny výsledky výpočtů objemové hmotnosti půdy a zásoby organického uhlíku pro vzorky analyzované spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí na ÚKZÚZ pro AGRO Jesenice. Výpočty byly provedeny na základě různých autorů s cílem ověřit výpočetní metodu podle Adamse (1973) a její vhodnost. Výše uvedené studie se vztahují k odlišným lokalitám a půdním typům, dosažené výsledky byly vzájemně srovnatelné, proto byla pro další výpočty objemové hmotnosti zvolena metoda dle Adamse (1973).

Tab. 12: Vypočítaná objemová hmotnost pro analyzované vzorky na ÚKZÚZ podle různých autorů v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice

Cox (%)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Adams, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Saini, 1996)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Drew, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Jeffrey, 1970)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Grigal et al. 1989)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr objemové hmotnosti ze všech šesti rovnic BD (g.cm ⁻³)
1,54	1,350	1,461	1,384	1,194	1,471	1,405	1,378
1,59	1,344	1,456	1,378	1,185	1,467	1,396	1,371
1,82	1,320	1,432	1,351	1,145	1,449	1,354	1,342
1,54	1,350	1,461	1,384	1,194	1,471	1,405	1,378
1,54	1,350	1,461	1,384	1,194	1,471	1,405	1,378
1,79	1,323	1,435	1,355	1,150	1,451	1,359	1,345
1,62	1,341	1,452	1,374	1,179	1,465	1,390	1,367
1,31	1,375	1,484	1,412	1,242	1,491	1,450	1,409
1,35	1,371	1,480	1,407	1,233	1,487	1,442	1,403
2,21	1,281	1,391	1,308	1,088	1,418	1,289	1,296
1,74	1,328	1,440	1,360	1,158	1,455	1,368	1,352
1,23	1,384	1,493	1,422	1,260	1,498	1,466	1,421

Tab. 13: Vypočítaná půdní zásoba organického uhlíku pro analyzované vzorky na ÚKZÚZ podle přepočtu objemové hmotnosti dle různých autorů v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice

Cox (%)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Adams, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Saini, 1996)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Drew, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Jeffrey, 1970)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Grigal et al. 1989)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovnic (kg/m ²)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovnic (t/ha)
1,54	6,237	6,748	6,393	5,517	6,798	6,492	6,364	63,64
1,59	6,411	6,943	6,572	5,652	6,999	6,658	6,539	65,39
1,82	7,207	7,817	7,378	6,252	7,909	7,394	7,326	73,26
1,54	6,237	6,748	6,393	5,517	6,798	6,492	6,364	63,64
1,54	6,237	6,748	6,393	5,517	6,798	6,492	6,364	63,64
1,79	7,105	7,705	7,274	6,175	7,792	7,300	7,225	72,25
1,62	6,517	7,059	6,679	5,731	7,119	6,757	6,644	66,44
1,31	5,404	5,834	5,548	4,881	5,859	5,699	5,537	55,37
1,35	5,553	5,995	5,698	4,994	6,024	5,841	5,684	56,84
2,21	8,493	9,225	8,674	7,212	9,399	8,546	8,592	85,92
1,74	6,932	7,517	7,101	6,046	7,595	7,143	7,056	70,56
1,23	5,107	5,508	5,246	4,651	5,526	5,411	5,242	52,42

5.4 Výsledky objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku v Zemědělské společnosti Svobodné

Tab. 14: Analýzy Cox v % na orné půdě a trvalých travních porostech, obsahy humusu, spočítaná objemová hmotnost a půdní zásobu organického uhlíku pro analyzované vzorky na ČZU modifikovanou Tjurinovou metodou a spektrofotometricky na ÚKZÚZ v Zemědělské společnosti Svobodné

Poř.č vzorku	Místo odběru	Země- dělská půda	Analýza Cox (%) na ČZU 2024	Obsah humusu (%) 1,72 . Cox ČZU	Objemová hmotnost BD g.cm ⁻³ ČZU	Půdní zásoba uhlíku C(kg)/m ² podle analýz na ČZU	Půdní zásoba uhlíku C(t)/ha podle analýz na ČZU	Analýza Cox (%) na ÚKZÚZ 2024	Obsah humusu (%) 1,724 . Cox ÚKZÚZ	Objemová hmotnost BD g.cm ⁻³ ÚKZÚZ	Půdní zásoba uhlíku C(kg)/m ² podle analýz na ÚKZÚZ	Půdní zásoba uhlíku C(t)/ha podle analýz na ÚKZÚZ	Označení obsahu humusu, dle tab. č. 6
13	Libňatov	R - OP	1,50	2,59	1,354	6,093	6,093	1,54	2,65	1,350	6,237	6,237	Střední
14	Libňatov	T - TTP	2,04	3,52	1,298	7,944	7,944	2,06	3,55	1,296	8,009	8,009	Vysoký
15	Libňatov	R - OP	1,19	2,05	1,389	4,958	4,958	1,20	2,07	1,388	4,995	4,995	Střední
16	Maršov u Úpice	R - OP	1,49	2,57	1,355	6,057	6,057	1,50	2,59	1,354	6,093	6,093	Střední
17	Maršov u Úpice	R - OP	1,19	2,05	1,389	4,958	4,958	1,23	2,12	1,384	5,107	5,107	Střední
18	Havlovice - Popluž	R - OP	1,27	2,19	11,380	5,256	5,256	1,31	2,26	1,375	5,404	5,404	Střední
19	Havlovice - Králův kopec	T - TTP	1,23	2,12	1,384	5,107	5,107	1,28	2,21	1,378	5,293	5,293	Střední
20	Svobodné	T - TTP	1,82	3,14	1,320	7,207	7,207	1,85	3,19	1,317	7,309	7,309	Střední
21	Svobodné	U	1,33	2,29	1,373	5,478	5,478	1,34	2,31	1,372	5,514	5,514	Vysoký
22	Úpice	T - TTP	1,55	2,67	1,349	6,271	6,271	1,56	2,69	1,348	6,306	6,306	Střední
23	Libňatov Křižanov	T - TTP	1,70	2,93	1,333	6,798	6,798	1,71	2,95	1,332	6,833	6,833	Střední
24	Úpice	R - OP	1,07	1,84	1,403	4,502	4,502	1,09	1,88	1,400	4,578	4,578	Nízký

5.4.1 Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v Zemědělské společnosti Svobodné dle stanovení Cox modifikovanou Tjurinovou metodou

V tabulkách níže jsou uvedeny výsledky výpočtů objemové hmotnosti půdy a zásoby organického uhlíku pro vzorky analyzované Tjurinovou metodou na ČZU v Zemědělské společnosti Svobodné. Výpočty byly provedeny podle několika autorů v souladu s postupy popsány v kapitole 5.3.1, a to s cílem ověřit vhodnost metody podle Adamse (1973) pro stanovení objemové hmotnosti půdy. Na základě porovnání jednotlivých výpočetních postupů bylo zjištěno, že výsledky jsou vzájemně srovnatelné. Proto byla pro další výpočty objemové hmotnosti půdy zvolena právě metoda dle Adamse (1973).

Tab. 15: Vypočítaná objemová hmotnost pro analyzované vzorky na ČZU modifikovanou Tjurinovou metodou podle různých autorů v Zemědělské společnosti Svobodné

Cox (%)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Adams, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Saini, 1996)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Drew, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Jeffrey, 1970)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Grigal et al. 1989)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr objemové hmotnosti ze všech šesti rovnic BD (g.cm ⁻³)
1,50	1,354	1,465	1,389	1,202	1,475	1,413	1,383
2,04	1,298	1,409	1,327	1,111	1,431	1,317	1,315
1,19	1,389	1,497	1,427	1,270	1,501	1,475	1,426
1,49	1,355	1,466	1,390	1,204	1,476	1,415	1,384
1,19	1,389	1,497	1,427	1,270	1,501	1,475	1,426
1,27	1,380	1,489	1,417	1,251	1,494	1,458	1,415
1,23	1,384	1,493	1,422	1,260	1,498	1,466	1,421
1,82	1,320	1,432	1,351	1,145	1,449	1,354	1,342
1,33	1,373	1,482	1,409	1,237	1,489	1,446	1,406
1,55	1,349	1,460	1,383	1,192	1,471	1,403	1,376
1,70	1,333	1,444	1,365	1,165	1,458	1,376	1,357
1,07	1,403	1,509	1,442	1,302	1,511	1,500	1,445

Tab. 16: Vypočítaná půdní zásoba organického uhlíku pro analyzované vzorky na ČZU podle přepočtu objemové hmotnosti dle různých autorů v Zemědělské společnosti Svobodné

Cox (%)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Adams, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Saini, 1996)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Drew, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Jeffrey, 1970)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Grigal et al. 1989)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovnic (kg/m ²)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovnic (t/ha)
1,50	6,093	6,592	6,249	5,409	6,636	6,358	6,223	62,23
2,04	7,941	8,623	8,119	6,802	8,758	8,057	8,050	80,50
1,19	4,958	5,344	5,094	4,535	5,359	5,265	5,092	50,92
1,49	6,057	6,552	6,212	5,382	6,596	6,324	6,187	61,87
1,19	4,958	5,344	5,094	4,535	5,359	5,265	5,092	50,92
1,27	5,258	5,673	5,399	4,766	5,692	5,555	5,390	53,90
1,23	5,107	5,508	5,246	4,651	5,526	5,411	5,242	52,42
1,82	7,207	7,817	7,378	6,252	7,909	7,394	7,326	73,26
1,33	5,478	5,915	5,623	4,937	5,941	5,770	5,611	56,11
1,55	6,271	6,787	6,429	5,544	6,838	6,526	6,399	63,99
1,70	6,796	7,365	6,961	5,942	7,437	7,016	6,920	69,20
1,07	4,502	4,845	4,629	4,178	4,852	4,816	4,637	46,37

5.4.2 Výpočet objemové hmotnosti a zásob organického uhlíku podle různých autorů v Zemědělské společnosti Svobodné dle stanovení Cox spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí

V tabulkách níže jsou uvedeny výsledky výpočtů objemové hmotnosti půdy a zásoby organického uhlíku pro vzorky analyzované spektrofotometricky po oxidaci chromsírové směsi na ÚKZÚZ ve spolupráci se Zemědělskou společností Svobodné. Výpočty byly provedeny podle několika autorů v kapitole 5.3.1, za účelem ověření vhodnosti metody podle Adamse (1973). Vzhledem k porovnatelnosti výsledků byla pro další výpočty zvolena právě tato metoda.

Tab. 17: Vypočítaná objemová hmotnost pro analyzované vzorky na ÚKZÚZ spektrofotometricky po oxidaci chromsírovou směsí dle různých autorů v ZS Svobodné

Cox (%)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Adams, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Saini, 1996)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Drew, 1973)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Jeffrey, 1970)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Grigal et al. 1989)	Objemová hmotnost BD (g.cm ⁻³) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr objemové hmotnosti ze všech šesti rovnic BD (g.cm ⁻³)
1,54	1,350	1,461	1,384	1,194	1,471	1,405	1,378
2,06	1,296	1,407	1,324	1,108	1,429	1,313	1,313
1,20	1,388	1,496	1,426	1,268	1,500	1,473	1,425
1,50	1,354	1,465	1,389	1,202	1,475	1,413	1,383
1,23	1,384	1,493	1,422	1,260	1,498	1,466	1,421
1,31	1,375	1,484	1,412	1,242	1,491	1,450	1,409
1,28	1,378	1,488	1,416	1,249	1,493	1,456	1,413
1,85	1,317	1,429	1,348	1,140	1,446	1,349	1,338
1,34	1,372	1,481	1,408	1,235	1,488	1,444	1,405
1,56	1,348	1,459	1,381	1,190	1,470	1,401	1,375
1,71	1,332	1,443	1,364	1,163	1,457	1,374	1,356
1,09	1,400	1,507	1,440	1,296	1,510	1,496	1,441

Tab. 18: Vypočítaná půdní zásoba organického uhlíku pro analyzované vzorky na ÚKZÚZ spektrofotometricky podle přepočtu objemové hmotnosti dle různých autorů v ZS Svobodné

Cox (%)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Adams, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Saini, 1996)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Drew, 1973)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Jeffrey, 1970)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Grigal et al. 1989)	Zásoba uhlíku C (kg/m ²) (Honeysett & Ratkowsky, 1989)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovnic (kg/m ²)	Průměr zásob uhlíku C ze všech šesti rovnic (t/ha)
1,54	6,237	6,748	6,393	5,517	6,798	6,492	6,364	63,64
2,06	8,009	8,695	8,185	6,851	8,834	8,116	8,115	81,15
1,20	4,997	5,385	5,132	4,564	5,401	5,302	5,130	51,30
1,50	6,093	6,592	6,249	5,409	6,636	6,358	6,223	62,23
1,23	5,107	5,508	5,246	4,651	5,526	5,411	5,242	52,42
1,31	5,404	5,834	5,548	4,881	5,859	5,699	5,537	55,37
1,28	5,292	5,712	5,436	4,795	5,734	5,592	5,427	54,27
1,85	7,309	7,929	7,480	6,328	8,026	7,487	7,427	74,27
1,34	5,515	5,955	5,660	4,966	5,983	5,806	5,647	56,47
1,56	6,309	6,826	6,465	5,571	6,879	6,559	6,435	64,35
1,71	6,833	7,403	6,996	5,968	7,477	7,048	6,954	69,54
1,09	4,578	4,929	4,707	4,238	4,937	4,892	4,713	47,13

5.5 Porovnání pH, objemové hmotnosti, zásob půdního organického uhlíku, hodnot oxidovatelného uhlíku ve všech sledovaných půdách

5.5.1 Porovnání hodnot pH půd

Hodnoty pH půdy v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice u Prahy a Zemědělské společnosti Svobodné byly vyhodnoceny na základě výsledků uvedených v kapitolách 5.1 a 5.2. Interpretace hodnot pH vychází z klasifikace půdní reakce uvedené v tabulce č. 5 kapitoly 4.3.1 Stanovení výměnného pH půd extrakcí roztokem chloridu vápenatého.

V Zemědělské společnosti AGRO Jesenice se pH půdy v analyzovaných vzorcích pohybovalo mezi 5,37 a 5,84. Nejnížší hodnota odpovídala kyselé půdní reakci, nejvyšší slabě kyselé. V orných půdách se pH pohybovalo v rozmezí 5,37-5,83, zatímco v trvalých travních porostech mezi 5,41-5,84. Všechny hodnoty tedy spadaly do pásma kyselé až slabě kyselé půdní reakce.

V Zemědělské společnosti Svobodné byly hodnoty pH výrazně nižší, a to v rozmezí 4,57 až 5,13. Nejnížší hodnota 4,57, spadala do pásma silně kyselé reakce, maximální hodnota 5,13 odpovídala kyselé reakci. U orných půd byly hodnoty pH v rozmezí 4,73-5,03, u trvalých travních porostů pak mezi 4,57-5,13, což odpovídá převážně půdní reakci v pásmu silně kyselém až kyselém.

Silně kyselé půdy, jaké byly zaznamenány v lokalitě ZS Svobodné, se obecně vyznačují nižší biologickou aktivitou, sníženou dostupností bazických živin (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) a zvýšenou mobilitou potenciálně toxických prvků (např. Al^{3+}). V případě intenzivního zemědělského využití je za těchto podmínek vhodné zvážit úpravu pH vápněním, přičemž doporučené zásahy a dávky vápnění jsou definovány v metodice VÚRV (Vaněk et al. 2018).

5.5.2 Porovnání objemové hmotnosti

Objemová hmotnost pro Zemědělskou společnost AGRO Jesenice a Zemědělskou společnost Svobodné byla vypočtena na základě kapitoly 4.3.4 s výsledky uvedenými v kapitole 5.3.1. a 5.4.1. Pro Zemědělskou společnost AGRO Jesenice, dle analyzovaných výsledků na ČZU, kolísaly hodnoty od 1,29 do 1,38 g/cm³ s průměrem 1,35 g/cm³. Podle analyzovaných výsledků na ÚKZÚZ hodnoty kolísaly mezi 1,28 - 1,38 g/cm³ s průměrem 1,34 g/cm³.

V Zemědělské společnosti Svobodné dle analyzovaných výsledků na ČZU, kolísaly hodnoty od 1,30 do 1,40 g/cm³ s průměrem 1,36 g/cm³. Podle analyzovaných výsledků na ÚKZÚZ hodnoty kolísaly mezi 1,30 - 1,40 g/cm³ s průměrem 1,36 g/cm³. Vše bylo spočítáno na základě výpočtů dle kapitoly 4.3.4 a výsledků uvedených v kapitolách 5.3.1 a 5.4.1.

Půdy v České republice podle výsledků bazálního monitoringu půd ÚKZÚZ za roky 2014 - 2019 byly v průměru stanoveny na hodnoty 1,46 g/cm³ a kolísaly v intervalu 0,41 - 1,90 g/cm³ (Sánka, 2018).

5.5.3 Porovnání zásob půdního uhlíku

Zásoby půdního uhlíku byly u Zemědělské společnosti Svobodné a Zemědělské společnosti AGRO Jesenice stanoveny na základě výpočtů uvedených v kapitole 4.3.5 a výsledků z kapitol 5.3.1 a 5.4.1.

U Zemědělské společnosti AGRO Jesenice kolísaly hodnoty zásoby půdního uhlíku na základě analýz Cox provedených na ČZU v rozmezí 50,69 - 83,33 t C/ha, přičemž průměrná hodnota činila 63,58 t C/ha, na ÚKZÚZ bylo rozmezí 51,07 - 84,93 t C/ha, přičemž průměrná hodnota činila 64,53 t C/ha

Ve Zemědělské společnosti Svobodné byly hodnoty zásoby půdního uhlíku stanovené na ČZU v rozmezí 44,26–79,44 t C/ha, s průměrnou hodnotou 57,45 t C/ha. Výsledky podle metody ÚKZÚZ vykazovaly mírně vyšší hodnoty, v intervalu 45,78–80,09 t C/ha, s průměrem 58,61 t C/ha.

Celkově byla zásoba organického uhlíku v AGRO Jesenice, nacházející se v teplejší oblasti s kvalitnějšími půdami, ve všech případech vyšší než ve společnosti Svobodné.

5.5.4 Porovnání minima, maxima, průměrných a středních hodnot obsahu oxidovatelného uhlíku Cox ve všech sledovaných půdách

V této kapitole jsou porovnány aritmetické průměry a mediány obsahu oxidovatelného uhlíku ve vzorcích zemědělských půd, konkrétně z orných půd a trvalých travních porostů, řadících se k půdním typům hnědozemě a kambizemě. Hodnocení bylo provedeno pro dvě zemědělské lokality – Zemědělskou společnost AGRO Jesenice a Zemědělskou společnost Svobodné, pomocí dvou analytických metod prováděných na České zemědělské univerzitě a v Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském. Výsledky jsou členěny podle kultur a půdních typů a slouží k posouzení zásob organického uhlíku v podmínkách teplejších oblastí s kvalitnějšími půdami v AGRO Jesenice ve srovnání s lokalitou ZS Svobodné. Podrobné výsledky jsou prezentovány v kapitole 5.6, kde jsou zobrazeny krabicové grafy jednotlivých stanovení oxidovatelného uhlíku. Tyto grafy znázorňují průměrné hodnoty, směrodatné odchylky, minima, maxima, medián, zvláště pro analýzy provedené na ČZU a na ÚKZÚZ.

