

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

organizační složka státu, se sídlem v Brně

Sekce zemědělských vstupů



**Hodnocení vybraných parametrů půdní organické hmoty
v zemědělských půdách ČR**

za období 2014 - 2022

Zpracovala: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
Oddělení výživy rostlin

Schválil: Ing. Miroslav Florián, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

<u>Obsah</u>	<u>strana</u>
1 Úvod	4
2 Materiál a metodika	4
3 Hodnocení parametrů organické hmoty v půdách ČR	8
3.1 Oxidovatelný uhlík	8
3.2 Celkový uhlík	21
3.3 Poměr C : N	27
3.4 Glomalin	31
4 Závěry	44
5 Literární zdroje	47

Použité zkratky:

AZZP	Agrochemické zkoušení zemědělských půd
BPEJ	bonitovaná půdně ekologická jednotka
C : N	poměr uhlíku a dusíku
Cox	oxidovatelný uhlík
CTOT	celkový uhlík
HPJ	hlavní půdní jednotka
NIRS	blízká spektroskopie v infračervené spektrální oblasti
NTOT	celkový dusík
OH	organická hmota
o. p.	orné půdy
PD	půdní druh
pH	výměnná půdní reakce
Q4/6	barevný kvocient
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
TTP	trvalé travní porosty
z. p.	zemědělská půda

1 Úvod

Organickou hmotu v půdě sleduje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v systému Agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP), tj. celostátní plošné a pravidelné kontrole úrodnosti půdy. Informace o osevním sledu, managementu hospodaření a zpracování půdy či hnojení nejsou do systému AZZP propojeny a nelze proto při hodnocení, jakkoliv zohlednit.

Uhlík je z pohledu hodnocení kvality půdy stejně důležitý jako dusík a ostatní klíčové živiny. V půdě se vyskytuje jak v anorganické formě reprezentované zejména uhličitany, tak v organické formě vzniklé rozkladem rostlinných zbytků, odumřelých živočichů a exkrementů hospodářských zvířat. Uhlíkaté látky jsou zdrojem i zásobárnou živin pro rostliny, podílí se na stabilitě půdních agregátů a sorpčních vlastnostech půdy.

Organické hnojení je nezbytným předpokladem uspokojivé úrodnosti půdy. Proto půdy, které se pravidelně hnojí organickými hnojivy, a kde jsou zapravovány veškeré posklizňové zbytky, jsou úrodnější, mají lepší fyzikální vlastnosti, více zadržují živiny, lépe přijímají vodu, jsou snadněji zpracovatelné a odolávají výkyvům pH. Půdy nedostatečně zásobované organickou hmotou mívají horší stabilitu a kvalitu struktury, důsledkem toho je slabší infiltrace vody, větší odtok a větší riziko eroze, která půdní částice včetně organické hmoty z povrchu půdy nenávratně vyplavuje.

2 Materiál a metodika

2.1 Teoretický úvod do problematiky

Organickým materiálem rozumíme rostlinné nebo živočišné zbytky, které neprošly rozkladem a ve kterém je struktura pletiv stále neporušená a vizuálně rozpoznatelná.

Organickou hmotou půdy rozumíme veškerý organický materiál, který prošel rozkladem a humifikací, tedy procesem transformace a přeměnou organických zbytků, její obsah je výsledkem dlouhodobého působení půdotvorných faktorů, ale také činnosti člověka, způsobu využití půdy a systému hospodaření (Kubát et al., 2008). Organická hmota v půdě je neobyčejně heterogenní a v odborné literatuře lze nalézt řadu definic. Baldok and Nelson (2000) definují půdní organickou hmotu jako sumu všech přírodních a přeměněných látek biologického původu, které se nacházejí v půdě nebo na půdním povrchu, jakéhokoliv původu, živých nebo odumřelých organismů v jakékoliv fázi rozkladu, s výjimkou nadzemních částí živých rostlin. Tato definice zahrnuje živé organismy, jako jsou kořeny rostlin, mikroorganismy, odumřelé mikro a makroorganismy a jejich části, rozpustné organické látky, humus, včetně nehumusových biopolymerů identifikované organické struktury. Hlavně však zahrnuje humusové látky, kam se řadí huminové kyseliny, fulvokyseliny, humin a zuhelnatělé organické látky (Kubát et al., 2008). Ačkoli půdní organická hmota tvoří pouze 2 - 5 % z celkové hmotnosti půdy, významně ovlivňuje řadu půdních vlastností, k nimž náleží sorpční schopnost, pevnost a tvorba agregátů, které jsou základem půdní struktury, a tím i odolnost k erozi, odolnost ke kolísání pH a zvýšení kationtové výměnné kapacity (Beek and Tóth, 2012) a v neposlední řadě i k poutání živin biologickou sorpcí (Pospíšilová and Vlček, 2015).