V grafech 1 a 2 je patrné, že průměr a medián oxidovatelného uhlíku stanoveného na ČZU je v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice (průměr 1,57 a medián 1,54) větší než v Zemědělské společnosti Svobodné (průměr 1,44 a medián 1,41). Stejně tak i minima a maxima jsou v AGRO Jesenice výše než v ZS Svobodné. V grafech 3 a 4 je patrné, že průměr a medián oxidovatelného uhlíku stanovený na ÚKZÚZ je v AGRO Jesenice (průměr 1,61 a medián 1,565) větší než v ZS Svobodné (průměr 1,47 a medián je 1,42), stejně tak i minima a maxima.

Obdobný trend potvrzují i grafy 3 a 4, znázorňující výsledky stanovení Cox provedeného metodou ÚKZÚZ. V ZS AGRO Jesenice byly zaznamenány vyšší průměrné hodnoty 1,61 % i mediánové hodnoty 1,57 % než v lokalitě ZS Svobodné (průměr: 1,47 %, medián: 1,42 %). Ve všech případech byly rovněž vyšší i extrémní hodnoty (minimum a maximum) zjištěny v lokalitě ZS AGRO Jesenice.

Dále byly analyzovány rozdíly v obsahu oxidovatelného organického uhlíku (Cox) mezi trvalými travními porosty a ornou půdou v rámci jednotlivých zemědělských podniků – Zemědělské společnosti AGRO Jesenice a Zemědělské společnosti Svobodné. Ve všech

případech vykazovaly trvalé travní porosty systematicky vyšší obsah oxidovatelného uhlíku než orné půdy, a to bez ohledu na místo analýzy.

V Zemědělské společnosti AGRO Jesenice byl v trvalých travních porostech na základě analýz provedených na České zemědělské univerzitě zjištěn průměrný obsah oxidovatelného uhlíku ve výši 1,84 % a medián 1,78 %, zatímco v orných půdách činil průměr 1,48 % a medián 1,49 %. Analýzy provedené v laboratořích Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského potvrdily tento trend, když v trvalých travních porostech byl zjištěn průměr 1,86 % a medián 1,79 %, zatímco v orných půdách činil průměr 1,52 % a medián 1,54 %. Z hlediska extrémních hodnot byly v trvalých travních porostech naměřeny hodnoty až 2,21 %, minimum činilo 1,57 %, zatímco u orné půdy se hodnoty pohybovaly mezi 1,22 % a 1,82 %.

Obdobný vývoj byl zaznamenán také v Zemědělské společnosti Svobodné, kde však byly absolutní hodnoty nižší. Analýzy provedené na České zemědělské univerzitě prokázaly, že trvalé travní porosty dosahovaly průměrného obsahu oxidovatelného uhlíku 1,67 % a mediánu 1,70 %, zatímco v orných půdách byl průměr 1,29 % a medián 1,27 %. Analýzy provedené v laboratořích Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského dále ukázaly, že průměrná hodnota Cox v trvalých travních porostech činila 1,69 % a medián 1,71 %, zatímco v orných půdách byl průměr 1,32 % a medián 1,31 %. I zde byly extrémní hodnoty vyšší v trvalých travních porostech (maximum 2,06 %, minimum 1,23 %) než v orných půdách (maximum 1,54 %, minimum 1,07 %).

Obsah oxidovatelného organického uhlíku byl dále analyzován pro půdní typ kambizem v obou sledovaných zemědělských společnostech a pro hnědozem pouze v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice.

V kambizemích byla v AGRO Jesenice zjištěna průměrná hodnota Cox 1,52 % (medián 1,50 %) při analýze na České zemědělské univerzitě a 1,56 % (medián 1,54 %) při analýze v laboratořích Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. V Zemědělské společnosti Svobodné byly tyto hodnoty nižší – průměr 1,45 % a medián 1,41 % (analýza na České zemědělské univerzitě) a průměr 1,47 %, medián 1,42 % (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský). Tyto výsledky potvrzují rozdíly v obsahu uhlíku mezi klimatickými a půdně odlišnými regiony.

V hnědozemích, které byly zastoupeny pouze v AGRO Jesenice, byly hodnoty Cox vyšší než v kambizemích. Analýzy na České zemědělské univerzitě prokázaly průměr 1,64 % a medián 1,57 %, zatímco analýzy provedené v Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském ukázaly průměr 1,68 % a medián 1,59 %.

Významný trend ukázalo také meziroční srovnání výsledků v AGRO Jesenici: průměrný obsah Cox stanovený ÚKZÚZ vzrostl z 1,32 % (rok 2018) na 1,54 % (rok 2024). Mimo jednoho vzorku (č. 8) byla ve všech sledovaných vzorcích z roku 2018 (vzorek č. 1, 3, 4, 5, 7) nižší hodnota Cox než v roce 2014. Podrobnější analýza potvrdila, že nárůst obsahu oxidovatelného uhlíku souvisí s intenzivnějším vnášením organické hmoty do půdy, zejména formou zaorání posklizňových zbytků řepky ozimé, aplikací organických hnojiv např. fugátu.

5.5.5 Porovnání potenciální sekvestrace uhlíku na vybraných místech obou zemědělských společností

Pro porovnání potenciální sekvestrace uhlíku byla vybrána území v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice a ve společnosti Svobodné. Ve společnosti AGRO Jesenice byl vybrán vzorek č. 4, nacházející se na orné půdě v oblasti Sulice na půdním typu kambizem, v klimatickém regionu (kód 5) MT2, charakterizovaném jako mírně teplý a mírně vlhký.

Osevní postup byl následující: v roce 2021 vojtěška setá, v roce 2022 řepka ozimá a v roce 2023 pšenice ozimá. Z hlediska organického hnojení nebylo v roce 2022 aplikováno žádné organické hnojivo. V roce 2023 došlo k zaorání slámy řepky. Provádí se orba.

Analýzou na České zemědělské univerzitě bylo zjištěno množství Cox ve výši 1,49 %. Průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil 1,50 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 6,057 kg/m², respektive 60,57 t/ha.

Analýzou na Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském (ÚKZÚZ) bylo stanovené množství Cox ve výši 1,54 %, přičemž průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil rovněž 1,50 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 6,237 kg/m², respektive 62,37 t/ha.

Naproti tomu byl vybrán vzorek č. 15 nacházející se na orné půdě v oblasti Libňatov na půdním typu kambizem v klimatickém regionu (kód 7) mírně teplý, vlhký - MT4. Osevní postup byl stejný jako ve vzorku č. 4, tedy rok 2021 vojtěška setá, rok 2022 řepka ozimá a v roce 2023 pšenice ozimá. V roce 2022 nebylo použito žádné organické hnojení a v roce 2023 došlo pouze k zaorání slámy řepky. Dochází zde k pravidelné orbě.

Analýzou na České zemědělské univerzitě bylo zjištěno množství Cox ve výši 1,19 %. Průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil 1,29 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 4,958 kg/m², respektive 49,58 t/ha.

Analýzou na Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském (ÚKZÚZ) bylo stanovené množství Cox ve výši 1,20 %, přičemž průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil rovněž 1,29 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 4,995 kg/m², respektive 49,95 t/ha.

Pro kontrolu byl vybrán vzorek č. 13, nacházející se na orné půdě v oblasti Libňatov, v těsné blízkosti vzorku č. 15. Lokalita leží na půdním typu kambizem, ve stejném klimatickém regionu MT4, který je charakterizován jako mírně teplý a vlhký. Osevní sled byl totožný jako u vzorků č. 4 a 15, v roce 2021 vojtěška setá, v roce 2022 řepka ozimá a v roce 2023 pšenice ozimá.

Na této lokalitě, ale nedochází k orbě, navíc v roce 2022 bylo aplikováno organické hnojení ve formě hnoje skotu v dávce 50 t/ha při sušině 23 %. V roce 2023 došlo k zapravení slámy řepky.

Analýzou na České zemědělské univerzitě bylo zjištěno množství Cox ve výši 1,50 %. Průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil 1,29 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 6,093 kg/m², respektive 60,93 t/ha.

Analýzou na Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském (ÚKZÚZ) bylo stanovené množství Cox ve výši 1,54 %, přičemž průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil rovněž 1,29 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 6,237 kg/m², respektive 62,37 t/ha.

Ze vzorku č. 4 v AGRO Jesenice při ponechaném osevním postupu v roce 2021 vojtěška setá, 2022 řepka ozimá - 2023 pšenice ozimá, při klasické orbě bylo zjištěno množství Cox analýzou na ÚKZÚZ ve výši 1,54 % s půdní zásobou 62,37 t C/ha.

Na základě simulací v systému www.organicahmota.cz byly hodnoceny tři hypotetické scénáře zlepšeného hospodaření. Bezorebné zpracování půdy – předpokládané navýšení zásoby C o 2,4 t/ha. Bezorebné zpracování + meziplodina (jetel inkarnát) – navýšení o 3,2 t/ha. Poslední scénář bezorebný systém + meziplodina + organické hnojení (1 x fugát 15 t/ha), kdy došlo k navýšení o 5,1 t/ha.

Pro každý ze scénářů byly výpočty provedeny dvojím způsobem. Použijeme-li pro výpočet variantu 1, která ponechává objemovou hmotnost půdy neměnnou, oproti variantě 2, která ji zohledňuje, pak vypočtený oxidovatelný uhlík a půdní zásoba uhlíku je vždy ve variantě č. 1 vyšší než ve variantě č. 2.

U varianty č. 1 při navýšení o 2,4 t C/ha je výsledný oxidovatelný uhlík - Cox 1,599 % a zásoba uhlíku 64,77 t/ha.

Při navýšení o 3,2 t C/ha (bezorebné zpracování + meziplodina (jetel inkarnát)) vzrostla zásoba uhlíku na 65,57 t/ha a Cox dosáhl 1,619 %.

Při komplexním přístupu (bezorebné zpracování, meziplodina, fugát 15 t/ha) s navýšením o 5,1 t C/ha činí výsledná zásoba uhlíku 66,47 t/ha a Cox vzrostl na 1,636 %.

U varianty 2, která zohledňuje změnu objemové hmotnosti půdy, při navýšení o 2,4 t C/ha stoupla zásoba uhlíku na 63,85 t/ha, a obsah Cox na 1,584 %, přičemž objemová hmotnost půdy klesla na 1,346 g/cm³.

Při navýšení o 3,2 t C/ha by byla zásoba uhlíku 64,46 t/ha, obsah Cox dosáhl 1,598 %.

V případě komplexního přístupu a navýšení o 5,1 t C/ha, objemová hmotnost klesla na 1,342 g/cm³ a zásoba uhlíku vzrostla na 66,46 t/ha, Cox byl vypočten na hodnotu 1,636 %.

Z výchozí hodnoty Cox 1,54 % a zásoby půdního uhlíku 62,37 t C/ha došlo po aplikaci komplexního souboru opatření u varianty č. 1 ke zvýšení Cox na 1,666 %, což představuje relativní nárůst o 8,18 %. Zásoba uhlíku vzrostla na 67,47 t/ha, tedy o 8,17 %. U varianty č. 2 došlo ke zvýšení Cox na 1,636 %, což představuje relativní nárůst o 6,23 %. Zásoba uhlíku vzrostla na 66,46 t/ha, tedy o 6,56 %.

Potenciál sekvestrace uhlíku byl spočítán pro porovnání se vzorkem 4, také se vzorkem 15 nacházejícím se na orné půdě v oblasti Libňatov na půdním typu kambizem v klimatickém regionu mírně teplý, vlhký - MT4. Osevní postup byl stejný jako ve vzorku č. 4, tedy rok 2021 vojtěška setá, rok 2022 řepka ozimá a v roce 2023 pšenice ozimá. Z organického hnojení v roce 2022 nebylo žádné organické hnojení a v roce 2023 došlo pouze k zaorání slámy řepky, přičemž tu dochází k orbě. Naměřený Cox na ÚKZÚZ byl 1,20 % a zásoba uhlíku 49,95 t/ha.

Na základě simulací v systému www.organicahmota.cz byly hodnoceny tři hypotetické scénáře zlepšeného hospodaření. Bezorebné zpracování půdy – předpokládané navýšení zásoby C o 2,2 t/ha. Bezorebné zpracování + meziplodina (jetel inkarnát) - navýšení o 5,2 t/ha. Poslední scénář bezorebný systém + meziplodina + organické hnojení (1 x hnůj skotu 15 t/ha), kdy došlo k navýšení o 5,9 t/ha.

U varianty č. 1, bylo při navýšení o 2,2 t C/ha dosaženo obsahu oxidovatelného uhlíku Cox ve výši 1,253 % a zásoby uhlíku 52,15 t C/ha.

Při navýšení o 5,2 t C/ha (bezorebné zpracování půdy + meziplodina – např. jetel inkarnát) činí zásoba uhlíku 55,15 t C/ha a Cox 1,325 %.

Při komplexním přístupu, kdy je bezorebné hospodaření doplněno o mezipločinu a hnojení, hnojem skotu v dávce 15 t/ha v roce 2022 (navýšení o 5,9 t C/ha), činí výsledná hodnota Cox 1,342 % a zásoba uhlíku 55,85 t C/ha.

Ve variantě č. 2 při navýšení o 2,2 t C/ha stoupla zásoba uhlíku na 51,48 t/ha a Cox na 1,249 %.

Při navýšení o 5,2 t C/ha, při kombinaci bezorebného systému a mezipločiny, došlo k navýšení Cox na 1,32 % a zásoba uhlíku stoupla na 53,29 t/ha.

Při komplexním zlepšení hospodaření o 5,9 t C/ha (bezorebné zpracování, mezipločina a aplikace hnoje) dosáhl Cox hodnoty 1,339 % při objemové hmotnosti 1,340 g/cm³. Výsledná zásoba uhlíku pak činila 55,71 t/ha.

Z výchozí hodnoty Cox 1,20 % a zásoby půdního uhlíku 49,95 t C/ha došlo po aplikaci komplexního souboru opatření u varianty č. 1 ke zvýšení Cox na 1,342 %, což představuje relativní nárůst o 11,83 %. Zásoba uhlíku vzrostla na 55,85 t/ha, tedy o 11,82 %. U varianty č. 2 došlo ke zvýšení Cox na 1,339 %, což odpovídá relativnímu nárůstu o 11,58 %. Zásoba uhlíku činila 55,71 t/ha, což představuje nárůst o 11,55 %.

Půdní vzorek č. 13 se nachází v těsné blízkosti vzorku č. 15. Zásoba uhlíku zde byla 62,37 t/ha a osevní sled byl totožný jako u vzorků č. 4 a 15, v roce 2021 vojtěška setá, v roce 2022 řepka ozimá a v roce 2023 pšenice ozimá. Na této lokalitě, ale nedochází k orbě. V roce 2022 bylo aplikováno organické hnojení ve formě hnoje skotu v dávce 50 t/ha při sušině 23 %. V roce 2023 byla zapravena sláma řepky.

Na základě modelových výpočtů v systému www.organickahmota.cz byly posouzeny alternativní scénáře zlepšeného hospodaření. Bezorebný způsob zpracování půdy je zde již aplikován, stejně tak i aplikace statkového hnojiva v dávce 50 t/ha.

U varianty 1 a prvního scénář se týkal pěstování mezipločin (např. jetel inkarnát), což vedlo k navýšení o 1,8 t C/ha, Cox se zvýšil na 1,584 % a celková zásoba uhlíku na 64,17 t C/ha. Při častějším hnojení např. hnojem skotu v dávce 15 t/ha (v roce 2023) vedlo k celkovému zvýšení zásoby uhlíku o 2,1 t/ha, byl zvýšen Cox na 1,592 % a zásoba uhlíku vzrostla na 64,47 t/ha.

U varianty 2 při navýšení o 1,8 t C/ha u pěstování mezipločin vzrostla zásoba uhlíku na 64,14 t C/ha, Cox dosáhl 1,571 %. Při navýšení o 2,1 t C/ha, pěstováním mezipločin a častějším hnojení např. hnojem skotu v dávce 15 t/ha se hodnota Cox zvýšila na 1,582 % a zásoba uhlíku by vzrostla na 64,44 t C/ha.

Z výchozí hodnoty Cox 1,54 % a zásoby půdního uhlíku 62,37 t C/ha došlo po aplikaci opatření ve variantě č. 1 k navýšení Cox na 1,592 %, což představuje relativní nárůst o 3,38 %. Zásoba uhlíku vzrostla na 64,47 t C/ha, tedy o 3,36 %. Ve variantě č. 2 došlo ke zvýšení Cox na 1,582 %, což odpovídá relativnímu nárůstu o 2,73 %, a zásoba uhlíku dosáhla 64,44 t C/ha, což představuje zvýšení o 3,32 %.

Vzhledem k tomu, že na lokalitě je již delší dobu aplikován bezorebný systém a použito statkové hnojivo (hnůj skotu), je reálný potenciál další sekvestrace uhlíku nižší. To však

zároveň potvrzuje, že hospodaření na této lokalitě je již nyní vhodně nastaveno z hlediska ukládání uhlíku v půdě.

Další místa k porovnání potenciální sekvestrace uhlíku byly vybrány na území v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice, konkrétně vzorek č. 11, nacházející se na orné půdě v oblasti Průhonice na půdním typu kambizem, v klimatickém regionu (kód 2) T2 charakterizovaném jako teplý, mírně suchý.

Osevní postup byl následující: v roce 2021 pšenice ozimá, v roce 2022 ječmen jarní a v roce 2023 jetel. Dochází zde k orbě. Z hlediska organického hnojení došlo pouze v roce 2021 k zaorání slámy pšenice, ostatní organické hnojivo nebylo v roce 2021 - 2023 aplikováno.

Analýzou na České zemědělské univerzitě bylo zjištěno množství Cox ve výši 1,69 %. Průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil 1,5 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 6,763 kg/m², respektive 67,63 t/ha.

Analýzou na Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském (ÚKZÚZ) bylo stanovené množství Cox ve výši 1,74 %, přičemž průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil rovněž 1,50 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 6,932 kg/m², respektive 69,32 t/ha.

Vzorek č. 11 byl porovnán se vzorkem č. 17 nacházejícím se na orné půdě v oblasti Maršov u Úpice v klimatickém regionu (kód 8) - MCH mírně chladný, vlhký. Osevní postup byl v roce 2021 pšenice ozimá, v roce 2022 ječmen jarní a v roce 2023 nebyl pouze jetel, ale jetelotravní směs s převahou jetelovin. Organické hnojivo nebylo aplikováno, docházelo zde ke klasické orbě.

Analýzou na České zemědělské univerzitě bylo zjištěno množství Cox ve výši 1,19 %. Průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil 1,5 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 4,958 kg/m², respektive 49,58 t/ha.

Analýzou na Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském (ÚKZÚZ) bylo stanovené množství Cox ve výši 1,23 %, přičemž průměr všech zkoumaných vzorků na orné půdě typu kambizem činil rovněž 1,50 %. Půdní zásoba uhlíku byla stanovena na 5,107 kg/m², respektive 51,07 t/ha.

Zásoba organického uhlíku pro vzorek č. 11 v AGRO Jesenici při ponechaném osevním postupu v roce 2021 pšenice ozimá, 2022 ječmen jarní a 2023 jetel a při klasické orbě bylo zjištěno množství Cox analýzou na ÚKZÚZ ve výši 1,74 % s půdní zásobou 69,32 t C/ha.

Na základě simulací v systému www.organickahmota.cz byly hodnoceny tři hypotetické scénáře zlepšeného hospodaření. Bezorebné zpracování půdy – předpokládané navýšení zásoby C o 2,4 t/ha. Bezorebné zpracování + meziplodina (jetel inkarnát) – navýšení o 3,4 t/ha. Poslední scénář bezorebný systém + meziplodina + organické hnojení (fugát 15 t/ha) vedlo k navýšení o 3,7 t/ha.

Při aplikaci bezorebného zpracování půdy vzrostl Cox na 1,80 % a zásoba uhlíku na 71,72 t C/ha. V kombinaci s meziplodinou činil Cox 1,829 % a zásoba uhlíku 72,72 t C/ha. V komplexním scénáři (bezorebný systém, meziplodina, fugát 15 t/ha) došlo k navýšení o 3,4 t/ha a tím se Cox zvýšil na 1,843 % a zásoba uhlíku dosáhla 73,02 t C/ha. Ve variantě 2, ve scénáři bezorebného zpracování půdy se zvětší zásoba uhlíku na 70,83 t C/ha a obsah Cox byl vypočten na 1,775 %. Při kombinaci bezorebného systému výsledná zásoba uhlíku stoupne na 71,35 t C/ha a Cox dosáhl hodnoty 1,794 %.

V případě komplexního přístupu zahrnujícího bezorebný systém, mezíplodinu a aplikaci fugátu v dávce 15 t/ha narostla půdní zásoba uhlíku na 72,11 t C/ha a vypočtený obsah Cox činil 1,814 %.

Ve vzorku č. 17 v ZS Svobodné v oblasti Maršov u Úpice při ponechaném osevním postupu v roce 2021 pšenice ozimá, 2022 ječmen jarní, 2023 jetelotrávní směs a při klasické orbě bylo množství Cox zjištěné analýzou na ÚKZÚZ ve výši 1,23 % s půdní zásobou 49,58 t C/ha.

Na základě simulací v systému www.organickahmota.cz byly hodnoceny tři hypotetické scénáře zlepšeného hospodaření. Bezorebné zpracování půdy – předpokládané navýšení zásoby C o 1,2 t/ha. Bezorebné zpracování + mezíplodina (jetel inkarnát) – navýšení o 1,6 t/ha. Poslední scénář bezorebný systém + mezíplodina + organické hnojení (hnůj skotu 15 t/ha), došlo k navýšení o 2,9 t/ha.

Ve variantě 1 při aplikaci bezorebného zpracování půdy vzrostl Cox na 1,260 % a zásoba uhlíku na 50,78 t C/ha. V kombinaci s mezíplodinou dosáhl Cox 1,271 % a zásoba uhlíku 52,19 t C/ha. V komplexním scénáři (bezorebný systém, mezíplodina, hnůj skotu 15 t/ha) došlo navýšení Cox na 1,302 % a zásoba uhlíku dosáhla 53,48 t C/ha.

Ve variantě 2 ve scénáři bezorebného zpracování půdy se zvětší zásoba uhlíku na 50,72 t C/ha a obsah Cox byl zvýšen na 1,257 %. Při kombinaci bezorebného systému a mezíplodiny se množství navýšeného uhlíku odhadovalo na 51,92 t/ha a Cox na 1,262 %. V komplexním scénáři byla výsledná zásoba uhlíku 53,04 t C/ha a Cox dosáhl hodnoty 1,282 %.

Ve variantě 1 bylo vypočteno zvýšení Cox na 1,302 %, což představuje relativní nárůst o 5,85 % a zásoba uhlíku vzrostla na 53,48 t C/ha, tedy o 7,88 %. U varianty 2 došlo ke zvýšení Cox na 1,282 %, což odpovídá relativnímu nárůstu o 4,23 %, a zásoba uhlíku vzrostla na 53,04 t C/ha, tedy o 6,98 %.

Tab. 19: Procentuální rozdělení potenciální sekvestrace uhlíku na pěti vybraných lokalitách v Zemědělské společnosti AGRO Jesenice (AJ) a společnosti Svobodné (ZSS)

Vzorek	Varianta výpočtu sekvestrace	Procentuální nárůst Cox (%) u vzorků analyzovaných na ÚKZÚZ	Zvýšení Cox (%) u vzorků analyzovaných na ÚKZÚZ proti původní hodnotě	Procentuální nárůst půdního organického uhlíku u vzorků analyzovaných na ÚKZÚZ	Zvýšený nárůst půdního uhlíku (t/ha) u vzorků analyzovaných na ÚKZÚZ
4 (AJ)	V1	8,18	0,126	8,17	5,1
4 (AJ)	V2	6,23	0,096	6,56	4,09
15 (ZSS)	V1	11,83	0,142	11,82	5,9
15 (ZSS)	V2	11,58	0,139	11,55	5,76
13 (ZSS)	V1	3,38	0,052	3,36	2,1
13 (ZSS)	V2	2,73	0,042	3,32	2,07
11 (AJ)	V1	5,92	0,103	5,91	4,1
11 (AJ)	V2	4,25	0,074	4,02	2,79
17 (ZSS)	V1	5,85	0,072	7,88	3,9
17 (ZSS)	V2	4,23	0,052	6,98	3,46

5.6 Statistické vyhodnocení

Veškeré níže uvedené testované výsledky jsou výstupem z programu STATISTICA 12.0. V následujících kapitolách je uveden popis testovaných hodnot, týkající se zjišťování normality a zjišťování homogenity rozptylů, včetně vizualizace krabicovými grafy, kde jsou vizualizovány a porovnány průměry, mediány, minima a maxima, směrodatná odchylka a kvartily.

5.6.1 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox metodou dle analýz na ČZU

V prvním kroku bylo zjišťováno, zda se se jedná o normální rozdělení u stanovení Cox dle analýz na ČZU v AGRO Jesenice. Data mají normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). Tedy mnohem vyšší, než ve zvolené hladině významnosti $\alpha=0,05$. Neliší se od normálního rozdělení s více než 20 % pravděpodobností. Lillieforsův test normality ukázal, že rozložení stanovení Cox se od normálních rozdělení neliší na hladině významnosti $p > 0,20$. Shapiro-Wilkův test normality ukázal, že rozložení stanovení Cox se od normálního rozložení neliší na hladině významnosti $p=0,45$. Na základě testů Lillieforsova a Shapiro-Wilkova bylo konstatováno, že rozložení mají normální rozdělení a splňují předpoklad pro testování parametrickým T-testem.

Tak jako v prvním kroku bylo zjišťováno, zda se se jedná o normální rozdělení u stanovení Cox dle analýz na ČZU v ZS Svobodné. Data mají normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). Tedy mnohem vyšší, než ve zvolené hladině významnosti $\alpha=0,05$. Neliší se od normálního rozdělení s více než 20 % pravděpodobností. Lillieforsův test normality ukázal, že rozložení stanovení Cox se od normálních rozdělení neliší na hladině významnosti $p > 0,20$. Shapiro-Wilkův test normality ukázal, že rozložení stanovení Cox se od normálního rozložení neliší na hladině významnosti $p=0,48$. Neliší se od normálního rozdělení s pravděpodobností 48 %. Na základě testů Lillieforsova a Shapiro-Wilkova bylo konstatováno, že rozložení mají normální rozdělení a splňují předpoklad pro testování parametrickým T-testem.

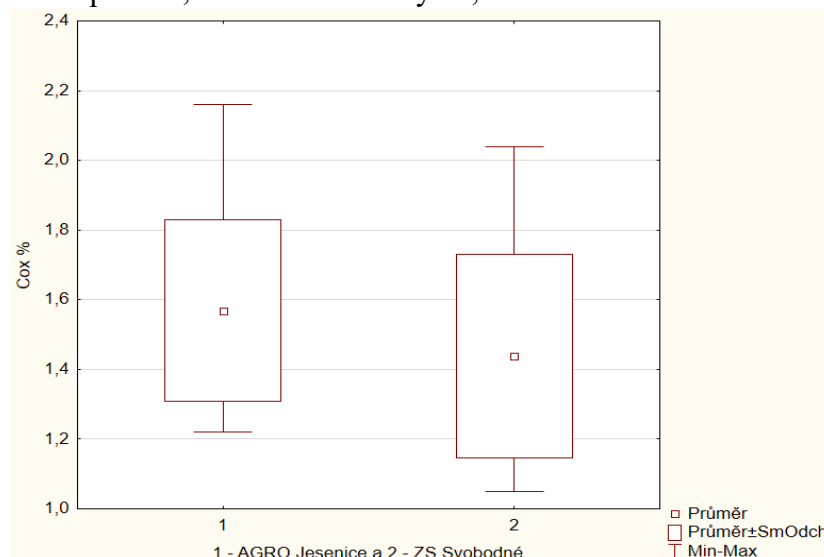
Zjištění homogenity rozptylů podle analýz na ČZU podle Levenova testu v AGRO Jesenice. Levenův test ukázal, že rozptyl rozdělení jsou homogenní na hladině významnosti $p=0,53$. Dosažená hladina významnosti je $p=0,538$, tedy vyšší, než námi zvolená hladina významnosti $\alpha=0,05$. Pravděpodobně platnou nulovou hypotézu přijímáme. Data měla homogenní rozptyl a tím splňovala předpoklad pro testování parametrickým T-testem.

T-test pro nezávislé vzorky ukázal $p=0,262$. Soubory se od sebe s 26 % neliší. To znamená, že se stanovení Cox dle analýz na ČZU v AGRO Jesenice a ZS Svobodné neliší. Rozložení stanovení Cox dle analýz ČZU v AGRO Jesenice splňují předpoklady T-testu, proto lze jeho výsledky přijmout.

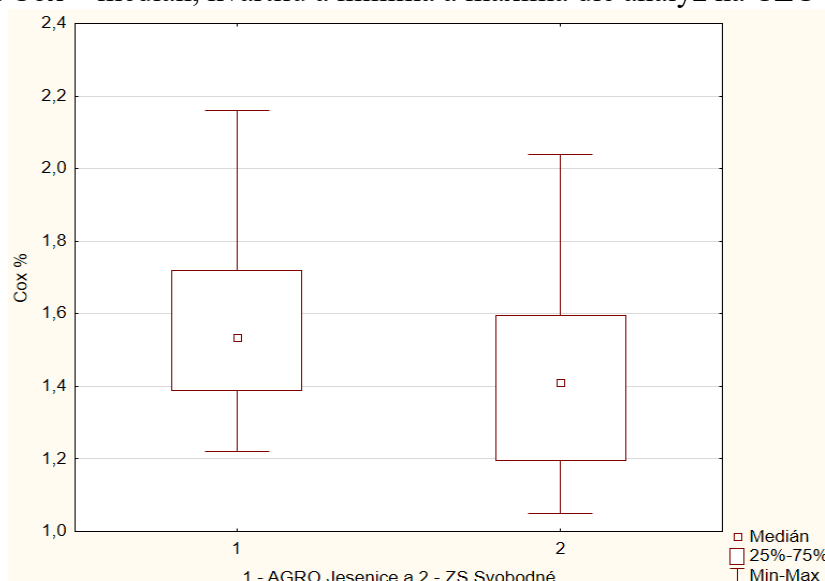
V dalším kroku došlo k porovnání stanovení Cox dle analýz na ČZU a ÚKZÚZ nejdříve v AGRO Jesenice a poté v ZS Svobodné. Data v AGRO Jesenice mají normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,35$). Data v ZS Svobodné mají taktéž normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,39$). Zároveň měla data homogenní rozptyl (Levenův test $p=0,97$), s 97 % se neliší. Rozptyl je homogenní, proto byl použit párový test. Párový T-test pro závislé proměnné vyšel $p \leq 0,0000$. Oba soubory se mezi sebou liší na hladině významnosti $p < 0,001$, tedy velmi vysokou pravděpodobností ($p < 0,001$, $n=24$, počet stupňů volnosti $sw=23$). Průměr Cox dle analýz na ČZU byl 1,5042 a na ÚKZÚZ byl 1,5396 %. Všechny hodnoty Cox změřené na ÚKZÚZ jsou vyšší a to v hodnotách od 0 do 0,07. Průměrný rozdíl obou skupin ale byl 0,035 %, což je v rámci běžné analytické chyby stanovení pH.

Krabicové grafy níže ukazují porovnání průměrů, směrodatné odchylky, minima a maxima, mediánu, kvartilu u stanovení Cox v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ČZU. V grafech 1 a 2 je patrné, že průměr a medián oxidovatelného uhlíku – Cox je v AGRO Jesenice (průměr 1,57 a medián 1,54 %) větší než v ZS Svobodné (průměr 1,44 a medián 1,41 %), stejně tak i minima a maxima jsou v AGRO Jesenice výše než v ZS Svobodné.

Graf 1: Porovnání Cox - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ČZU



Graf 2: Porovnání Cox - medián, kvartilu a minima a maxima dle analýz na ČZU

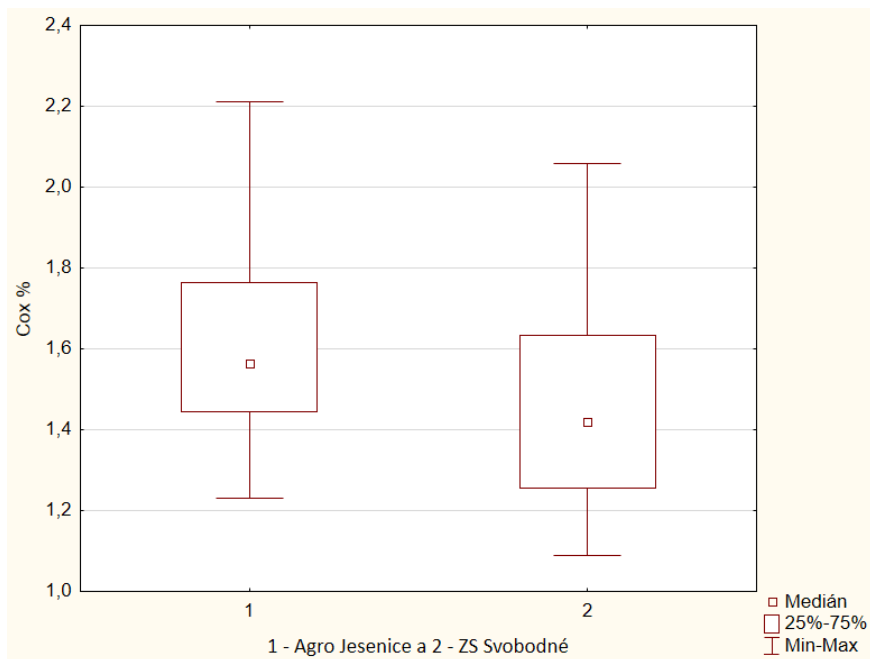


5.6.2 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox dle analýz na ÚKZÚZ

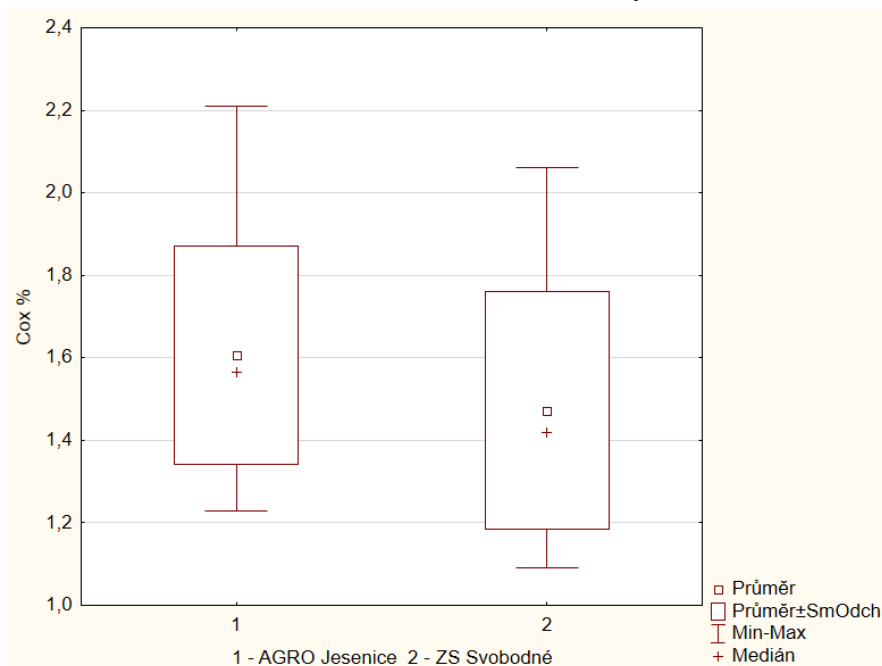
Data u stanovení Cox dle analýz ÚKZÚZ v AGRO Jesenici mají normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). V ZS Svobodné mají také normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). Zároveň měla data homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,56$), s 56 % se neliší. Z toho důvodu byl použit parametrický T-test pro nezávislé proměnné, který ukázal, že data se od sebe statisticky neliší ($p=0,248$, $n=24$, počet stupňů volnosti $sw=22$).

Krabicové grafy níže ukazují porovnání průměrů, směrodatné odchylky, minima a maxima, mediánu, kvartilu u stanovení Cox v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ÚKZÚZ. V grafech 3 a 4, stejně jako v předchozích grafech 1 a 2 je patrné, že průměr a medián oxidovatelného uhlíku – Cox je v AGRO Jesenice (průměr 1,61 a medián 1,57 %) větší než v ZS Svobodné (průměr 1,47 a medián je 1,42 %), stejně tak i minima a maxima. větší než

Graf 3: Porovnání Cox - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ÚKZÚZ.



Graf 4: Porovnání Cox - medián, kvartilu, minima a maxima analýzou na ÚKZÚZ

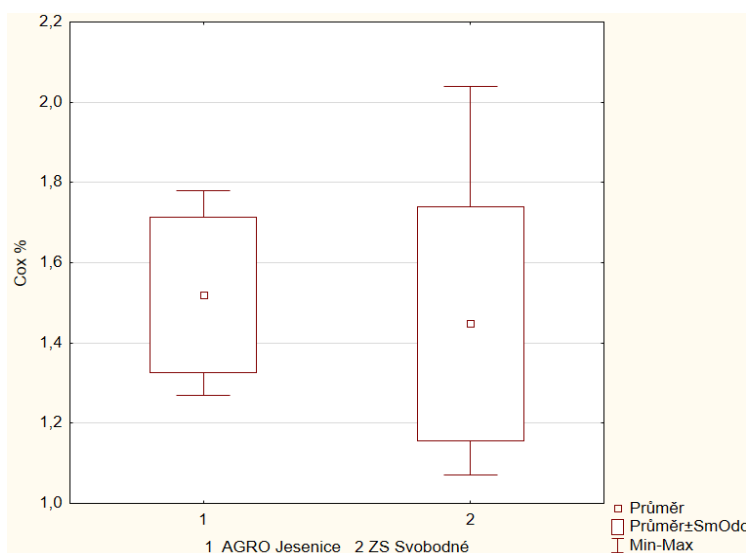


5.6.3 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox v kambizemích

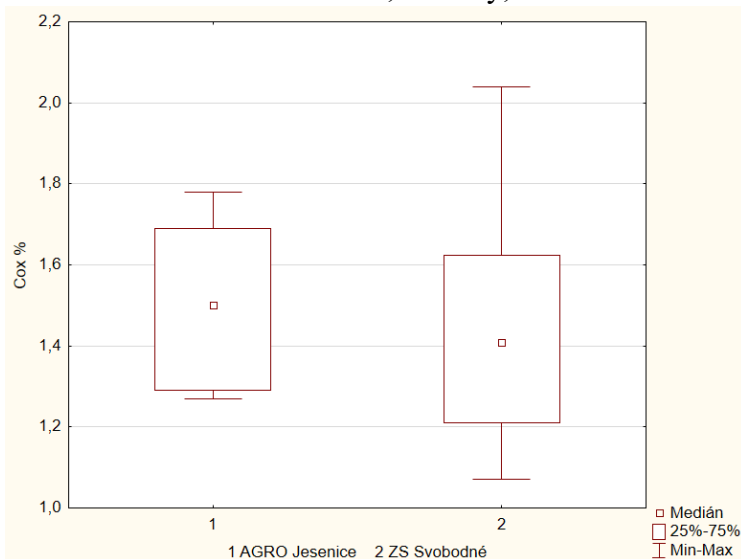
Data u stanovení Cox v kambizemích, dle analýz na ČZU a ÚKZÚZ v ZS Svobodné a v AGRO Jesenice mají normální rozdělení. V AGRO Jesenice (Kolmogorov- Smirnovův test $p > 0,20$) a v ZS Svobodné (Kolmogorov- Smirnovův test $p > 0,20$), data mají normální rozdělení. Data u analýz na ČZU měla homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,229$). U analýz na ÚKZÚZ měla data taktéž homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,503$). Z toho důvodu byl použit parametrický T-test pro nezávislé proměnné, který ukázal, že data stanovených vzorků na ČZU se od sebe statisticky neliší ($p=0,577$, $n=19$, počet stupňů volnosti $sw=17$). U vzorků na ÚKZÚZ se od sebe taktéž statisticky neliší ($p=0,503$, $n=19$, počet stupňů volnosti $sw=17$).

Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v kambizemích, v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ČZU. V grafech 5 a 6, stejně jako v předchozích grafech je patrné, že průměr a medián Cox je v AGRO Jesenice (průměr 1,52 a medián 1,50 %) větší než v ZS Svobodné (průměr 1,45 a medián 1,41 %).

Graf 5: Porovnání Cox v kambizemích - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ČZU

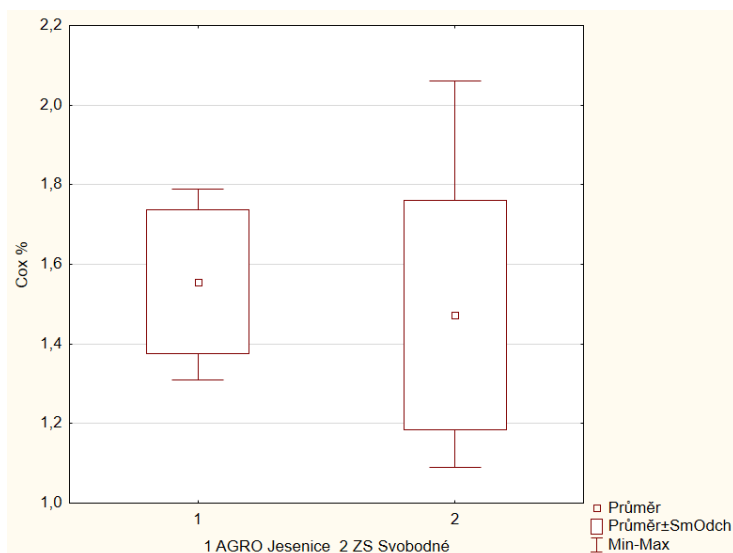


Graf 6: Porovnání Cox v kambizemích - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ČZU

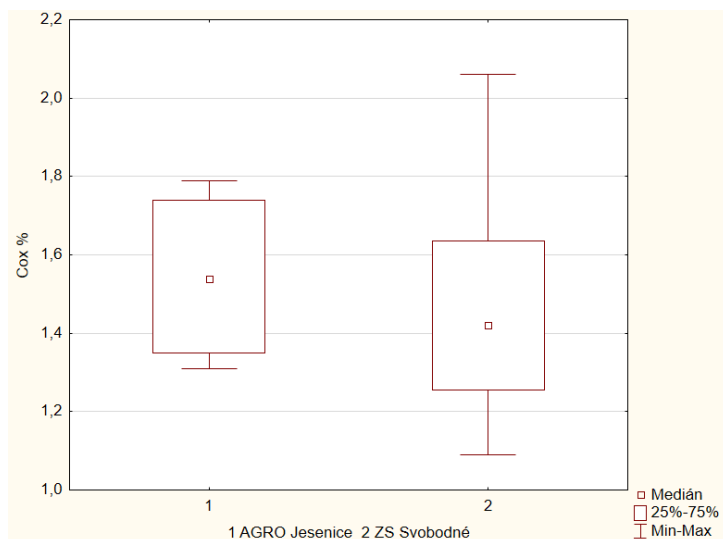


Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v kambizemích, v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ÚKZÚZ. V grafech 7 a 8, stejně jako v předchozích grafech je patrné, že průměr a medián Cox v AGRO Jesenice (průměr 1,56 a medián 1,54 %) je větší než v ZS Svobodné (průměr 1,47 a medián 1,42 %).

Graf 7: Porovnání Cox v kambizemích - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ÚKZÚZ



Graf 8: Porovnání Cox v kambizemích - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ÚKZÚZ



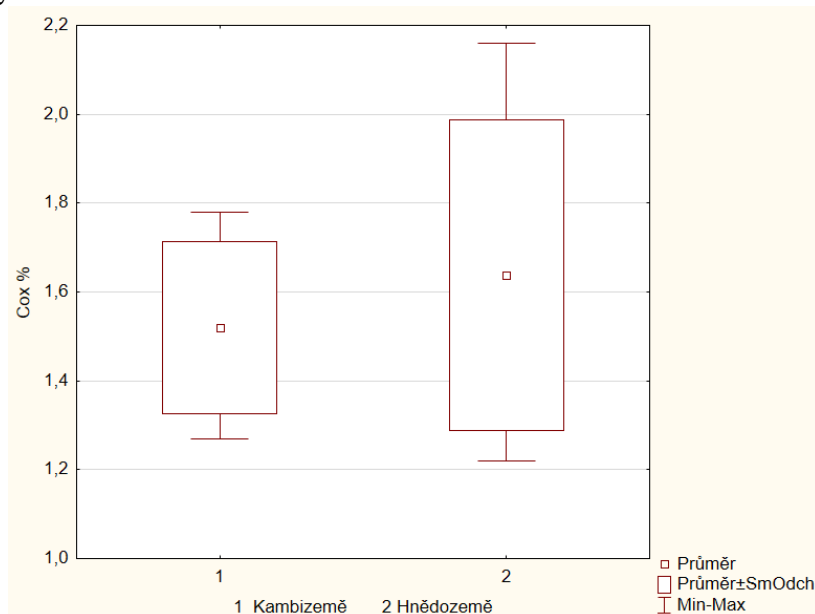
5.6.4 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox v kambizemích a hnědozemích v AGRO Jesenice

Data u stanovení Cox v kambizemích a hnědozemích, dle analýz na ČZU a ÚKZÚZ v ZS Svobodné a v AGRO Jesenice mají normální rozdělení (Kolmogorov- Smirnovův test $p > 0,20$). Data dle analýz na ČZU měla homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,274$). U analýz na ÚKZÚZ měla data také homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,169$). Z toho důvodu byl použit parametrický T-test pro nezávislé proměnné, který ukázal, že data stanovených vzorků

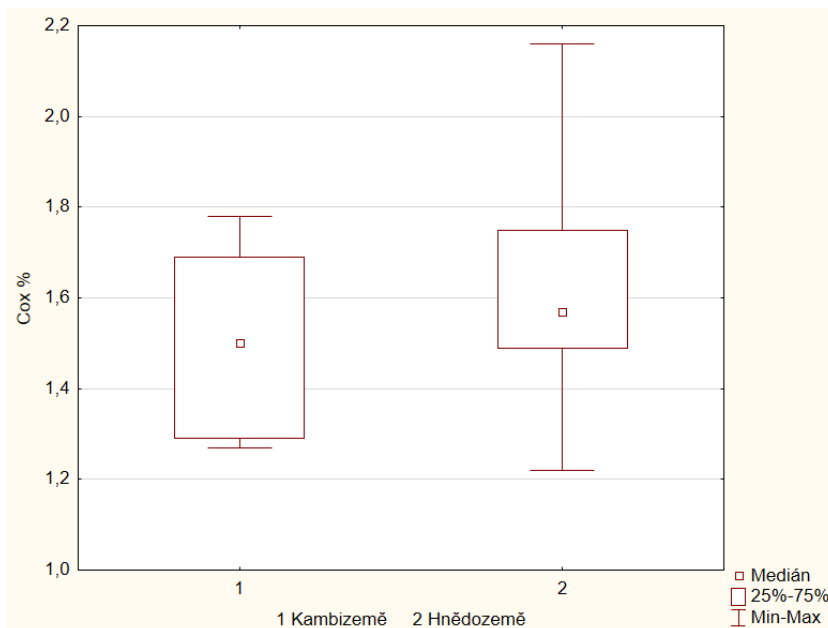
na ČZU se od sebe statisticky neliší ($p=0,466$, $n=12$, počet stupňů volnosti $sw=10$). U vzorků na ÚKZÚZ se od sebe také statisticky neliší ($p=0,546$, $n=12$, počet stupňů volnosti $sw=10$).

Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v kambizemích a hnědozemích, v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ČZÚ. V grafech 9 a 10 je patrné, že průměr a medián V AGRO Jesenice u Cox je v hnědozemích (průměr 1,64 a medián 1,57 %) větší než v kambizemích (průměr 1,52 a medián 1,50 %).

Graf 9: Porovnání Cox v kambizemích a hnědozemích - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ČZÚ v AGRO Jesenice

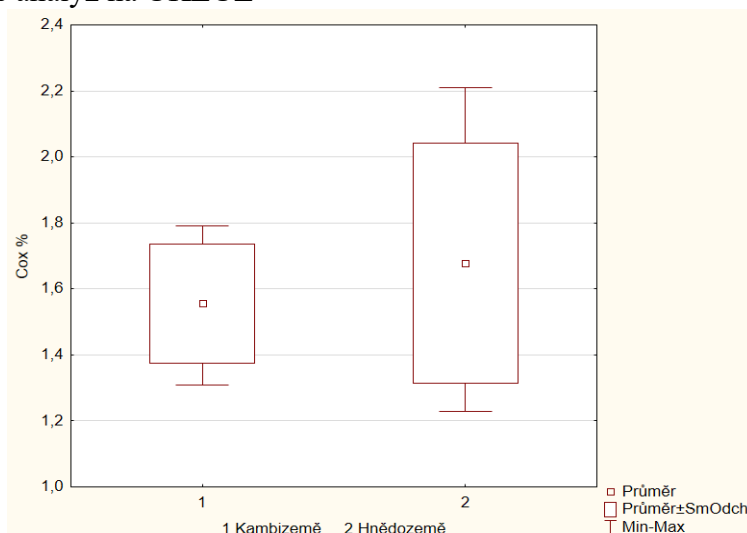


Graf 10: Porovnání Cox v kambizemích a hnědozemích - medián, kvartily, minima a maxima dle analýz na ČZÚ v AGRO Jesenice

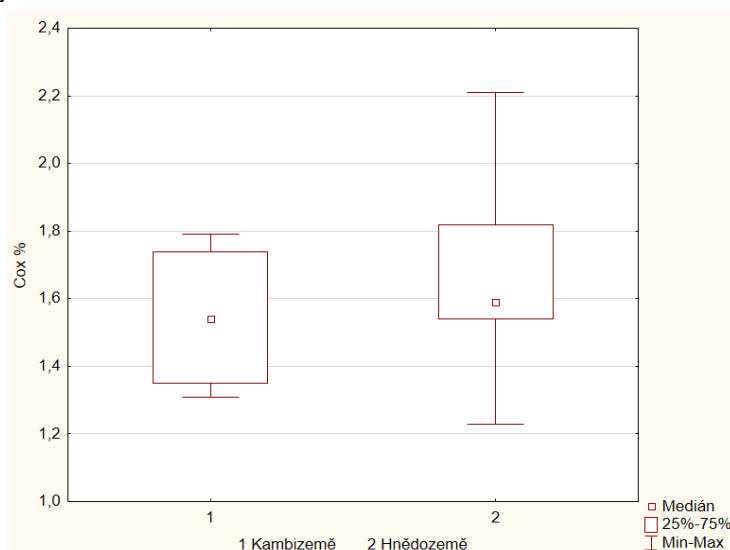


Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v kambizemích a hnědozemích, v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ÚKZÚZ. V grafech 11 a 12 je patrné, že průměr a medián Cox v hnědozemích (průměr 1,68 a medián 1,59 %) je větší než v kambizemích (průměr 1,56 a medián 1,54 %).

Graf 11: Porovnání Cox v kambizemích a hnědozemích - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ÚKZÚZ



Graf 12: Porovnání Cox v kambizemích a hnědozemích - medián, kvartily, minima a maxima dle analýz na ÚKZÚZ



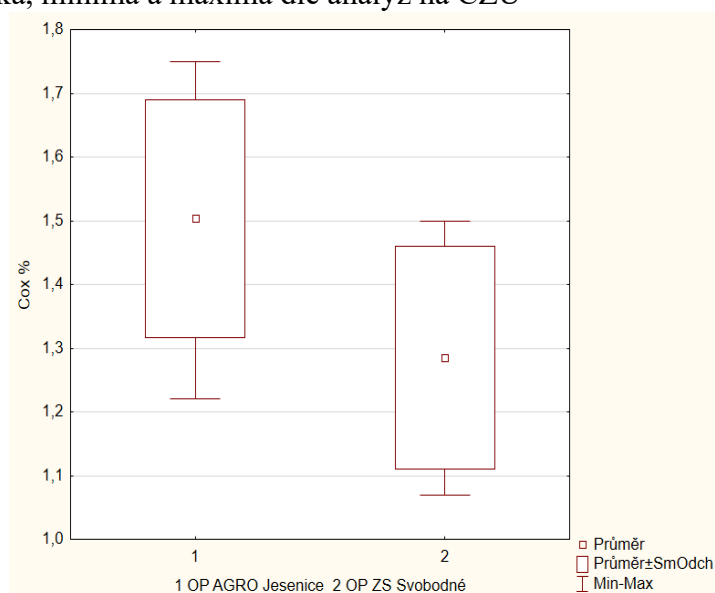
5.6.5 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox v orných půdách

Data u stanovení Cox ve všech orných půdách, v půdních typech kambizemě a hnědozemě, dle analýz na ČZU a ÚKZÚZ v ZS Svobodné a v AGRO Jesenice mají normální rozdělení. V obou případech byl (Kolmogorov- Smirnovův test $p > 0,20$). Data měla homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,960$), rozptyl u analýz na ČZU jsou homogenní. U analýz na ÚKZÚZ měla data také homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,990$). Z toho důvodu byl použit parametrický T-test pro nezávislé proměnné, který ukázal, že data stanovených vzorků na ČZU se od sebe sice těsně, ale liší ($p=0,0459$, $n=14$, počet stupňů volnosti $sw=12$). Levenův test vyšel nad 0.05, proto byl použit pro hodnocení těchto dvou souborů parametrický T-test.

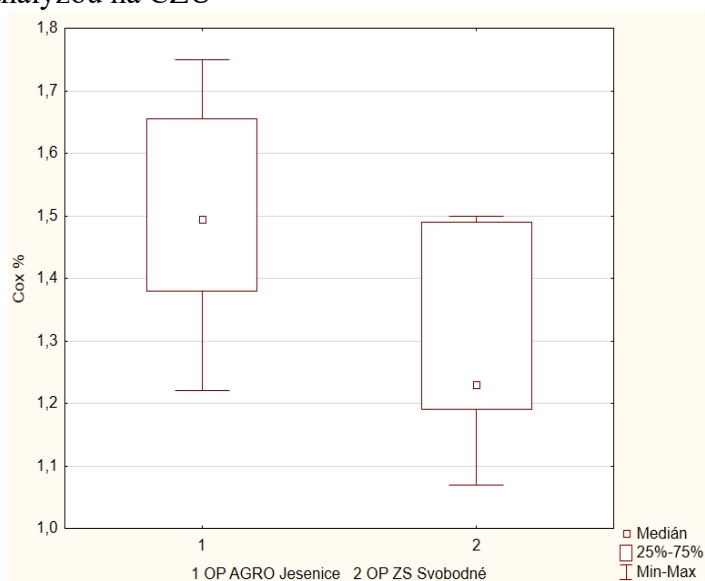
V případě, že by Levenův test vyšel pod 0.05, nemohl by být použit pro hodnocení těchto dvou souborů parametrický T-test, ale jeho neparametrická obdoba – Mann-Whitneyův test. T-test pro nezávislé vzorky $p=0,046$ (4,6 %). Oba soubory se od sebe sice těsně, ale liší. U vzorků na ÚKZÚZ je výsledek totožný, soubory se od sebe sice těsně, ale liší ($p=0,043$, $n=14$, počet stupňů volnosti $sw=12$).

Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox ve všech orných půdách, v půdních typech kambizemě a hnědozemě, v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ČZU. V grafech 13 a 14, je patrné, že průměr a medián Cox ve všech zkoumaných orných půdách, v půdních typech kambizemě a hnědozemě, je v AGRO Jesenice (průměr 1,50 a medián 1,50 %) větší než v ZS Svobodné (průměr 1,29 a medián 1,23 %).

Graf 13: Porovnání Cox v orných půdách v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ČZÚ

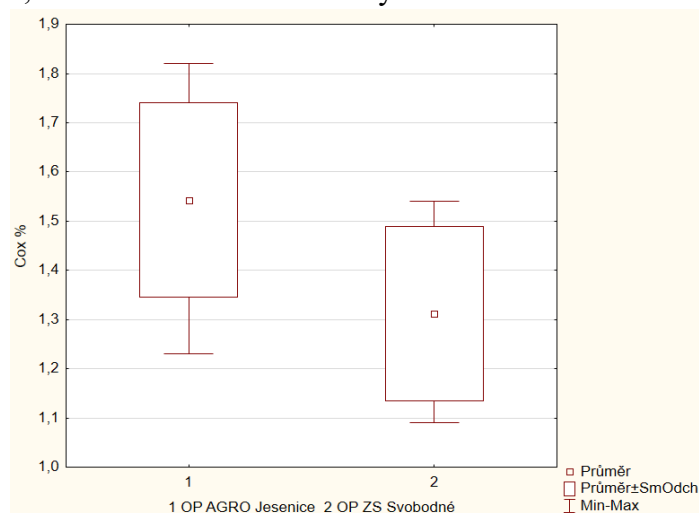


Graf 14: Porovnání Cox v orných půdách v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ČZÚ

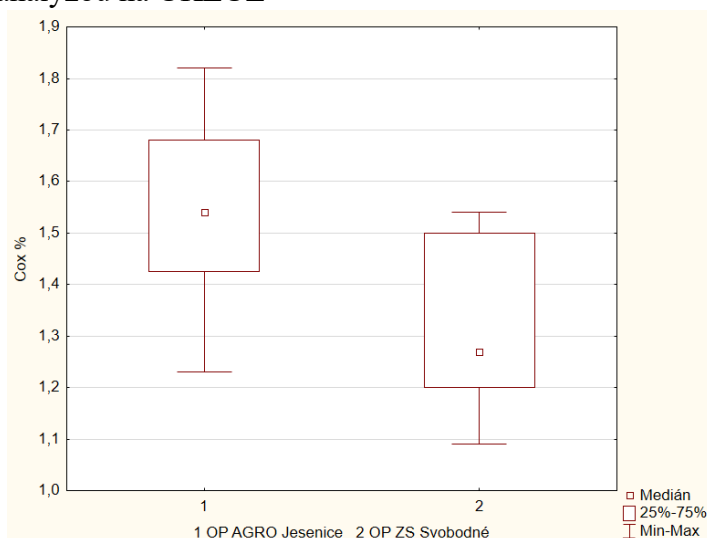


Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox ve všech orných půdách, v půdních typech kambizemě a hnědozemě, v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ÚKZÚZ. V grafech 15 a 16, je patrné, že průměr a medián Cox ve všech zkoumaných orných půdách, v půdních typech kambizemě a hnědozemě je v AGRO Jesenice (průměr 1,54 a medián 1,54 %) větší než v ZS Svobodné (průměr 1,31 a medián 1,27 %).