Organická hmota dodávaná do půdy ve formě opadu a zbytků rostlin se postupně rozkládá a tím uvolňuje CO₂. Současně dochází ke stabilizaci zbylé organické hmoty. Menší část stabilizované půdní hmoty tvoří humusové látky, větší část je zastoupena odumřelými částmi

mikroorganismů, tzv. nekromasou. Působení zbytků odumřelé nekromasy s jílovým podílem půdy činí tuto složku půdní organické hmoty těžce rozložitelnou (Lützow et al., 2006). Za stabilizaci půdní organické hmoty stojí interakce s minerální složkou půdy s jíly, přičemž podstatná je tvorba agregátů. Na jejich tvorbě se podílejí mikroorganismy produkující glykoproteiny, například dále popsany glomalin stmelující agregáty svými hyfami. Tyto poznatky vedou k závěru, že pro intenzivní ukládání organické hmoty v půdě je nezbytná podpora celkové mikrobiální aktivity půdy. Obecně obsah organické hmoty se snižuje směrem do hloubky půdního profilu (Šimek, 2019).

Velmi zjednodušeně řečeno schopnost půdy vázat uhlík je klíčovým procesem, který podporuje snižovat emise CO₂ do atmosféry. Půda může absorbovat až 20 % antropogenních emisí uhlíku, což může přispět ke zmírnění změny klimatu.

2.2 Hodnocené parametry

Organický uhlík v půdě poměrně často se kvantifikuje pomocí parametrů Corg neboli Cox. Ke kvalitativnímu popisu organické hmoty se využívají některé další parametry, jako jsou huminové kyseliny a fulvokyseliny a jejich vzájemný poměr HK : FK nebo barevný kvocient Q4/6, či poměr C : N a v poslední době se pozornost upírá ke glomalinu.

Pro úplnost je na místě uvést, že pro celkový obsah humifikované půdní organické hmoty se používá van Bemmelenův konverzní faktor 1,724 (odpovídá převrácené hodnotě čísla 0,58) za předpokladu, že humus obsahuje přibližně 55 - 58 % uhlíku. Nejedná se však o univerzální konstantu. Konverzní faktor může být ovlivněn např. množstvím a kvalitou organické hmoty, stupněm dekompozice nebo množstvím jílových částic ve vzorku půdy.

Kvalita organické hmoty závisí na charakteru frakcí půdní organické hmoty a na podmínkách transformace organických látek. V půdě můžeme definovat více forem uhlíku, je proto nezbytné při hodnocení uvádět typ (formu) a rovněž metodu stanovení.

ÚKZÚZ ve svých agendách sleduje obsah **oxidovatelného uhlíku** (Cox), který představuje primární organickou hmotu v podobě rozložených i nerozložených kořenů, kořenového vlášení, exsudátů, posklizňových zbytků, odumřelých mikroorganismů, dodaných organických hnojiv a dále humusové kyseliny a fulvokyseliny.

Dalším sledovaným parametrem je **glomalin**, což je stabilní sloučenina nerozpuštěná ve vodě, odolná k tepelné degradaci. Glomalin byl poprvé popsán Wright et al., (1996). Nespornou výhodou glomalínu je poměrně snadné stanovení, proto se nabízí jeho využití jako součást plošného rutinního hodnocení i v rámci AZPP. Glomalin je glykoprotein produkovaný arbuskulárními mykorhizickými houbami (AMF), které žijí uvnitř kořenů a v okolní půdě (Zbiral et al., 2017). Kromě původního účelu ochránit hyfy hub před ztrátami vody a živin má glomalin významný vliv na formaci a stabilitu půdních agregátů (Kunzová et al., 2015; Vlček et al., 2019). Po odumření hyf AM hub a rozkladu vláken dochází k uvolnění glomalínu do půdy, kde působí podobně jako půdní lepidlo, které spojuje půdní částice do větších agregátů. Tím zvyšuje retenci vody, snižuje erozi půdy a přispívá ke zlepšení pórovitosti půdy, rozvoji kořenových systémů a k významným aktivitám v půdních enzymech a k růstu rostlin. Glomalin je tvořen přibližně z poloviny uhlíkem, v půdním prostředí je velmi stálý v rozmezí několika měsíců až několika let. Ukazuje se, že může být použit jako účinný indikátor kvality půdy a jako kritérium pro hodnocení strategií hospodaření v zemědělství (Rillig et al., 2002).

Celkový uhlík (CTOT) vyjadřuje množství celkového uhlíku uloženého v organických sloučeninách.

Poměr C : N indikuje trend humifikace, vyjadřuje poměr dusíku k obsahu oxidovatelného (organickému) uhlíku, je indikátorem kvality organické složky půdy, užší poměr < 10 je spojen s kvalitnějšími, humóznějšími půdami. Po stanovení celkového obsahu uhlíku a dusíku můžeme určit poměr C : N, který je jedním z hlavních ukazatelů kvality humusu. Poměr značí stupeň humifikace a odbouratelnost sekundárních humusových látek. Pokud je poměr větší jak 14, jedná se o půdu s malou zásobou celkového dusíku v půdě. Pokud je poměr menší jak 5, jedná se o velmi vysokou zásobu celkového dusíku v půdě (Jandák et al., 2003).

2.3 Metody stanovení půdní organické hmoty

Stanovení probíhá metodou NIR spektroskopie v blízké infračervené spektrální oblasti (1 100 - 2 500 nm) s reflektanční detekcí (Zbíral et al., 2011). Vyhodnocení stanoveného parametru se provádí matematickými statistickými postupy z kalibračního modelu. Kalibrační model vyjadřuje míru korelace mezi výsledky získanými NIRS metodou a laboratorní referenční metodou. Měření probíhá v pevném vzorku, který je upravený standardně vysušením na vzduchu. Pro měření se používá prosev 2 mm (úprava pro AZZP). Jedná se postup podle mezinárodní a evropské normy (EN ISO 17184), který umožňuje simultánní stanovení více parametrů. Jde o postup vhodný pro rozsáhlé screeniny a průzkumy typu AZZP, kde je provedení analýz referenčními metodami z finančních i časových důvodů nereálné. Výsledky glomalinu se uvádějí v mg/g a výsledky Cox, CTOT, NTOT v %. Výsledné hodnoty Cox nezahrnují podíl uhličitánů. Stanovení OH je dle normy EN ISO 17184 kalibrováno na metodu titrace po oxidaci chromsírovou směsí (postup č. 30910.1), při níž jsou karbonáty rozpuštěny v H_2SO_4 .

Na vývoj kalibračních modelů NIRS byly použity reprezentativní soubory 84 různých vzorků půdy trvalých travních porostů a orné půdy a 75 vzorků z lesních půd. Parametry kalibračního modelu NIRS ($r = 0,90$ pro vzorky orné půdy a TTP a $r = 0,94$ pro lesní půdu) prokázaly (Zbíral et al., 2017), že glomalin lze stanovit v suchých vzorcích půdy s přiměřenou přesností a lze současně stanovit další parametry, celkový uhlík (CTOT) a celkový dusík (NTOT). Výhodou je nižší pracnost, neboť tyto parametry se stanovují současně ze stejného měření NIRS.

Rozšíření stanovení o další parametry CTOT, NTOT, Q4/6 rovněž stanovené metodou NIR spektroskopie zavedl ÚKZÚZ v roce 2019. V agendě AZZP se každoročně analyzuje 5 100 vzorků, čímž se databáze výsledků každoročně rozšiřuje. Veškeré výsledky doposud získané v rámci AZZP se automaticky promítají do výsledkové zprávy pro uživatele půdy a jsou on-line dostupné na portálu farmáře v LPIS.

Analýzy všech vzorků byly provedeny výhradně v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ, která má osvědčení o akreditaci podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

2.4 Metody hodnocení dat

Numerické výsledky analýz byly podrobeny následujícímu statistickému zkoumání:

- deskriptivní analýza dat, výpočet váženého průměru, mediánu, vyhledávání globálních minim a maxim, počtu vzorků a odpovídající prozkoušená výměra
- testování statistické významnosti vlivu vybraných faktorů pomocí testu Tukey, jednofaktorové neparametrické analýzy variance na obsahy analytů
- ke kartografickému zhodnocení byl použit Geografický informační systém ArcGIS 3.0.3., aplikace Esri®ArcCatalog.

Do statistického zpracování byly zahrnuty všechny hodnoty stanovených analytů; hodnoty nižší než mez stanovitelnosti (LOQ - limit of quantification). Pro statistické zpracování byly použity programy MS Excel 2016, Statistica (verze 13.5) a statistická aplikace eAGRI SOV.

V rámci statistického zpracování dat byly parametry Cox, CTOT, glomalin interpretovány podle způsobu zemědělského využití půdy (kultura), zrnitosti, hlavní půdní jednotky, klimatického regionu a souvislostí s výměnnou půdní reakcí. U parametrů CTOT a poměr C : N je hodnocení provedeno u vybraných znaků.