Graf 15: Porovnání Cox v orných půdách v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ÚKZÚZ



Graf 16: Porovnání Cox v orných půdách v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ÚKZÚZ



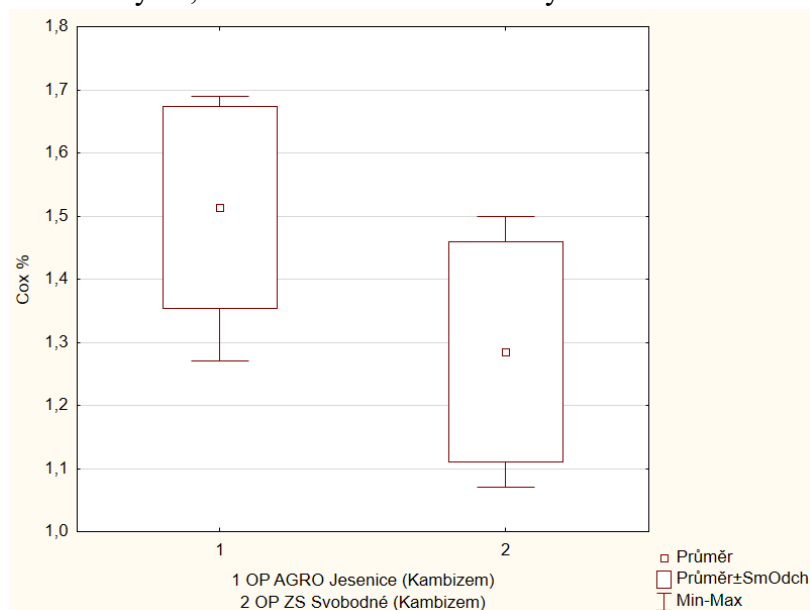
5.6.6 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox v orných půdách v kambizemích

Data u stanovení Cox v orných půdách, v kambizemích, dle analýz na ČZU a ÚKZÚZ v ZS Svobodné a v AGRO Jesenice mají normální rozdělení. V AGRO Jesenice (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). V ZS Svobodné mají data též normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). Data měla homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,632$), rozptyl u analýz na ČZU jsou homogenní. U analýz na ÚKZÚZ měla data homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,568$). Z toho důvodu byl použit parametrický T-test pro nezávislé proměnné, který ukázal, že data stanovených vzorků na ČZU se od sebe statisticky neliší ($p=0,514$, $n=11$, počet

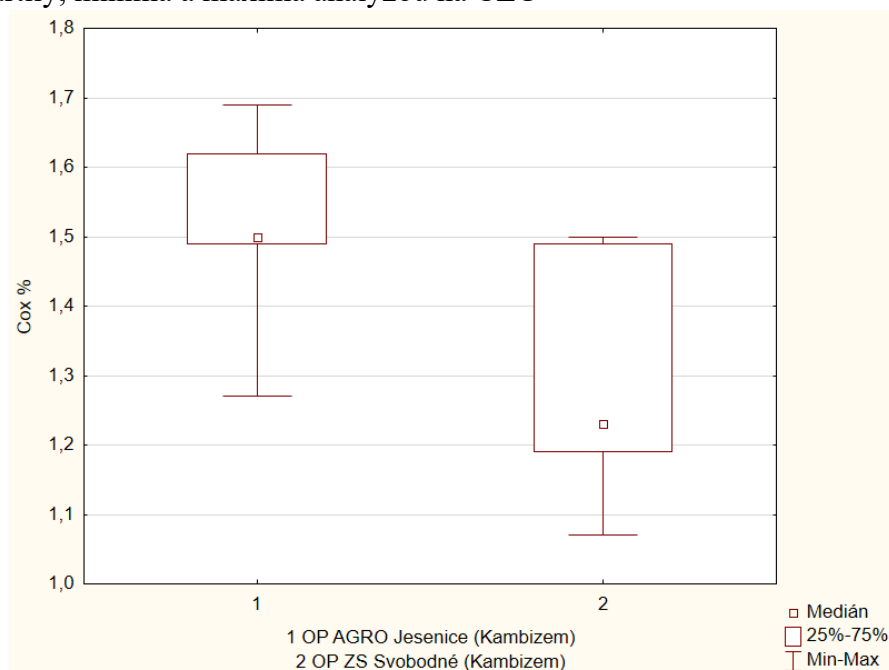
stupňů volnosti $sw=9$). T-test pro nezávislé proměnné u vzorků na ÚKZÚZ se soubory se od sebe liší ($p=0,046$, $n=14$, počet stupňů volnosti $sw=12$).

Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v orných půdách, ale pouze u půdního typu kambizem v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ČZU. V grafech 17 a 18, je patrné, že průměr a medián Cox ve zkoumaných orných půdách v kambizemích v AGRO Jesenice (průměr 1,50 a medián 1,50 %) je taktéž větší než v ZS Svobodné (průměr 1,29 a medián 1,23), podobně jako ve všech zkoumaných orných půdách, jak je patrné v grafu 13 a 14.

Graf 17: Porovnání Cox v orných půdách (kambizemích) v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ČZU

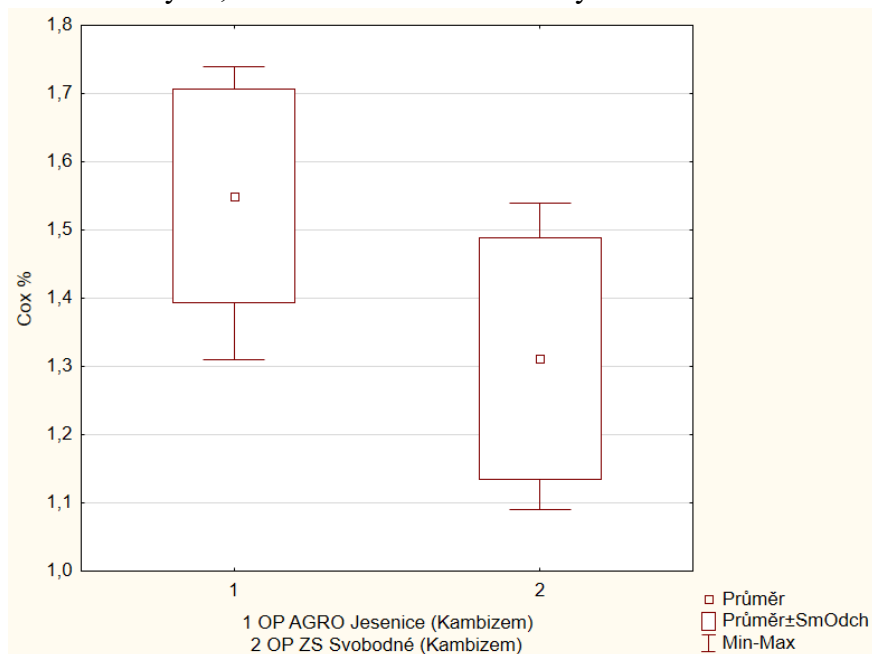


Graf 18: Porovnání Cox v orných půdách (kambizemích) v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ČZU

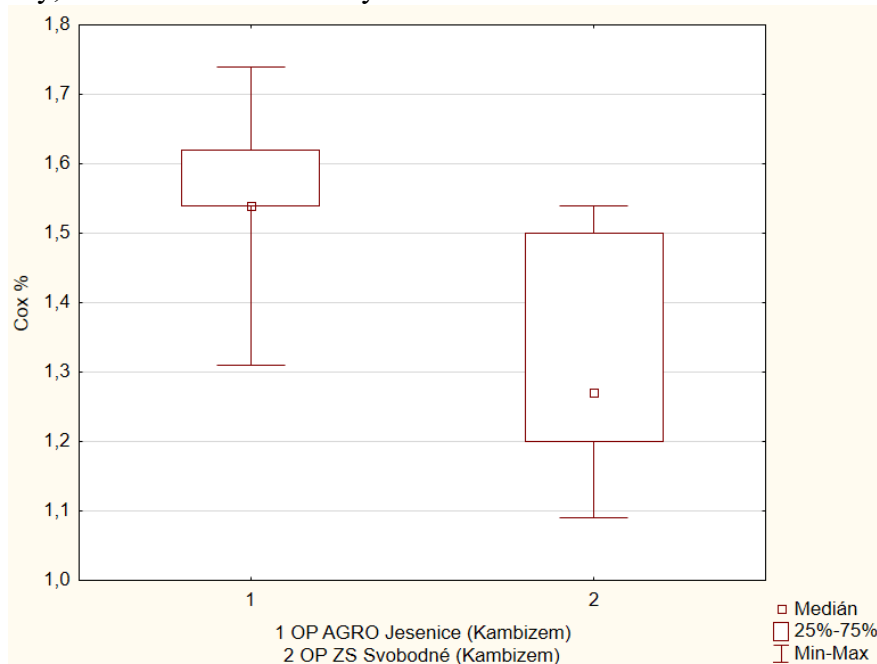


Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v orných půdách, v půdních typech kambizemě v AGRO Jesenice a ZS Svobodné dle analýz na ÚKZÚZ. V grafech 19 a 20, je patrné, že průměr a medián Cox v zkoumaných orných půdách, kde je kambizem je v AGRO Jesenice (průměr 1,50 a medián 1,50 %) je větší než v ZS Svobodné (průměr 1,29 a medián 1,23), tak jako ve všech zkoumaných orných půdách, jak je patrné v grafu 15 a 16.

Graf 19: Porovnání Cox v orných půdách (kambizemích) v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ÚKZÚZ



Graf 20: Porovnání Cox v orných půdách (kambizemích) v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ÚKZÚZ

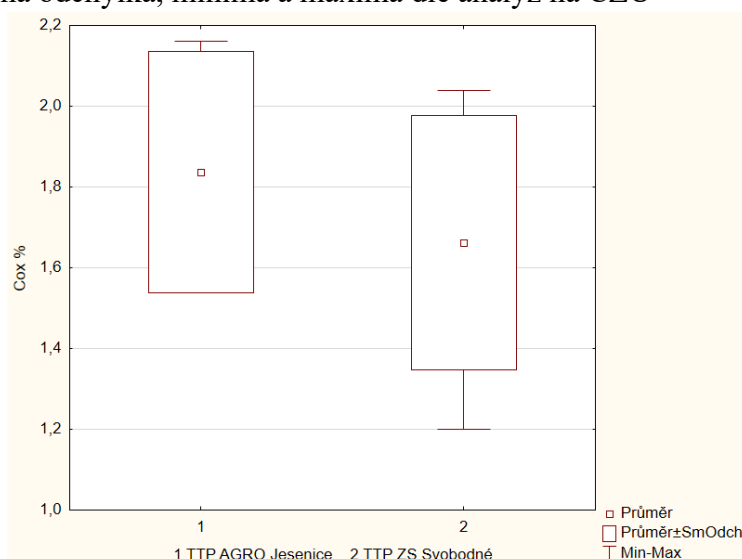


5.6.7 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox v trvalých travních porostech

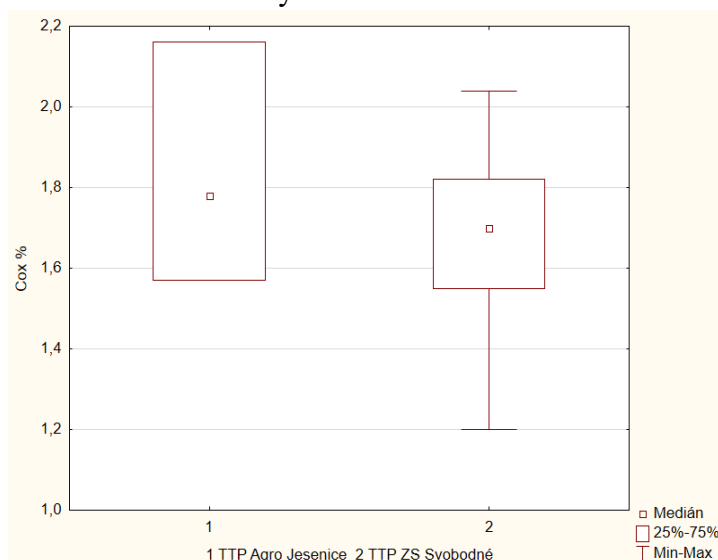
Data u stanovení Cox v trvalých travních porostech, dle analýz na ČZU a ÚKZÚZ v ZS Svobodné a v AGRO Jesenice mají normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). V AGRO Jesenice (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). V ZS Svobodné mají data též normální rozdělení (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). Data měla homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,913$), rozptyl u analýz na ČZU jsou homogenní. U analýz na ÚKZÚZ měla data také homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,911$). Z toho důvodu byl použit parametrický T-test pro nezávislé proměnné, který ukázal, že data stanovených vzorků na ČZU se od sebe statisticky neliší ($p=0,469$, $n=8$, počet stupňů volnosti $sw=6$). U vzorků na ÚKZÚZ se od sebe také statisticky neliší ($p=0,467$, $n=8$, počet stupňů volnosti $sw=6$).

Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v trvalých travních porostech v AGRO Jesenice (průměr 1,81 a medián 1,78 %) a ZS Svobodné (průměr 1,66 a medián 1,70 %).

Graf 21: Porovnání Cox v trvalých travních porostech v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ČZU

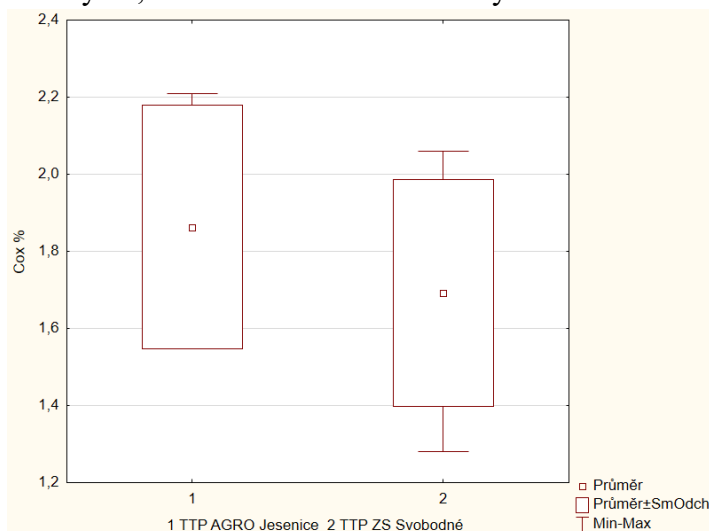


Graf 22: Porovnání Cox v trvalých travních porostech v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ČZU

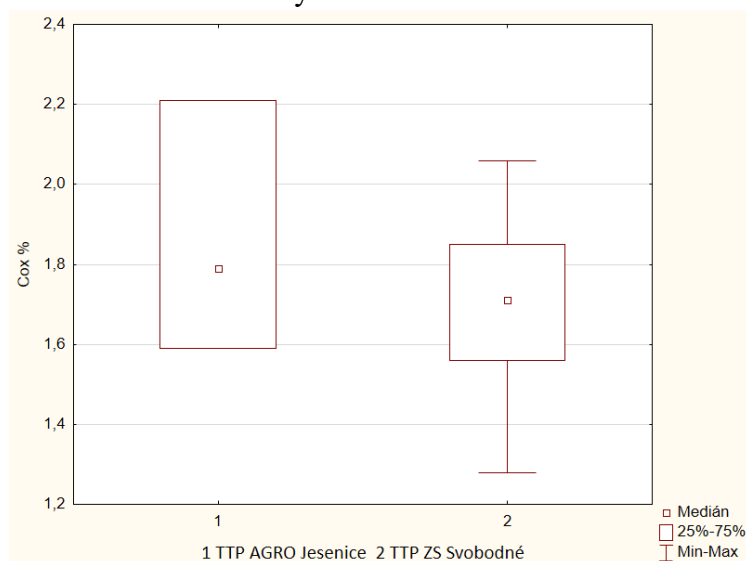


Krabicové grafy níže ukazují porovnání Cox v trvalých travních porostech v AGRO Jesenice (průměr 1,86 a medián 1,79 %) a ZS Svobodné (průměr 1,70 a medián 1,71 %), analýzou na ÚKZÚZ.

Graf 23: Porovnání Cox v trvalých travních porostech v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima dle analýz na ÚKZÚZ



Graf 24: Porovnání Cox v trvalých travních porostech v AGRO Jesenice a ZS Svobodné - medián, kvartily, minima a maxima analýzou na ÚKZÚZ

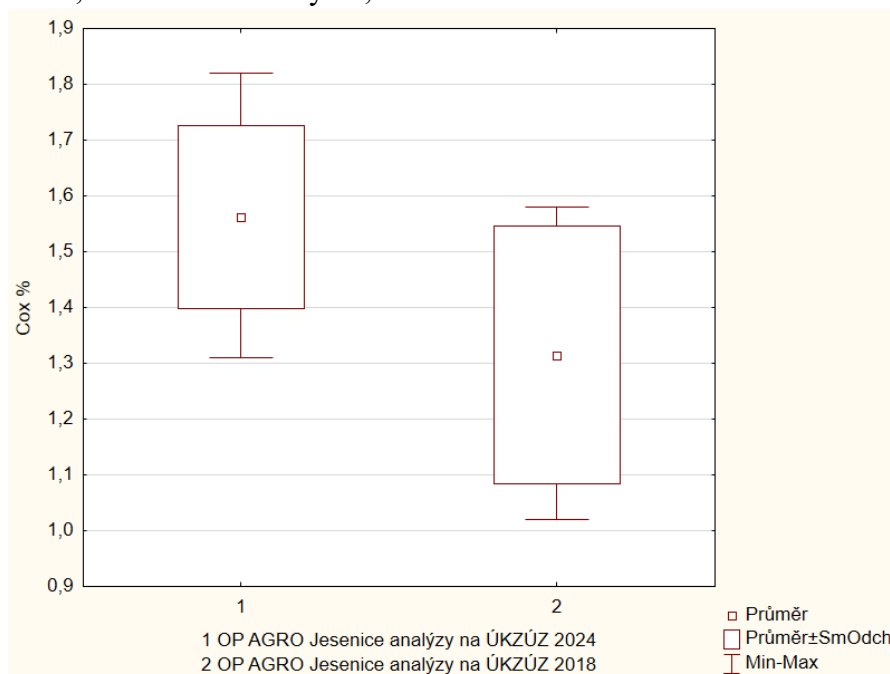


5.6.8 Porovnání obsahu oxidovatelného uhlíku Cox v orných půdách v letech 2024 a 2018

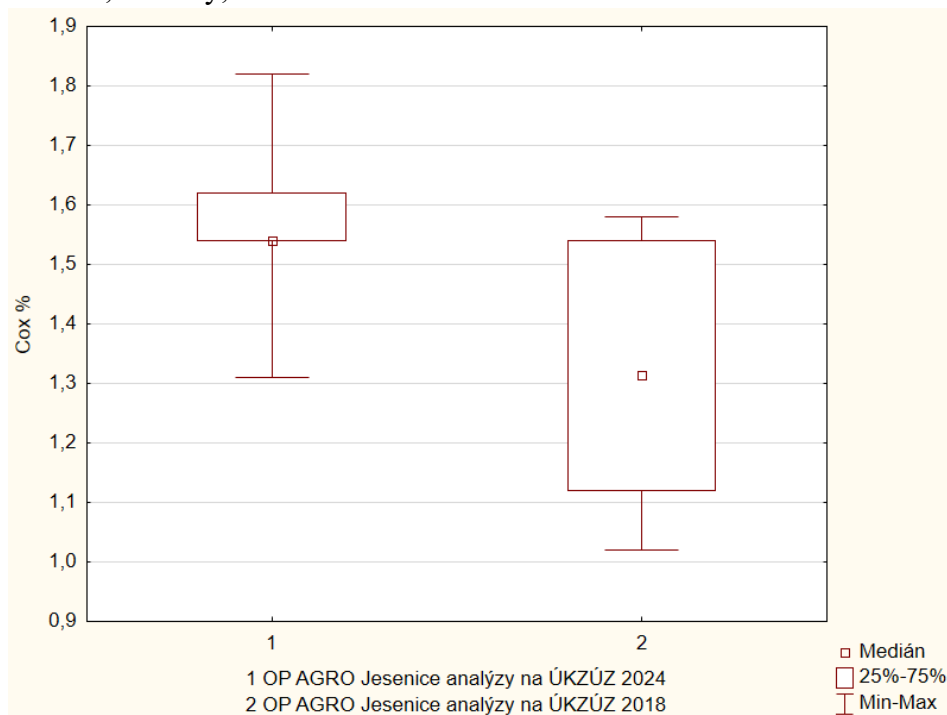
Porovnání dat u stanovení Cox v orných půdách v letech 2024 a 2018, dle analýz na ÚKZÚZ v AGRO Jesenice mají normální rozdělení. V AGRO Jesenice (Kolmogorov-Smirnovův test $p > 0,20$). Data měla homogenní rozptyl (Levenův test $p > 0,139$), rozptyl jsou homogenní, proto byl použit parametrický T-test pro nezávislé proměnné, který ukázal, že se vzorky statisticky neliší ($p=0,059$, $n=12$, počet stupňů volnosti $sw=10$).