2.5 Popis agendy AZZP a způsob vzorkování

Agrochemické zkoušení zemědělských půd je pravidelné zjišťování stavu přístupných živin, půdní reakce a potřeby vápnění, které má zakotvení v zákonu č. 156/1998 Sb. o hnojivech, § 10 ve znění pozdějších předpisů a vyhlášce č. 275/1998 Sb. Od 60. let minulého století, kdy se AZZP provádí, je garantem ÚKZÚZ. V průběhu šestiletého cyklu se prozkouší v hlavních pěti kulturách celá výměra zemědělské půdy ČR, tj. zhruba 3 530 tis. ha, což představuje odběr a analýzu přibližně 420 tis. půdních vzorků.

Vzorky se odebírají individuálně na půdních blocích zemědělských podniků v závislosti na kultuře a výrobní oblasti, konvenčním způsobem po úhlopříčce anebo v kruhu, jehož poloměr je úměrný velikosti pozemku.

Plocha pro odběr jednoho průměrného vzorku na orné půdě a trvalých travních porostech činí v bramborářské a horské oblasti 7 ha, v řepářské a kukuřičné oblasti 10 ha. U speciálních druhů pozemků (chmelnice, vinice, ovocné sady) 2 až 3 ha. Hloubka vpichu odpovídá mocnosti orničního profilu maximálně do 30 cm.

Plochy pro odběr půdních vzorků jsou lokalizovány zeměpisným souřadnicovým systémem jednotné trigonometrické katastrální sítě S–JTSK. Geografické zaměření odběrových ploch umožňuje provádět odběry půdních vzorků opakovaně z identických ploch a porovnat tak změny půdních vlastností mezi jednotlivými cykly.

Ve vybraných téměř 35 000 vzorcích, které reprezentují 500 tis. ha zemědělské půdy, se od roku 2014 stanovuje Cox a glomalin, 2019 byly analýzy rozšířeny o stanovení celkového dusíku a uhlíku a barevného kvocientu. Vzorky určené ke stanovení organické hmoty se vybírají jednotlivě podle kódu BPEJ. Ve výběru jsou zastoupeny půdy odlišných půdních typů i druhů i různých klimatických regionů. Ze vzorkování se vynechávají mimoprodukční plochy.

3 Hodnocení parametrů organické hmoty v půdách ČR

3.1 Oxidovatelný uhlík

3.1.1 Hodnocení obsahu Cox v krajích ČR

Při hodnocení hlavních územně správních celků je patrné poměrně úzké rozpětí průměrného obsahu Cox 1,40 - 2,01 % na orných půdách (tab. 1). Průměr ČR činí 1,6 % Cox.

Tab. 1: Deskriptivní statistika Cox **orných půd** v krajích a prozkoušená výměra

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

3.1.2 Vliv kultury na obsah Cox

Kategorizací pěti základních kultur (tab. 2) rozlišovaných v AZZP vyplývá, že medián Cox zemědělských půd činí 1,62 %. Průměrný obsah Cox na orné půdě, která je zastoupena 30 787 vzorky, tj. (89 %) činí 1,6 %. Rozpětí obsahu Cox na orné půdě je od 0,35 % (mez stanovitelnosti) do 5,05 % (maximum). U trvalých travních porostů je vlivem akumulace kořenové hmoty a absence kultivace obsah organického uhlíku nejvyšší v průměru 2,32 %.

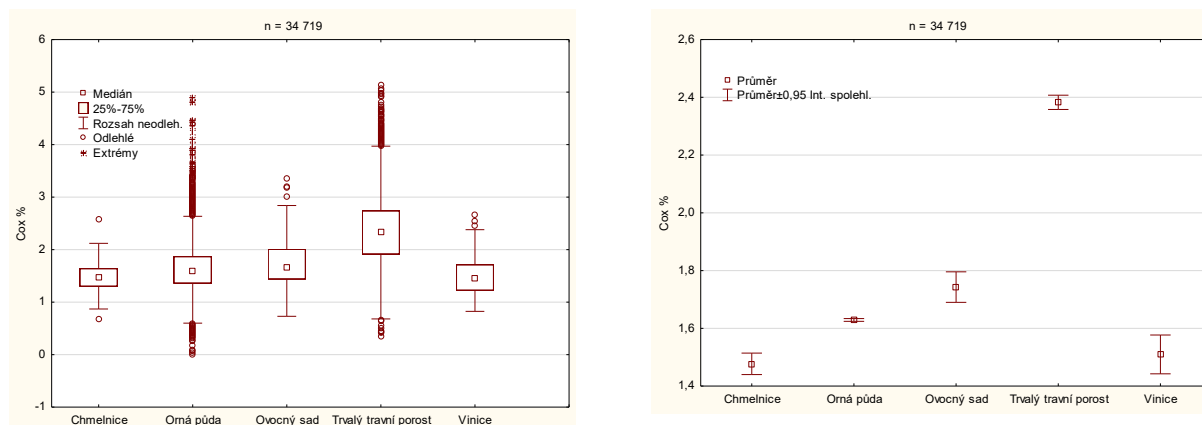
Tab. 2: Deskriptivní statistika obsahu Cox podle kultur

Kultura	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	1,60 ^b	1,59	0,35	5,05	30 787	460 219
Chmelnice	1,48 ^a	1,48	0,39	2,57	233	577
Vinice	1,54 ^a	1,42	0,35	2,66	182	367
Ovocný sad	1,62 ^c	1,58	0,73	3,35	524	2 383
TTP	2,32 ^d	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

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly (Tukey, $P \leq 0,05$)

K vyhodnocení vlivu kultury (graf 1) na obsah Cox byla použita jednofaktorová analýza variance významnosti $\alpha 0,05$. Soubor 35 tisíc výsledků ukazuje statisticky významný rozdíl mezi ornou půdou, speciálními kulturami a trvalými travními porosty, které jsou významně odlišné managementem hospodaření a kumulací organické hmoty. Na orných půdách a chmelnicích s intenzivní kultivací probíhá rychleji mineralizace uhlíku, působí zde řada degradačních procesů, proto vyčerpané a intenzivně obdělávané půdy mají velký potenciál uhlík sekvestrovat a kompenzovat tak antropogenní emise.

Graf 1: Analýza variance vlivu kultury na obsah Cox



3.1.3 Vliv zrnitosti na obsah Cox

Udržení příznivé půdní struktury je pevně spojeno s kvalitou a aktuálním množstvím organické hmoty, ale významně i druhem půdy. Přísun kvalitních organických materiálů do písčitých napomáhá ke zvětšení povrchu půdních částic a tím vyšší zadrze vody a živin. V těžkých a jílovitých půdách materiály s širším poměrem C : N pomohou zlepšit půdní strukturu, propustnost a zadrž vody a vyšší poutání živin ve srovnání lehkými půdami. Zadrž vody závisí na velikosti částic, protože voda zadrží pevněji jemné částice jílovité půdy než hrubší částice písčité půdy. Aplikace jemně strukturně vláknité organické látky významně zvyšuje schopnost půdy zadržovat vlhkost, a to u všech druhů půd, od písčitých až po těžké jílovité (Sotáková, 1982).

Střední a těžké půdy mají obecně odlišné fyzikální vlastnosti oproti lehkým půdám a také pevnější vazbu na organickou složku půdy. Čím je organická hmota stabilnější, tím má vyšší schopnost dlouhodobě zabraňovat vyplavování vápníku a následně zamezit poklesu pH půdy.

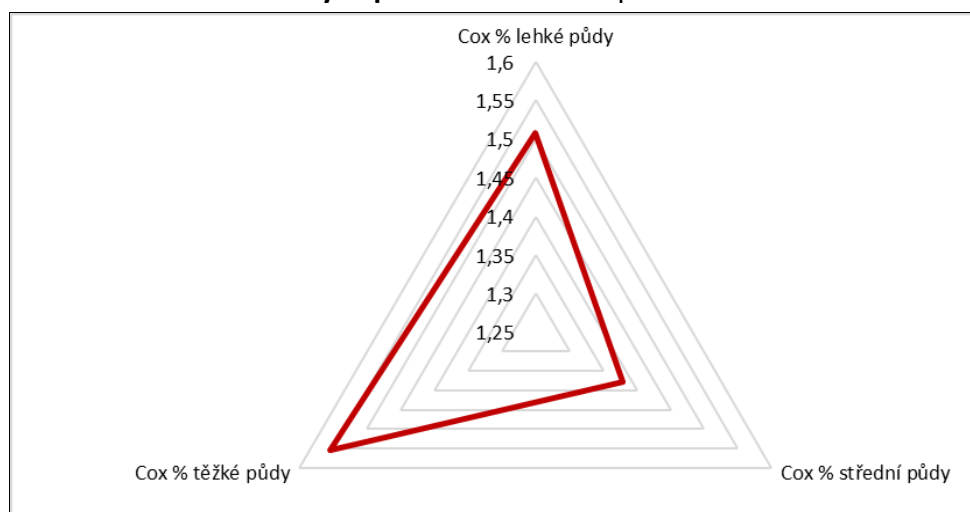
Tab. 3: Deskriptivní statistika obsahu Cox podle zrnitosti