Krabicové grafy níže ukazují porovnání dat u stanovení Cox v orných půdách v letech 2024 (průměr 1,56 a medián 1,54) a 2018 (průměr 1,32 a medián 1,32 %), dle analýz na ÚKZÚZ v AGRO Jesenice.

Graf 25: Porovnání Cox v orných půdách v letech 2024 a 2018, dle analýz na ÚKZÚZ v AGRO Jesenice - průměr, směrodatná odchylka, minima a maxima



Graf 26: Porovnání Cox v orných půdách v letech 2024 a 2018, dle analýz na ÚKZÚZ v AGRO Jesenice - medián, kvartily, minima a maxima



6 Diskuse

Odběry půdních vzorků byly realizovány ve dvou zemědělských společnostech nacházejících se v odlišných půdně-klimatických regionech České republiky. Celkem bylo odebráno 24 půdních vzorků. Dvanáct odběrů bylo v Zemědělské společnosti Agro Jesenice a dvanáct v Zemědělské společnosti Svobodné. Vzorky se odebíraly na orné půdě a trvalých travních porostech.

První lokalitou byla Zemědělská společnost AGRO Jesenice u Prahy, kde byly vzorky odebírány na dvou půdních typech – hnědozemích a kambizemích. Tato oblast spadá do teplejších klimatických podmínek. Odebrané vzorky byly ve dvou případech na klimatickém regionu T2 s charakteristikou teplý, mírně suchý region a v deseti případech na klimatickém regionu MT2 s charakteristikou regionu mírně teplý, mírně vlhký. Vzorky byly odebírány v nadmořské výšce od 322 (lokalita Průhonice) do 443 m n. m (Radějovice). Odběry půdních vzorků byly provedeny od 19. března do 23. března 2024, kdy bylo odebráno osm vzorků na orné půdě a pět na trvalých travních porostech a jeden půdní vzorek byl odebrán na úhoru. Před vlastním odběrem byla vytipována místa odběru tak, aby reprezentovala celou plochu společnosti v AGRO Jesenice ležící v okresech Praha - západ a Praha - východ a zároveň, byla vybrána stejná místa, kde byl již v minulosti proveden odběr ÚKZÚZ v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd. Celkem to bylo na šesti místech reprezentované ornou půdou. Odběry byly prováděny, tak, aby vždy v těsné blízkosti, pokud to bylo možné byl odebrán vzorek orné půdy a vzorek půdy z trvalého travního porostu. Půdní vzorek na úhoru byl vybrán proto, že v blízkosti odebraných vzorků nebylo možné odebrat vzorek z trvalých travních porostů. Tento vzorek byl zahrnut ve statistice do vzorků orných půd. Úhor zde byl až od roku 2023 a tím nemohl být tento vzorek reprezentativní pro srovnání rozdílu mezi ornou půdou a travním porostem. Ve všech případech na orné půdě vždy docházelo k orbě.

Odběry vzorků ve společnosti Svobodné byly provedeny od 15. března do 18. března 2024, na orné půdě bylo odebráno šest vzorků a na trvalých travních porostech pět vzorků, jeden půdní vzorek byl odebrán na úhoru. Na rozdíl od vzorku odebraného na úhoru ve společnosti AGRO Jesenice, byl úhor odebraný ve společnosti Svobodné nepřetržitě již od roku 2009. Půdní vzorky byly odebírány v nadmořské výšce od 368 m n. m. (Havlovice) do 474 m n. m. (Maršov u Úpice). Všechny vzorky byly odebrány na kambizemích. Dva vzorky byly odebrány v klimatickém regionu MCH mírně chladný, vlhký a v ostatních deseti případech se jednalo o klimatický region mírně teplý, vlhký - MT4. Před vlastním odběrem byla vytipována místa odběru, v součinnosti se zaměstnanci Zemědělské společnosti Svobodné, tak, aby reprezentovala celou plochu společnosti Svobodné v okrese Trutnov. Před odběrem byla vytipována místa, kde nedochází k orbě, ale pouze k mělkému kypření po sklizni, tzv. podmítnutí, konkrétně se jednalo o dva půdní vzorky, v ostatních případech na orné půdě docházelo k orbě. Navíc byla vybrána dvě stejná místa, kde byl již v minulosti proveden odběr. Jedno místo reprezentovalo ornou půdou a jedno místo trvalý travní porost.

Půdní vzorky v obou společnostech byly odebrány podle Metodického pokynu Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského od 15. března do 23. března 2024, tedy v rámci doporučeného období od 1. února do 31. května. Lokality odběrů byly zaměřeny přístrojem GPS. Po celou dobu odběru bylo zajištěno dodržování pracovních postupů. Průměrné vzorky byly vždy odebírány z plochy jednotně obhospodařované. Půdní vzorky byly

odebírány sondovací tyčí, přičemž jeden průměrný vzorek se skládal minimálně z 30 vpichů. Při odběru bylo dbáno na to, aby nedošlo k přimíchání zeminy z podorničí (Smatanová, 2016). Všechny vzorky byly analyzovány v laboratořích České zemědělské univerzity v Praze a v laboratoři Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ) v Brně. V laboratoři České zemědělské univerzity (ČZÚ) byla provedena analýza oxidovatelného uhlíku - Cox na všech 24 vzorcích titrací po oxidaci chromosírovou směsí, tzv. modifikovanou Tjurinovou. V laboratoři ÚKZÚZ byla provedena analýzy na všech 24 stejných vzorcích jako na ČZÚ. Obě metody jsou vhodné pro vzorky s běžným obsahem a přirozeným složením organických látek (Zbírál et al. 2022). Analýzy Cox byly provedeny jak na ČZÚ, tak na ÚKZÚZ z důvodu porovnání vzorků, které byly již v minulosti odebrány na území společnosti AGRO Jesenice a společnosti Svobodné. V AGRO Jesenici se to týkalo šesti vzorků odebraných v roce 2018 a ve společnosti Svobodné pak pouze dvou vzorků odebraných v roce 2019.

Ve všech 24 vzorcích byla v laboratoři ČZÚ stanovena výměnná půdní reakce (pH) v roztoku chloridu vápenatého. Výsledky stanovení byly vyhodnoceny a klasifikovány podle hodnot pH od silně kyselých po silně alkalické (Zbírál, 2016). V Zemědělské společnosti AGRO Jesenice se pH půdy pohybovalo mezi 5,37-5,84, což odpovídá kyselé až slabě kyselé půdní reakci. V orných půdách bylo pH 5,37-5,83, u TTP 5,41-5,84. Ve společnosti Svobodné byly hodnoty pH výrazně nižší od 4,57 do 5,13. Půdy spadající do pásma silně kyselé až kyselé reakce, u orné půdy 4,73-5,03 a u TTP 4,57-5,13. Silně kyselé půdy v lokalitě ZS Svobodné, jsou charakteristické sníženou biologickou aktivitou, nižší dostupností bazických kationtů (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}) a zvýšenou mobilitou toxických prvků, zejména Al^{3+} . V takových podmínkách je vhodné u intenzivně využívaných půd zvažovat vápnění (Vaněk et al. 2018).

Objemová hmotnost nebyla zjišťována analýzou v laboratoři, přesto je nezbytným parametrem pro výpočet zásob půdního uhlíku a následného odhadu potenciální sekvestrace uhlíku. Objemová hmotnost byla vypočtena na základě známého obsahu organické hmoty pomocí vzorce podle Adamse (1973). Za účelem ověření vhodnosti použití tohoto přístupu byly výpočty objemové hmotnosti porovnány s výsledky získanými podle dalších pěti výpočetních metod uvedených v literatuře (FAO, 2017). Konkrétně podle Saini (1996), Drew (1973), Jeffrey (1970), Grigal et al. (1989) a Honeysett & Ratkowsky (1989). Tyto alternativní přístupy vycházejí rovněž ze vztahu mezi organickou hmotou a objemovou hmotností půdy, liší se ve specifikaci parametrů rovnice a byly odvozeny na základě různých typů půd. Na základě porovnání bylo zjištěno, že výpočty objemové hmotnosti jsou vzájemně srovnatelné, přičemž nejmenší rozdíl oproti metodě dle Adamse byl zaznamenán u rovnice podle Drewa (+0,035 g/cm³), největší odchylka pak u Jeffreyho (-0,143 g/cm³). Průměrná objemová hmotnost podle Adamse činila 1,361 g/cm³, zatímco průměrná hodnota vypočtená na základě ostatních pěti metod byla 1,398 g/cm³. Celkový rozdíl mezi těmito přístupy tak činil přibližně +0,037 g/cm³, přičemž ostatní metody poskytovaly mírně vyšší hodnoty než podle Adamse (1973). Na základě těchto výsledků byla metoda dle Adamse (1973) vyhodnocena jako dostatečně přesná a byla zvolena pro všechny další výpočty objemové hmotnosti půdy.

Ve společnosti AGRO Jesenice se objemová hmotnost půdy pohybovala podle výsledků na ÚKZÚZ v rozmezí 1,28–1,38 g/cm³, s průměrnou hodnotou 1,34 g/cm³. Ve společnosti Svobodné kolísaly hodnoty mezi 1,30–1,40 g/cm³, průměr činil 1,36 g/cm³.

Půdy v České republice podle výsledků bazálního monitoringu půd ÚKZÚZ za roky 2014–2019 dosahovaly průměrné objemové hmotnosti 1,46 g/cm³, přičemž hodnoty kolísaly v

intervalu 0,41–1,90 g/cm³ (Sáňka, 2018). Výsledky objemové hmotnosti půdy se pohybují v rozmezí, které odpovídá údajům zjištěným ÚKZÚZ v rámci bazálního monitoringu půd v ČR, přičemž se spíše nacházejí v jeho dolní části, což by mohlo naznačovat kypřejší půdy. Je však třeba zdůraznit, že objemová hmotnost v tomto případě nebyla měřena přímo, nýbrž odvozena výpočtem z obsahu organické hmoty, a tedy zatížena určitou mírou nejistoty. Tento výpočetní přístup nezohledňuje aktuální fyzikální stav půdy – zejména míru zhutnění vlivem pojezdu mechanizace nebo rozdíly mezi strukturně kyprou a uježděnou půdou, které přitom mohou vykazovat výrazně odlišné hodnoty objemové hmotnosti.

Byly stanoveny tři hypotézy vztahující se k zásobám organického uhlíku v půdě, vlivu různých způsobů hospodaření na jejich výši a k předpokladu vyššího sekvestračního potenciálu v teplejších klimatických oblastech. První hypotézou bylo, že vyšší zásoba organického uhlíku je v teplejších oblastech s kvalitnějšími půdami.

První hypotéza pracuje s myšlenkou, že v teplejších oblastech jsou obvykle takové mateční půdní substráty, včetně rozdílné textury a obsahu jílových minerálů, na kterých se vyvíjejí úrodnější půdy a tím je zde vyšší obsah organického uhlíku (Doetterl et al. 2015).

Na druhé straně vyšší teplota podporuje rozklad organických látek, což vede ke snížení obsahu organické hmoty v půdě. Naopak vyšší vlhkost půdy zpomaluje mineralizaci a přispívá k vyššímu obsahu organické hmoty. Zamokřené půdy s omezenou aerací obvykle obsahují více organické hmoty než půdy dobře provzdušněné (Šimek et al. 2019a). Zatímco vyšší teplota rozklad organických látek urychluje, vyšší vlhkost a nižší pH ho obecně zpomaluje (Šimek et al. 2019b).

ÚKZÚZ zjišťoval obsah oxidovatelného uhlíku v zemědělských půdách od roku 2014 do roku 2021 podle klimatických regionů v České republice, od klimatického regionu VT - velmi teplého, suchého až po klimatický region CH - chladný, vlhký (Smatanová, 2021). V dalším textu jsou porovnány naměřené výsledky odebraných půdních vzorků s výsledky zjištěnými na ÚKZÚZ.

Vyšší zásoba organického uhlíku v teplejších oblastech s kvalitnějšími půdami je ve společnosti AGRO Jesenice, kde dva odebrané vzorky byly v klimatickém regionu T2 - teplém, mírně suchém. Jeden vzorek byl odebrán pod trvalým travním porostem (TTP) s naměřeným Cox 2,21 % a druhý na orné půdě (OP) s hodnotou Cox 1,74 %. Průměr všech vzorků podle ÚKZÚZ v klimatickém regionu T2 byl 1,76 % (Smatanová, 2021). To odpovídá naměřenému množství Cox (1,74 %) na orné půdě, kdežto u TTP bylo množství Cox vyšší (2,21 %). V deseti případech byl odebrán půdní vzorek v klimatickém regionu MT2 s charakteristikou regionu mírně teplý, mírně vlhký s průměrem Cox 1,53 %, to odpovídá naměřenému průměru na ÚKZÚZ v tomto klimatickém regionu. Průměr všech vzorků podle ÚKZÚZ v klimatickém regionu MT2 byl 1,52 % (Smatanová, 2021).

Zásoba organického uhlíku ve společnosti Svobodné reprezentující chladnější klimatický region MCH mírně chladný, vlhký. Ze dvou odebraných půdních vzorků na orné půdě byl průměr Cox 1,37 % (1,50 % a 1,23 %), zde se hodnoty liší od průměru naměřených hodnot na ÚKZÚZ. Průměr všech vzorků analyzovaných na ÚKZÚZ v klimatickém regionu MCH byl výrazně vyšší 2,68 % (Smatanová, 2021). Toto sice potvrzuje snížený rozklad organických látek při vyšší vlhkosti a nižší teplotě a zvýšenou hodnotu Cox (Šimek et al. 2019b). V případě analyzovaných půd ve společnosti Svobodné se tento předpoklad nepotvrdil.

V deseti případech, kdy byl odebrán půdní vzorek, se jednalo o klimatický region mírně teplý, vlhký - MT4, zde byla naměřena průměrná hodnota Cox 1,51 %, což je nižší hodnota, než je průměrná hodnota analyzovaná ÚKZÚZ pro tento region, která činila 1,63 % (Smatanová, 2021). Analýzy provedené na ÚKZÚZ prokázaly vyšší obsah oxidovatelného uhlíku (Cox) ve vzorcích z AGRO Jesenice oproti ZS Svobodné. V AGRO Jesenice činil průměr 1,61 % a medián 1,565 %, zatímco v ZS Svobodné byl průměr 1,47 % a medián 1,42 %. Vyšší byly také extrémní hodnoty minimum a maximum. Rozdíly ale nebyly statisticky průkazné.

V rámci porovnání mezi zemědělskými společnostmi se neprokázal jednoznačný vliv kyselejší půdní reakce na akumulaci organického uhlíku, přestože nižší pH může zpomalovat rozklad organických látek. V ZS Svobodné dosahovalo pH v orných půdách výrazně nižších hodnot, v rozmezí 4,57 - 5,03, zatímco v AGRO Jesenice se hodnoty pH v orných půdách pohybovaly od 5,37 do 5,83. Přesto průměrný obsah organického uhlíku v orných půdách AGRO Jesenice dosahoval hodnoty 1,54 %, zatímco ve ZS Svobodné činil pouze 1,31 %. Podobný trend byl prokázán i na trvalých travních porostech (TTP). V AGRO Jesenice byl v TTP průměr 1,86 %, medián 1,79 %, zatímco v orných půdách 1,52 % a 1,54 %. Maximum v TTP dosáhlo 2,21 %, minimum 1,57 %; u orné půdy to bylo 1,82 % a 1,22 %. V ZS Svobodné byl obsah Cox obecně nižší. Průměr v TTP činil 1,69 %, medián 1,71 %; v orných půdách 1,32 % a 1,31 %. I zde byly extrémní hodnoty vyšší v TTP (2,06 % a 1,23 %) než v OP (1,54 % a 1,07 %). Navíc TTP vykazovaly ve všech případech vyšší obsah Cox než orná půda, a to bez ohledu na lokalitu.

Vyšší hodnoty byly dále zaznamenány na půdním typu hnědozem, který se vyskytoval pouze v AGRO Jesenice. Průměr zde činil 1,68 % a medián 1,59 %, což převyšovalo průměrnou hodnotu z kambizemí 1,56 % a medián 1,54 %.

Hypotéza, že vyšší zásoba organického uhlíku se nachází v teplejších oblastech s kvalitnějšími půdami, byla potvrzena.

Druhá hypotéza, tedy hypotéza, že způsob hospodaření výrazně ovlivňuje zásoby organického uhlíku v půdě, byla také potvrzena.

Intenzivní konvenční orba narušuje půdní agregáty a zvyšuje mineralizaci organického uhlíku (Lee et al. 2009).

Šetrnější způsoby zpracování půdy, s omezením orby a minimalizací kultivačních zásahů, zpomalují degradaci organické hmoty a přispívají k jejímu uchování (Šimek et al. 2019b).

Toto bylo prokázáno na příkladu dvou půdních bloků ve společnosti Svobodné, nacházejících se v těsné blízkosti. Oba se nacházejí na orné půdě, na půdním typu kambizem, ve stejném klimatickém regionu MT4 (mírně teplý, vlhký) a se shodným osevním sledem (2021 – vojtěška setá, 2022 – řepka ozimá, 2023 – pšenice ozimá). Zásadní rozdíl však spočíval ve způsobu hospodaření. Na jednom z bloků byla prováděna klasická orba se zaoráním slámy řepky ozimé, zatímco na druhém byly aplikovány protierozní postupy bez orby se zapravením slámy podmínkou a navíc aplikací chlévského hnoje v dávce 50 t/ha. Na půdním bloku s konvenční orbou byl naměřen obsah Cox 1,20 %, zatímco na půdním bloku s bezorebným systémem a aplikací organického hnojiva činil obsah Cox 1,54 %. Rozdíl 0,34 procentního bodu potvrzuje výrazný vliv šetrného způsobu hospodaření na akumulaci organického uhlíku v půdě.

Aplikace organických hnojiv, včetně chlévského hnoje, kompostu a zeleného hnojení, významně přispívá ke zvýšení obsahu organické hmoty v půdě a zlepšuje biologické procesy i koloběh živin (Hutchinson et al. 2007; Šarapatka & Urban, 2006; Šimek et al. 2019b).