Kultura	Půdní druh	Vážený průměr	Medián	Minimum	Maximum	Počet záznamů	Výměra
Orná půda	Lehké	1,68	1,70	0,35	4,43	3 198	37 677
	Střední	1,55	1,54	0,00	5,05	20 753	325 520
	Těžké	1,77	1,74	0,35	4,90	6 822	96 819
	Celkem	1,60	1,59	0,35	5,05	30 787	460 219
Chmelnice	Lehké	1,52	1,45	1,08	1,98	32	66
	Střední	1,48	1,48	0,39	2,57	195	499
	Těžké	1,48	1,47	1,30	1,79	6	12
	Celkem	1,48	1,48	0,39	2,57	233	577
Vinice	Lehké	1,38	1,30	0,86	2,31	49	57
	Střední	1,55	1,46	0,35	2,66	121	296
	Těžké	2,02	2,05	1,17	2,55	12	15
	Celkem	1,54	1,42	0,35	2,66	182	367
Ovocný sad	Lehké	1,38	1,56	0,75	2,44	49	207
	Střední	1,58	1,53	0,73	3,35	353	1 633
	Těžké	1,80	1,87	0,92	3,20	122	544
	Celkem	1,62	1,58	0,73	3,35	524	2 384
Trvalý travní porost	Lehké	2,01	2,18	0,43	4,47	202	2 196
	Střední	2,31	2,36	0,35	5,46	1 963	26 272
	Těžké	2,44	2,38	0,76	6,83	822	7 717
	Celkem	2,32	2,35	0,35	6,83	2 993	36 231
Zemědělská půda	Lehké	1,69 ^a	1,73	0,35	4,47	3 530	40 202
	Střední	1,60 ^b	1,64	0,00	5,46	23 385	354 220
	Těžké	1,82 ^c	1,84	0,35	6,83	7 784	105 107
	Celkem	1,66	1,67	0,35	6,83	34 719	499 778

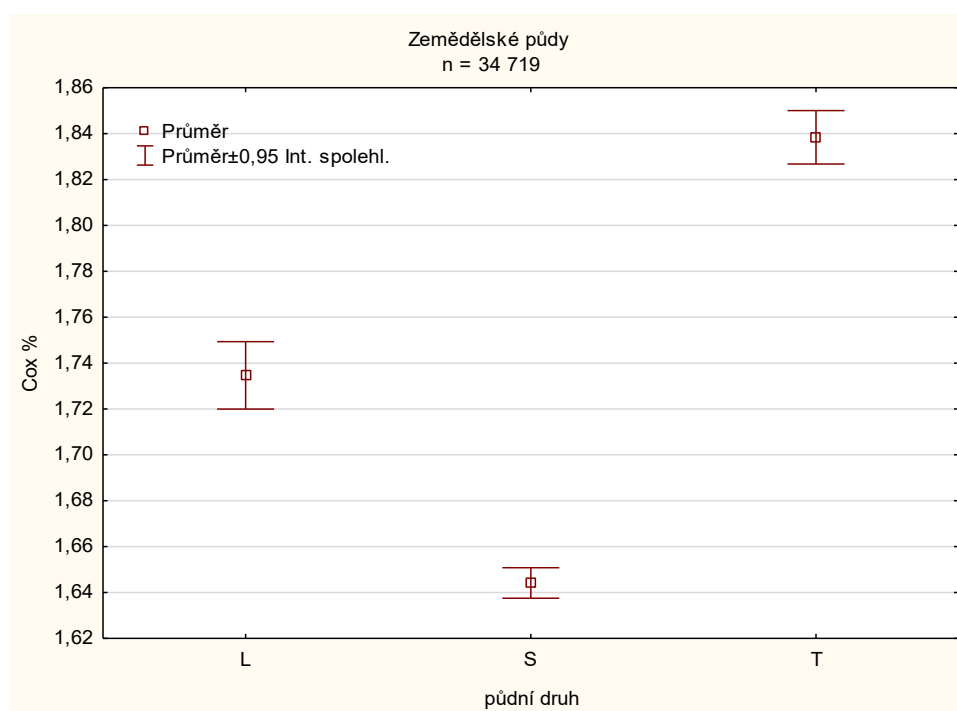
Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$).

V souboru hodnocených dat je zastoupena orná půda nejvýznamněji, a to 30 787 vzorky. Z kategorizace výsledků podle půdních druhů je patrné, že většina vzorků se nachází v rozmezí 1,5 - 2,5 % Cox. Při hodnocení Cox zemědělských půd podle zrnitosti jsou patrné statisticky významné rozdíly mezi středními půdami proti lehkým a těžkým (grafy 2 a 3). Nejméně početně jsou zastoupeny texturně lehké půdy s 3 530 vzorky, těžké půdy reprezentuje 7 784 vzorků. Středně těžké půdy s půdním druhem písčitohlinitých a hlinitých půd jsou nejvíce zastoupenou skupinou, a to 23 385 vzorky.

Graf 2: Rozložení obsahu Cox **orných půd** v závislosti na půdním druhu



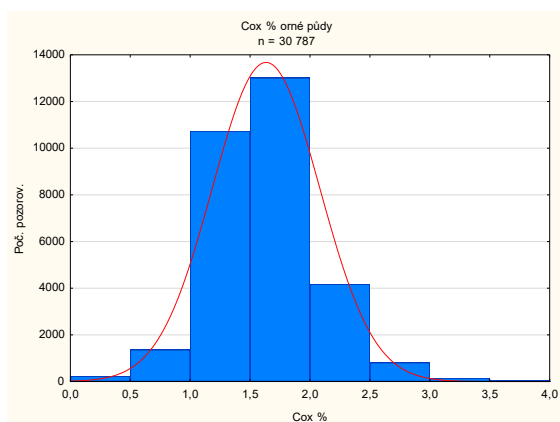
Graf 3: Analýza variance vlivu půdního druhu na obsah Cox **zemědělských půd**



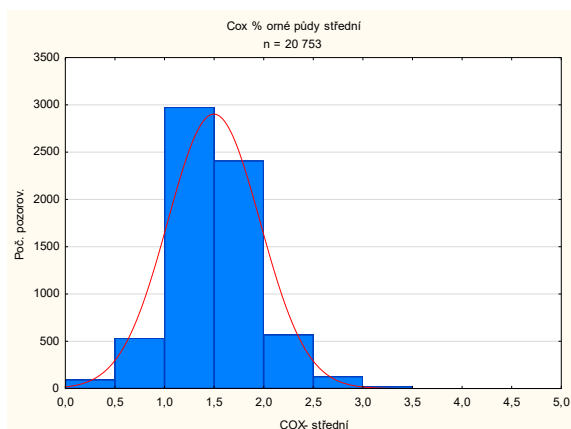
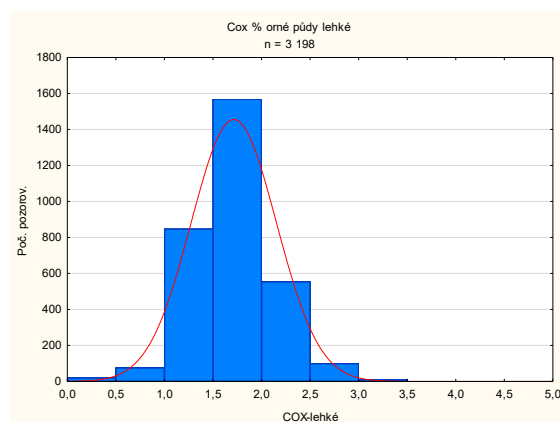
Histogramy znázorňují rozdíly ve variaci a distribuci dat ve vztahu k zrnitosti orných půd. U středních (graf 4c) je maximální zastoupení vzorků v rozpětí 1 - 2 %, u těžkých půd (graf 4d) mezi 1 - 2,5 %. U lehkých půd (graf 4b) převážná většina vzorků vykazuje obsah Cox mezi 1,5 - 2 %. Z tvaru histogramu zpracovaného pro všechny orné půdy (graf 4a) souhrnně je evidentní normální rozdělení intervalu hodnot, opět v rozsahu 1 - 2 %. Na rozdělení hodnot působí řada obecných příčin, z nichž žádná není dominantní. Tvar histogramu lehkých půd je levostranně vychýlený, u středních půd pravostranně. U těžkých půd oddělená druhá špička je dokladem širšího rozvrstvení normality (Meloun et al., 2002).