Toto bylo pozorováno na orných půdách typu kambizem v klimatickém regionu MCH (mírně chladný, vlhký) ve společnosti Svobodné. Porovnání dvou půdních bloků s odlišným režimem organického hnojení ukázalo významný rozdíl v obsahu organického uhlíku. Přestože se osevní postup lišil, na jednom z bloků bylo aplikováno organické hnojení – v jednom roce chlévský hnůj v dávce 50 t/ha, a v jiném roce v dávce 40 t/ha. Na druhém bloku nebylo organické hnojení použito vůbec. Na lokalitě s aplikací chlévského hnoje činil obsah Cox 1,50 %, zatímco na lokalitě bez organického hnojení byl Cox pouze 1,20 %. Tento rozdíl opět potvrzuje pozitivní vliv organického hnojení na akumulaci uhlíku v půdě.

Další potvrzení druhé hypotézy poskytuje srovnání dat z jednoho půdního bloku společnosti AGRO Jesenice (půdní vzorek č. 5), nacházejícího se v klimatickém regionu MT2 (mírně teplý, mírně vlhký) na půdním typu kambizem. Porovnány byly výsledky z různých let na totožné lokalitě. V roce 2018 byla zaznamenána hodnota Cox 1,21 %, přičemž v roce 2015 došlo k zaorání slámy řepky a v letech 2016 a 2017 nebylo aplikováno žádné organické hnojivo. Oproti tomu po roce 2023, kdy byl aplikován fugát v dávce 15 t/ha a rovněž došlo k zaorání slámy řepky, vzrostla hodnota Cox na 1,54 %. Podrobnější analýza pak potvrdila, že nárůst obsahu oxidovatelného uhlíku souvisí s intenzivnějším vnášením organické hmoty do půdy, zejména formou zaorání posklizňových zbytků řepky ozimé a aplikací organických hnojiv.

Třetí hypotéza se zakládala na tvrzení, že vyšší potenciální sekvestraci uhlíku mají kvalitnější půdy v teplejších oblastech, tato hypotéza nebyla potvrzena, ale není ji možné ani jednoznačně zamítnout.

Získaná data ukazují, že absolutní zásoby uhlíku a výchozí hodnoty Cox byly sice vyšší v teplejší oblasti AGRO Jesenice (např. vzorek 4) v klimatickém regionu MT2 s charakteristikou regionu mírně teplý, mírně vlhký, s hodnotou Cox 1,54 % a zásobou půdního uhlíku 62,37 t /ha), ale relativní nárůsty sekvestrovaného uhlíku po aplikaci komplexního scénáře zlepšeného hospodaření byly v některých případech vyšší v chladnější oblasti ZS Svobodné (např. vzorek 15), kde vykazoval nárůst Cox o 11,82 % oproti vzorku 4, kde byl nárůst Cox o 8,17 %.

Rozhodující se ukázal být výchozí stav půdy. V půdách s vyšší výchozí zásobou uhlíku byl potenciál sekvestrace nižší, pravděpodobně kvůli blízkému se bodu nasycení.

Podle Kane (2015) šetrné hospodaření s organickými hnojivy, omezením orby a zařazením mezplodin podporuje nárůst zásob půdního uhlíku, po dosažení určité nasycenosti se schopnost půdy sekvestrovat uhlík výrazně snižuje.

Půdy s nižším výchozím obsahem uhlíku při nevhodném hospodaření zůstávají hluboko pod svým potenciálem (Lal, 2004).

Podle Zomer et al. (2017) lze správně nastaveným hospodařením, které respektuje půdní vlastnosti, zásadně zvýšit zásobu organického uhlíku.

Dle Lal et al. (2015), se rychlost sekvestrace organického uhlíku odhaduje na 100-1 000 kg C/ha/rok a bývá často vyšší v chladných a vlhkých půdách než v teplých a suchých oblastech, což může vysvětlovat vyšší relativní nárůsty právě ve vzorcích z Podkrkonoší.

Při simulaci komplexního scénáře hospodaření (bezorebný systém, meziplodina, organické hnojení) však relativní nárůst zásob půdního uhlíku byl v některých případech vyšší v chladnějších oblastech, například u vzorku 17 (ZS Svobodné, MCH) byl nárůst půdního uhlíku vyšší o 7,88 % či 6,98 %, podle způsobu výpočtu, kdežto ve společnosti AGRO Jesenice u vzorku č. 11 v klimatickém regionu T2 byl nárůst o 5,91 % či 4,9 % půdního uhlíku, tedy nižší než v chladnější oblasti. Při přímém srovnání absolutních přírůstků uhlíku mezi jednotlivými lokalitami vzorek 4 (AGRO Jesenice, MT2) dosáhl nižší sekvestrace uhlíku (+5,1 t/ha) než vzorek 15 (ZS Svobodné, MT4), kde bylo navýšení o 5,9 t/ha).

Naopak u vzorku č. 13 (ZS Svobodné, MT4), kde je dlouhodobě uplatňován bezorebný způsob hospodaření a aplikováno organické hnojení, byl zaznamenán nižší nárůst půdního uhlíku, pouze 2,1 t/ha, což může souviset s tím, že potenciál pro další sekvestraci uhlíku byl již z velké části vyčerpán.

Při srovnání absolutního nárůstu zásoby uhlíku mezi vzorkem 11 (AGRO Jesenice) a vzorkem 17 (ZS Svobodné) byl rozdíl potenciální sekvestrace velmi nízký, záleželo zde na způsobu výpočtu, kdy ve variantě 1 byl nárůst mírně vyšší v Jesenici (+4,1 vs. +3,9 t/ha), zatímco ve variantě 2 vykazovalo vyšší přírůstek Svobodné (+3,46 vs. +2,79 t/ha).

Výsledky a doporučení nelze bezvýhradně zobecnit. Vždy je nutné respektovat konkrétní půdní a klimatické podmínky a těm přizpůsobit volbu vhodných způsobů hospodaření. Například bezorebné či minimální zpracování půdy nemusí být vhodné pro všechny podmínky, zejména se nehodí pro těžké jílovité půdy náchylné k přirozenému samovolnému zhutňování.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo pro dvě vybraná, půdně a klimaticky odlišná území České republiky zpracovat odhad a rozložení zásob organického uhlíku v půdách a zpracovat odhad potenciální sekvestrace uhlíku. První území se nacházelo v rámci Zemědělské společnosti Agro Jesenice, která reprezentuje oblast s teplejšími klimatickými podmínkami. Druhé sledované území, charakteristické chladnějším klimatem, se nacházelo v oblasti obhospodařované Zemědělskou společností Svobodné.

Byly stanoveny tři hypotézy zaměřené na zásoby organického uhlíku v půdě, vliv rozdílných způsobů hospodaření na jejich výši a potenciál sekvestrace uhlíku v závislosti na klimatických podmínkách. První hypotéza předpokládala, že vyšší zásoba organického uhlíku je v teplejších oblastech s kvalitnějšími půdami, vzhledem k tomu, že kombinace příznivějších klimatických podmínek a kvalitnější půdy mohou podpořit vyšší ukládání organické hmoty v půdním profilu a tím její vyšší zásobu. Tato hypotéza byla potvrzena.

Druhá hypotéza, tedy že způsob hospodaření výrazně ovlivňuje zásoby organického uhlíku v půdě, byla potvrzena na základě porovnání více lokalit s rozdílným způsobem zpracování půdy a aplikace organických hnojiv. Šetrnější přístupy, jako jsou bezorebné systémy a aplikace chlévského hnoje či fugátu, vedly k vyšším hodnotám organického uhlíku v půdě oproti hospodaření s orbou a bez použití organických hnojiv. Tento trend byl doložen na konkrétních příkladech v rámci zemědělských společností Svobodné a AGRO Jesenice.

Třetí hypotéza vycházející z předpokladu, že vyšší zásoba organického uhlíku v teplejších oblastech s kvalitnějšími půdami, nebyla potvrzena. Ačkoli byly absolutní zásoby uhlíku vyšší v lokalitě AGRO Jesenice, relativní nárůst zásoby uhlíku po aplikaci zlepšeného hospodaření byly v několika případech vyšší v chladnější oblasti ZS Svobodné. Zjištěné rozdíly naznačují, že rychlost sekvestrace uhlíku není ovlivňována pouze teplotou a kvalitou půdy, ale také dalšími faktory, jako je půdní vlhkost, míra provzdušnění a kyselá půdní reakce, které mohou zpomalovat mineralizaci a podporovat akumulaci organické hmoty.

Přínosem práce je zejména porovnání množství uhlíku v jednotlivých typech využití a analýza faktorů, které jeho ukládání ovlivňují. Bezorebné systémy, meziplodiny a aplikace organických hnojiv se v rámci této práce ukázaly jako účinná opatření podporující sekvestraci uhlíku v půdě. Tato opatření mohou být využita jako nástroj ke snižování emisí skleníkových plynů a zvýšení odolnosti zemědělských systémů vůči dopadům klimatických změn.

Dalším přínosem je přímé porovnání výsledků stanovení oxidovatelného uhlíku provedených v laboratoři ČZU a v laboratoři ÚKZÚZ. Data jsou vzájemně porovnatelná a použitelná, přestože statistická analýza prokázala významný rozdíl, neboť hodnoty z ÚKZÚZ byly systematicky vyšší, průměrně ale jen o 0,035 %. Tento rozdíl může mít dopad na výpočet zásoby uhlíku, avšak z praktického hlediska lze obě datové sady využít při hodnocení sekvestračního potenciálu a vlivu způsobu hospodaření.

Pro důkladné pochopení procesů ukládání uhlíku je nezbytné pochopit procesy v ukládání uhlíku, musíme znát všechny faktory, které se méně či více na tomto procesu podílejí a ovlivňují ho. Tyto informace lze získat z komplexnějších odběrů vzorků. Vhodné je zahrnout jak prostorové rozdíly, jako je nadmořská výška, tak i časový aspekt, který umožní sledování dlouhodobých změn. Danou problematiku je vhodné dále sledovat v odlišných půdních a klimatických podmínkách i na dalších lokalitách.

8 Literatura

Adams WA. 1973. The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *European Journal of Soil Science* (1):10–17.

Banwart SA, Black H, Cai Z, Gicheru PT, Joosten H, Victoria RL, Milne E, Noellemeyer E, Pascual U. 2015. The Global Challenge for Soil Carbon. In: Banwart SA, Noellemeyer E, Milne E, editor. *Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits*, CAB International. ISBN: 978-1780645322.

Batjes NH. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47:151-163.

Bielek P & Jurčová O. 2010. Metodika bilancie pôdnej organickej hmoty a stonovenia potreby organického hnojenia poľnohospodárskych pôd. Výzkumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava. ISBN 978-80-89128-80-8

Brady NC & Weil RR. 2014. *The nature and properties of soils*. Pearson Education, London. ISBN 978-0133254488.

Bronick CJ & Lal R. 2015. Soil structure and management. *Geoderma* 124:3-22.

Castellano MJ, Mueller KE, Olk DC, Sawyer JE, Six J. 2015. Integrating plant litter quality, soil organic matter stabilization and the carbon saturation concept. *Global Change Biology* 21:9.

Český statistický úřad ©2025. Souhrnný zemědělský účet (online). [cit. 2025.03.28], dostupné z < <https://csu.gov.cz/souhrnny-zemedelsky-ucet?pocet=10&start=0&podskupiny=274&razeni=-datumVydani> >.

Dlugoß V. 2011. Impacts of soil redistribution processes on soil organic carbon stocks and fluxes in a small agricultural catchment. PhD Thesis, Universität zu Köln.

Doetterl S, Cornelis JT, Six J, Bodé S, Opfergelt S, Boeckx P, Van Oost K. Soil redistribution and weathering controlling the fate of geochemical and physical carbon stabilization mechanisms in soils of an eroding landscape. *Biogeosciences* 12:1357-1371.

Drew LA. 1973. Bulk density estimation based on organic matter content of some minnesota soils.

Erenstein O, Chamberlin J, Sonder K. 2021. Farms worldwide: 2020 and 2030 outlook. *Outlook on Agriculture* 50(3):221-229.

FAO. 2017. *Soil Organic Carbon Mapping. GSOC Map. Cook Book Manual. Technical Report*. Rome, FAO. 167.

Fiala J, Kulovaná E. 2001. Hospodářský a ekologický význam travních porostů. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Úroda.

Friedlingstein P, Jones MW, O'Sullivan M, Andrew RM, Bakker DCE, Hauck J, Le Quéré C, Peters GP, Peters W, Pongratz J, Sitch S, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Alin SR, Anthoni P, Bates NR, Becker M, Bellouin N, Bopp, L, Chau TTT, Chevallier F, Chini, LP, Cronin, M, Currie KI, Decharme B, Djeutchouang LM, Dou X, Evans W, Watson AJ, Willis D, Wiltshire AJ, Yuan W, Yue C, Yue X, Zaehle S, Zeng J. 2020. Global Carbon Budget 2020, Earth Syst. Sci. Data 14:481-490.

Georgiou K, Jackson RB, Vindušková O, Abramoff RZ, Ahlstrom A, Feng W, Harden JF, Pellegrini AFA, Polley HW, Soong JL, Riley WJ, Torn MS. 2022. Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. Nature Communications 13(1):1-12.

Globe carbon cycle. 2017. The globe program: global learning and observations to benefit the environment. National oceanic and atmospheric administration 7:8-13.

Grigal D, Brovold S, Nord W, Ohmann L. 1989. Bulk density of surface soils and peat in the north central united states. Canadian Journal of Soil Science 69(4):895-900.

Harvey LD. 2000. Global warming. The hard science. Pearson education limited, Harlow Prentice Hall, Harlow. U.K. 336. ISBN 0582 -38167-3.

Hofman V, Voltr V, Podzemná L. 2021. Situační výhledová zpráva Půda. Ministerstvo zemědělství, Praha. ISBN 978-80-7434-598-2.

Honeysett J & Ratkowsky D. 1989. The use of ignition loss to estimate bulk density of forest soils. European Journal of Soil Science 40(2):299-308.

Horwath W. 2015. Carbon cycling: the dynamics and formation of organic matter. Soil microbiology, ecology and biochemistry 4:339-382.

Hutchinson JJ, Campbell CA, Desjardins R. 2007. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. Agricultural and Forest Meteorology 142(2-4):288-302.

Janzen HH. 2006. The soil carbon dilemma: shall we hoard it or use it? Soil Biology and Biochemistry 28:1297-1306.

Jeffrey D. 1970. A note on the use of ignition loss as a means for the approximate estimation of soil bulk density. The Journal of Ecology 297-299.

Johnson KMF, Franzluebbers AJ, Lachnicht WS, Reicosky DC. 2007. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. Environmental Pollution 150:107-124.

Joosten H. 2015. Current soil carbon loss and land degradation globally – where are the hotspots and why there? In: Banwart, S.A., Noellemeier E, Milne E, editor. Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits. CAB International 228-281.

Kadrnožka J. 2008. Globální oteplování Země: Příčiny, průběh, důsledky, řešení, Vysoké učení technické v Brně, Brno. ISBN 978-80-214-3498-1.

- Kane D. 2015. Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practises. National Sustainable Agriculture Coalition, Washington, DC.
- Kimble JM, Lal R, Follett RF. 2002. Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil. Boca Raton: Lewis Publishers. ISBN 1566705819.
- Kirkels FMSA, Cammeraat LH, Kuhn NJ. 2014. The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes – A review of different concepts. *Geomorphology* 226:94-105.
- Kolář L, Moudrý J, Kopecký M. 2014. Humus. ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s. Náměšť nad Oslavou. ISBN 978-80-87226-34-6.
- Kopecký M, Kolář L, Perná K, Váchalová R, Mráz P, Konvalina P, Murindangabo YT, Ghorbani M, Menšík L, Dumbrovský M. 2022. Fractionation of soil organic matter into labile and stable fractions. *Agronomy* 12(11):73.
- Kubát J, Cerhanová D, Mikanová O, Šimon T. 2008. Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha. ISBN: 978-80-87011-65-2
- Kubiš J. 2025. Akciová společnost AGRO Jesenice u Prahy v roce 2025. AGRO Jesenice, Jesenice.
- Kučera J, Šantrůček J, Vávra P. 2019. Produkční a ekologické aspekty travních porostů. Česká zemědělská univerzita, Praha. ISBN 978-80-213-2976-8.
- Kögel-Knabner I, Wiesmeier M, Mayer S. 2022. Mechanisms of soil organic carbon sequestration and implications for management. In: Rumpel, C. (ed.): Understanding and fostering soil carbon sequestration. Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 11-46.
- Lacis AA, Schmidt GA, Rind D. 2010. Atmospheric CO₂: Principal control knob governing Earth's temperature. *Science* 330: 356-359.
- Lal R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123:1-22.
- Lal R. 2008. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 363:815-830.
- Lal R, Negassa W, Lorenz K. 2015. Carbon sequestration in soil. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 15:79-86.
- Lavallee JM, Soong JL, Cotrufo MF. 2020. Conceptualizing soil organic matter into particulate and mineral associated forms to address global change in the 21st century. *Global change biology* 26(1): 261–273.
- Lehmann J & Kleber M. 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528(7580):60-68.

Marek VM, Ač V, Apltauer J, Bodlák L, Burešová R, Cienciala E, Cudlín P, Cudlínová E, Czerný R, Čížková H, Dubrovský M, Dušek J, Exnerová Z, Havráňková K, Henzlík V, Janderková J, Janouš D, Lapka M, Macků J, Matějka K, Pavelka M, Pechar L, Pokorný J, Pokorný R, Schneider J, Stará L, Středa T, Šefrna L, Taufarová K, Urban O, Vyskot I, Zatloukal V, Zemek F, Zitová M. 2021. Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-1876-2

Marek VM, Ač V, Balek J, Bíla K, Bláhová m, Brázdil R, Cienciala E, Daněk J, Daněk T, Dobrovolný P, Duchková H, Farda A, Hanel M, Harmáčková ZM, Hlavinka P, Hollan J, Holoubek I, Holub P, Homolová L, Janouš D, Kindlmann P, Klem K, Komínková K, Kozoubková J, Krpec P, Křenová Z, Kuidláčková L, Leventon J, Meitner J, Mertelka L, Pavelka M, Semerádová D, Skalák P, Slovák L, Trnka M, Tůma I, Tolasz O, Trnka M, Tůma I, Urban O, Vavříková J, Vítková G, Vizina A, Záhora J, Zahradníček P, Žaluz Z. 2022. Klimatická změna - příčiny, dopady a adaptace. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-3362-8

Mašát K. 2002. Metodika vymezování a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 80-238-9095-6.

Milne E, Krawczynski R, Banwart S. 2015. Soil carbon, multiple benefits. Environmental Development. 13(14):33-38.

Minasny B, Malone BP, McBratney AB, Angers DA, Arrouays D, Chambers A, Winowiecki L. 2017. Soil carbon 4 per mille. Geo-derma 292:59-86.

Mrázková M, Hradilová M, Landová H. 2017. Srovnání obsahu půdního oxidovatelného uhlíku a kvality humusu u dvou lokalit v rozdílných nadmořských výškách. Agrovýzkum Rapotín s.r.o., Rapotín.

Nátr L. 2000. Koncentrace CO₂ a rostliny. ISV nakladatelství, Praha. ISBN 80-85866-62-5

Nelson DW & Sommers LE. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Chemical methods. SSSA Book Series, SSSA and ASA, Madison, WI. 961-1010. ISBN: 978-0-89118-866-7.

Němeček J, Muhlanselová M, Macků J, Vokoun J, Vavříček D, Novák P. 2011. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN 80-238-8061-6

Pearson T, Walker S, Brown S. 2005. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. Washington DC. World Bank.

Pospíšilová L & Tesařová M. 2009. Organický uhlík obhospodařovaných půd: Organic carbon in arable soils. Původní vědecká práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-282.

Pribyl DW. 2010. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma 156(3-4):75-83.

Právělie R, Patriche C, Borrelli P, Panagos P, Roşca B, Dumitraşcu M, Bandoc G. 2021. Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. *Environmental Research* 194:110697.

Randusová A. 2014. Úbytek organické hmoty. Sdružení pro ochranu půdy, Praha

Riebeek H. 2011. The carbon cycle. Washington D.C. NASA Earth Observatory.

Saini G. 1966. Organic matter as a measure of bulk density of soil. *Nature* 210(5042):1295-1296.

Sáňka M, Vácha R, Poláková Š, Fiala P. 2018. Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd. Ministerstvo životního prostředí, Praha. ISBN 978-80-7212-627-9

Scharlemann, JP, Tanner EV, Hiederer R, Kapos V. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* 5(1):81-91.

Smatanová M. 2016. Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2017 až 2022. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

Smatanová M. 2021. Hodnocení vybraných parametrů půdní organické hmoty v zemědělských půdách ČR. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno

Smatanová M. Komprsová I. Jančíková I. Hynšt J. 2022. Problematika stanovení a hodnocení půdní organické hmoty v agendách ÚKZÚZ. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno

Smith P. 2008. Land use change and soil carbon dynamics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81(2):169-178

Stewart CE, Paustian K, Conant RT, Plante AF, Six, J. 2007. Soil carbon saturation: Concept, evidence and evaluation. *Biogeochemistry* 86(1):19-31.

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

Šarapatka B & Urban J. 2006. Ekologické zemědělství v praxi. PRO-BIO Svaz ekologického zemědělství, Šumperk. ISBN 978-80-903583-0-0

Šarapatka B, Borůvka L, Konečná J, Podhrázská J, Pospíšilová L, Sáňka M, Šantrůčková H, Vácha R, Žigová A. 2021. Půda - přehlížené bohatství. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. ISBN 978-80-244-6022-2

Šimek M et al. 2019a. Živá půda: biologie, ekologie, využívání a degradace půdy. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-2976-8

Šimek M, Šantrůčková H, Mühlbachova G, Vaverka R, Kusá H, Růžek P. 2019b. Skleníkové plyny z půdy a zemědělství: vlastnosti, produkce, spotřeba, emise a možnosti jejich snížení. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-3011-5.

Tomášek M. 2014. Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha. ISBN 978-80-7075-861-8.

Vácha R, Čechánková J, Dufková R, Fučík P, Horváthová V, Huislová P, Kabelka D, Kapička J, Khel T, Kincl D, Kulhavý Z, Novák P, Novotný I, Papaj V, Pelíšek I, Podhrázská J, Pochop M, Srbek J, Tlapáková L, Vopravil J, Zajíček A, Žížala D. 2019. Půda - naše bohatství. Praha, Profi Press. ISBN 978-80-88306-00-9.

Váchalová R, Borová-Batt J, Víachal J. 2014. Selectivity of ion exchange as a sign of soil quality. Communications in Soil Science and Plant Analysis 45(20):2673-2679.

Vaněk V, Kunzová E, Klimeš R, Hnilička L, Kovář J. 2018. Vápnění zemědělských půd – metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. ISBN 978-80-7427-327-5

Vleeshouwers LM & Verhagen A. 2002. Carbon emission and sequestration by agricultural land use a model study for Europe. Global Change Biology 8:519-530.

Vopravil J, Khel T, Vrabcová T, Novák P, Novotný I, Hladík J, Vašků Z, Jacko K, Rožnovský J, Janeček M, Vácha R, Pivcová J, Kvítek T, Novák P, Fučík P, Čermák P, Janků J, Pírková I, Papaj V, Banýrová J. 2009. Půda a její hodnocení v ČR. Díl I. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 978-80-87361-02-3.

Vopravil J, Novotný J, Khel T, Hladík J, Jacko K, Papaj V, Vašků Z, Vrabcová T, Pírková I, Rožnovský J, Havelková L, Huml J, Sekanina A, Novák P, Voltr V, Středa T, Kohoutová L, Poruba M, Czelis R, Janků J, Penízek V. 2011. Půda a její hodnocení v ČR: Díl II. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha. ISBN 978-80-87361-08-52.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy ©2025. Kalkulačka přísunu a bilance organické hmoty do půdy (online). [cit. 2025.03.28], dostupné z < <https://www.organicahmota.cz> >.

Yu W, Huang W, Weintraub-Leff SR, Hall SJ. 2022. Where and why do particulate organic matter (POM) and mineral-associated organic matter (MAOM) differ among diverse soils? Soil Biology and Biochemistry 172:108756.

Zbíral J. 2016. Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno. ISBN 978-80-7401-123-8.

Zbíral J, Malý S, Čuhel J, Svobodová M. 2022. Analýza půd III. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno ISBN 978-80-87361-08-52.

Zomer JR, Bossio AD, Sommer R, Louis VV. 2017. Global sequestration potential of increased organic carbon in cropland soils. Scientific Reports 7(1):15554.

ZS Svobodné. 2025. Informační bulletin: Zemědělská společnost Svobodné, a.s. Zemědělská společnost Svobodné, a.s., Havlovice.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

ČZU	Česká zemědělská univerzita
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
ZS	Zemědělská společnost
HN	hnědozem
KA	kambizem
C	uhlík
CO ₂	oxid uhličitý
C _{ox}	oxidovatelný organický uhlík
C _{TOC}	celkový organický uhlík
C _{TOC_NOVÝ}	nový obsah organického uhlíku
Cr	chrom
M	hmotnost půdy
M _{nový}	nová hmotnost půdy
OM	organická hmota
OM _{nový}	nový obsah organické hmoty
SOC	půdní organický uhlík (<i>soil organic carbon</i>)
SOC _{nový}	nová zásoba půdního organického uhlíku
PPOH	primární půdní organická hmota
POM	partikulovaná organická hmota (<i>particulate organic matter</i>)
MAOM	organická hmota vázaná na půdní minerály (<i>mineral-associated organic matter</i>)
DOM	rozpuštěná organická hmota (<i>dissolved organic matter</i>)
XOM	přírůstek organické hmoty
A	objem ornice
BD	objemová hmotnost
MDB	objemová hmotnost minerální složky
kg/m ²	kilogram na metr čtvereční
g/cm ³	gram na centimetr krychlový
t/ha	tuna na hektar
t C/ha	tuna uhlíku na hektar
Gt C	gigatuna uhlíku
cm	centimetr
m	metr
g	gram
Gt	gigatuna
Pg	petagram
t	tuna
t C	tuna uhlíku
km ²	kilometr čtvereční
m ²	metr čtvereční
ha	hektar

°C	stupňů Celsia
mm	milimetr
ml	mililitr
nm	nanometr
h	hloubka
S	plocha
%	procento
p	hladina významnosti
n	počet proměnných
sw	počet stupňů volnosti
SmOdch	směrodatná odchylka
Min	minimum
Max	maximum
log	logaritmus
HPJ	hlavní půdní jednotka
BPEJ	bonitovaná půdně ekologická jednotka
VT	velmi teplý
T1	teplý, suchý
T2	teplý, mírně suchý
T3	teplý, mírně vlhký
MT1	mírně teplý, suchý
MT2	mírně teplý, mírně vlhký
MT3	mírně teplý, značně vlhký
MT4	mírně teplý, vlhký
MCH	mírně chladný, vlhký
CH	chladný, vlhký
U	úhor
OP	orná půda
TTP	trvalý travní porost

10 Seznam příloh

1. Zemědělská společnost AGRO Jesenice - podrobné popisy území odebraných vzorků včetně pěstování plodin a organického hnojení
2. Zemědělská společnost Svobodné - podrobné popisy území odebraných vzorků včetně pěstování plodin a organického hnojení

Příloha 1. Zemědělská společnost AGRO Jesenice – podrobné popisy území odebraných vzorků včetně pěstování plodin a organického hnojení																			
Poř.č. vzorku	DPB KÓD	Místo	Rozloha (ha)	Zemědělská půda / Kultura	Analýza Cox (%) na UKZÚZ 2018	Rozdílná analýza Cox (%) na UKZÚZ 2024 a 2018	2024 Analýza Cox (%) na UKZÚZ	2024 Analýza Cox (%) na ČZU	pH 2024	Rozdílná analýza Cox (%) na UKZÚZ a ČZU (UKZÚZ vždy více o)	Hnojení *)	GPS	Nadmořská výška m n. m.	Plodina 2015 2016 2017	Plodina 2021 2022 2023	Klimatický region BPEJ	Půdní druhy	Půdní typ	
1	2501/7	Dolní Brežany Svátov u dubu II. Sítel	43,71	R - OP	1,12	Více o 0,42	1,54	1,49	5,49	0,05	2015 - zasetí - vojteška 2016 - zasetí - vojteška 2017 - zasetí - vojteška 2022 fugat 15 t/ha 2023 fugat 15 t/ha 2024 - zasetí - vojteška 2024 - zasetí - vojteška	49,9672881 N 14,4444911 E	344	vojteška setá vojteška setá pšenice oz.	vojteška setá vojteška setá fepka oz.	5 5.12.12		hlinitá až písčité střední	Hnědozemě HN
2	3602/2	Dolní Brežany Malá Spálenka	4,94	T - TTP	NA	NA	1,59	1,57	5,53	0,02	nehnojeno - poskádno odvozeno	49,965763 N 14,4451659 E	344	T - TTP T - TTP T - TTP	T - TTP T - TTP T - TTP	5 5.12.13		hlinitá až písčité střední	Hnědozemě HN
3	2501/7	Dolní Brežany Svátov u dubu II.	43,71	R - OP	1,02	Více o 0,8	1,82	1,75	5,51	0,07	2015 nehnojeno, nečistě zasetí - fepka 2023 fugat 15 t/ha 2024 zasetí - vojteška 2024 nehnojeno	49,9723853 N 14,4425053 E	343	pšenice oz. fepka oz. fepka oz.	vojteška setá vojteška setá fepka oz.	5 5.12.12		hlinitá až písčité střední	Hnědozemě HN
4	4201/ 16	Sulice Kašparanda horní	22,2	R - OP	1,42	Více o 0,12	1,54	1,49	5,61	0,05	2016 fugat 15 t/ha 2017 nehnojeno 2022 nehnojeno 2023 pouze zasetí - sláma tepky, 2024 fugat 15 t/ha	49,9190853 N 14,5617549 E	441	fepka oz. pšenice oz. vojteška setá ječmen jarní	vojteška setá fepka oz. pšenice oz.	5 5.26.11		hlinitá až písčité střední	Kambizem KA
5	4201/12	Mandava Kašparanda dolní	24,83	R - OP	1,21	Více o 0,33	1,54	1,50	5,37	0,04	2015 zasetí - sláma tepky 2016 a 2017 nehnojeno 2023 fugat 15 t/ha zasetí - sláma tepky, 2024 fugat 15 t/ha	49,9208615 N 14,5687740 E	441	Fepka oz. pšenice oz. ječmen jarní	vojteška setá fepka oz. pšenice oz.	5 5.26.01		hlinitá až písčité střední	Kambizem KA
6	4201/11	Mandava Kašparanda I	4,87	T - TTP	NA	NA	1,79	1,78	5,41	0,01	2023 fugat 10 t/ha jaro 2023 poskádno odvozeno, 2024 nehnojeno	49,9211283N 14,5594939E	442	fepka oz. fepka oz. vojteška setá	T - TTP T - TTP T - TTP	5 5.26.41		hlinitá až písčité střední	Kambizem KA
7	5902/11	Radějovice U věltin I	13,8	R - OP	1,58	Více o 0,04	1,62	1,62	5,62	0,00	2017 zasetí - sláma tepky a fugat 10 t/ha 2023 fugat 10 t/ha - jaro 2023 zasetí - sláma tepky, 2024 nehnojeno	49,9473747N 14,5587164E	428	vojteška setá vojteška setá fepka oz.	vojteška oz. fepka oz. pšenice oz.	5 5.26.11		hlinitá až písčité střední	Kambizem KA
8	4102/22	Radějovice Za prasečákem I	11,97	R - OP	1,54	méně 0,23	1,31	1,27	5,49	0,04	2017 fugat 15 t/ha včetně zasetí slámy tepky 2022 nehnojeno 2023 pouze zasetí - sláma tepky, 2024 nehnojeno	49,9420033 N 14,5682542E	443	vojteška setá vojteška setá fepka oz.	ječmen jarní fepka oz. pšenice oz.	5 5.26.01		hlinitá až písčité střední	Kambizem KA
9	4102/34	Radějovice Louka u Sančáku	17,02	U	NA	NA	1,35	1,29	5,42	0,06	nehnojeno - kletý trá, ve statistice do OP	49,9436155 N 14,5725840 E	419	fepka oz. fepka oz. vojteška setá	fepka oz. pšenice oz. U od 2023	5 5.26.14		hlinitá až písčité střední	Kambizem KA
10	6402/9	Přibonice Za golfem	3,84	T - TTP	NA	NA	2,21	2,16	5,84	0,05	2023 mlávková fugat 15 t/ha jaro 2023 fugat 15 t/ha jaro 2024 nehnojeno	49,9867225 N 14,5377994 E	324	T - TTP T - TTP T - TTP	T - TTP T - TTP T - TTP	2 2.12.00		hlinitá až písčité střední	Hnědozemě HN
11	5401/3	Rožkoš - Přibonice Za remízem	12,50	R - OP	NA	NA	1,74	1,69	5,49	0,05	2021 sláma pšenice, 2022, 2023 a 2024 nehnojeno	49,9920764 N 14,5380469 E	322	fepa oz. pšenice oz. ječmen jarní	pšenice oz. ječmen jarní ječmen jarní	2 2.26.01		hlinitá až písčité střední	Kambizem KA
12	3001/18	Libeň - Ohrobec Jezera 4	154,56	R - OP	NA	NA	1,23	1,22	5,83	0,01	2023 sláma mláka, 2024 nehnojeno	49,9345586N, 14,4421911E	372	mák setý slunečnice pšenice oz.	mák setý jarní ječmen pšenice oz.	5 5.12.13		hlinitá až písčité střední	Hnědozemě HN
*) Bylo zjišťováno organické hnojení, jako je hnůj, kejda, digestát, fúgát, popípradé zaozávka slámy, zelené hnojení, apod.																			

*) Bylo zjišťováno organické hnojení, jako je hnůj, kejda, digestát, fugat, popípadě zaořavka slámy, zelené hnojení, apod.

Příloha 2. Zemědělská společnost Svobodné - podrobné popisy území odebraných vzorků včetně pěstování plodin a organického hnojení																			
Por. č. vzorku	DPB KOD	Místo	Rozloha (ha)	Zemědělská půda / kultura	Analýza Cox (%) na UKZ/ÚZ 2019	Rozdíl Analýza Cox (%) na UKZ/ÚZ 2024 a 2019	2024 Analýza Cox (%) na UKZ/ÚZ	2024 Amblyza Cox (%) na ČZU	2024 pH	Rozdíl analýz Cox (%) na UKZ/ÚZ a ČZU (ÚKZ/ÚZ vždy více o)	Hnojení *)	GPS	Nadmořská výška m n. m.	Plodina 2016 2017 2018	Plodina 2021 2022 2023	Klimatický region BPEJ	Plodní druhy	Plodní typy	Ostatní informace
13	5204/16	Libňatov	44,49	R - OP	NA	NA	1,54	1,50	4,89	0,04	2022 - hnoj skotu 50 t/ha - 23 % sušiny 2022 sláma řepky - kypření	50,4855460 N 15,9908054 E	456	/	vojtěška setá řepka oz. pšenice oz.	7 7.31.14	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	OP – neorá se (protierozní opatření)
14	5304/10	Libňatov	9,70	T - TTP	NA	NA	2,06	2,04	5,01	0,02	Nehnojeno 2022 2023 hnoj skotu 50 t/ha - 23 % sušiny	50,4865606 N 16,0014432 E	458	T - TTP	T - TTP T - TTP	7 7.30.01	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	více jak 10 let
15	5204/16	Libňatov	44,49	R - OP	NA	NA	1,20	1,19	4,84	0,01	2021 - nehnojeno 2022 sláma řepky - zaoráno	50,4892555 N 15,9989946 E	458	/	vojtěška s. řepka oz. pšenice oz.	7 7.31.14	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	OP – orá se / nehnojeno
16	8101/12	Maršov u Úpice	47,94	R - OP	NA	NA	1,50	1,49	4,82	0,01	2021 hnoj skotu z podestýlky 50 t/ha 2023 hnoj skotu z podestýlky 40 t/ha	50,4886747 N 15,9592351 E	473	/	pšenice oz. kukurice	8 8.34.21	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	OP – orá se / hnojeno
17	8103/1	Maršov u Úpice	47,95	R - OP	NA	NA	1,23	1,19	4,73	0,04	Oráno, nehnojeno 2022, 2023	50,4956112 N 15,9585390 E	474	/	pšenice oz. ječmen jarní jetelotrávní směs	8 8.34.21	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	OP – orá se / nehnojeno
18	2101/5	Havlovice - Popluž	13,46	R - OP	NA	NA	1,31	1,27	5,01	0,04	Nehnojeno 2022, 2023	50,4984201 N 16,0302055 E	368	/	pšenice oz. ječmen	7 7.31.11	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	OP – neorá se od 2022 - jen mulčování - 2022 oráno
19	3303/3	Havlovice - Králův kopec	10,95	T - TTP	NA	NA	1,28	1,23	5,13	0,05	V roce 2023 2 x posekáno - odvezeno - nehnojeno	50,4814905 N 16,0207364 E	374	/	T - TTP T - TTP T - TTP	7 7.30.01	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	V roce 2022 oves
20	4101/4	Svobodné	14,27	T - TTP	NA	NA	1,85	1,82	4,84	0,03	2022 žádné org. hnojení 2023 - močvilka skotu 10,8 t/ha	50,4997244 16,0118261 E	418	T - TTP T - TTP T - TTP	T - TTP T - TTP T - TTP	7 7.30.11	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	TTP více jak 20 let
21	4203/7	Svobodné	7,67	U	NA	NA	1,34	1,33	4,77	0,01	Nehnojeno a od 2019 mulčováno 2 x za rok	50,492758 16,0150902 E	389	řepka oz. pšenice oz. U	U U	7 7.22.43	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	Ú od roku 2019 od roku 2019 jen mulčováno
22	4902/3	Úpice	4,11	T - TTP	1,34	0,22 o 0,22 o proti roku 2019	1,56	1,55	5,08	0,01	2018 a19 posekáno odvezeno, močvilka skotu 15 t/ha 2023 mulčováno	50,5167377N, 16,0078682E	417	T - TTP T - TTP T - TTP	T - TTP T - TTP T - TTP	7 7.31.11	písčité lehká	Kambizem KA	10 let TTP
23	6302/2	Libňatov Křižanov - cihelna)	11,42	T - TTP	NA	NA	1,71	1,70	4,57	0,01	2023 - mulčováno 2023 močvilka skotu 15 t/ha	50,4779321 15,9975475 E	418	T - TTP T - TTP T - TTP	T - TTP T - TTP T - TTP	7 7.40.77	hlinitá až písčité střední	Kambizem KA	TTP od 2017
24	4902/1	Úpice	5,07	R - OP	0,9	více o 0,19 o proti roku	1,09	1,07	5,03	0,02	2018, 2019, 2022, žádné org. hnojení 2023 hnoj skotu z podestýlky 40 t/ha	50,5185718N, 16,0103681E	417	pšenice ozimá	ječmen jarní pšenice ozimá	7 7.31.11	písčité lehká	Kambizem KA	zoráno v roce 2023

*) Bylo zjišťováno organické hnojení, jako je hnoj, kejda digestát, fugát, popřípadě zaořávk slámy, zelené hnojení, apod.

*) Bylo zjišťováno organické hnojení, jako je hnůj, kejda digestát, fugát, popřípadě zaorávku slámy, zelené hnojení, apod.