Graf 4: Histogram distribuce dat obsahu Cox **orných** půd podle zrnitosti

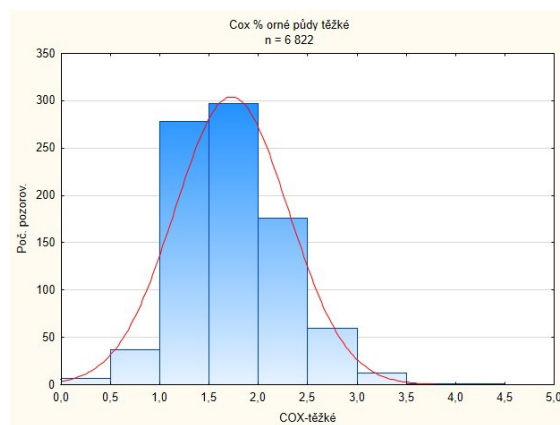
4a) Orné půdy souhrn



4b) Orné půdy lehké



4c) Orné půdy střední



4d) Orné půdy těžké

3.1.4 Vliv stanoviště na obsah Cox

Průměrný obsah Cox v závislosti na nadmořské výšce vykazuje značnou proměnlivost, ve vztahu k půdním druhu a komplexu klimatických podmínek. Zjištěné hodnoty nelze chápat jako optimální, ale pro stanoviště charakteristické. Soubor dat je hodnocen samostatně pro orné půdy (tab. 4) a pro veškeré zemědělské půdy zahrnující všech pět kultur (tab. 5).

Tab. 4: Rozpětí obsahu Cox **orných půd** v závislosti na stanovišti

Půdní druh	Nadmořská výška m.n.m	Cox % rozpětí minima - maxima	Průměr Cox %
Lehká	< 350	0,96 - 4,43	1,62
	350 - 500	0,35 - 3,05	1,80
	< 500	0,84 - 3,15	1,90
Střední	< 350	0,79 - 4,82	1,58
	350 - 500	0,35 - 3,51	1,59
	< 500	0,35 - 3,62	1,71
Těžké	< 350	0,66 - 4,90	1,84
	350 - 500	0,35 - 3,23	1,71
	< 500	0,57 - 3,29	1,74

Tab. 5: Rozpětí obsahu Cox **zemědělských půd** v závislosti na stanovišti

Půdní druh	Nadmořská výška m.n.m	Cox % Rozpětí minima - maxima	Průměr Cox %
Lehká	< 350	0,86 - 4,43	1,60
	350 - 500	0,35 - 3,46	1,81
	< 500	0,84 - 3,15	1,96
Střední	< 350	0,79 - 4,82	1,59
	350 - 500	0,35 - 3,71	1,63
	< 500	0,35 - 3,77	1,90
Těžké	< 350	0,66 - 4,90	1,86
	350 - 500	0,35 - 3,53	1,78
	< 500	0,35 - 3,43	1,94

3.1.5 Vliv HPJ na obsah Cox

Pro další zhodnocení Cox byla použita kategorizace rozlišující hlavní půdní jednotky (HPJ). Obsah organické hmoty závisí významně na půdně genetických podmínkách stanoviště a rovněž intenzitě agrotechnických operací. Naše výsledky ukazují, že těžké půdy dosahují mírně vyšší obsah Cox než lehké nebo střední půdy stejného typu. Deskriptivní charakteristiku obsahu Cox zemědělských půd u jednotlivých půdních jednotek prezentují tabulky 6 a 7.

Hnědé půdy, které jsou nejpočetněji zastoupenou skupinou jsou reprezentovány obsahem v rozmezí 1,67 - 1,89 % Cox. Nejnížší obsah Cox byl zjištěn u hnědozemí v rozmezí 1,39 - 1,43 %, naopak u černozemí pozorujeme nejvyšší potenciál kumulace organické hmoty, obsahy jsou od 1,62 do 1,92 % Cox.

Tab. 6: Deskriptivní statistika Cox **zemědělských půd** podle hlavní půdní jednotky

Hlavní půdní jednotka	Půdní druh	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků
Černozemě (ČM)	Lehké	1,62	1,58	0,76	3,39	441
	Střední	1,68	1,6	0,35	4,80	3 021
	Těžké	1,92	1,86	0,57	4,78	1 084
	Celkem	1,73	1,65	0,35	4,80	4 546
Hnědozemě (HM)	Lehké	1,39	1,42	0,58	2,16	159
	Střední	1,39	1,38	0,35	3,22	4127
	Těžké	1,43	1,33	0,70	2,80	239
	Celkem	1,39	1,38	0,35	3,22	4 525
Rendziny (RE)	Lehké	1,56	1,46	1,36	1,92	8
	Střední	1,70	1,61	0,35	4,10	566
	Těžké	1,82	1,84	0,63	3,92	779
	Celkem	1,77	1,74	0,35	4,10	1 353
Hnědé půdy (HP)	Lehké	1,73	1,75	0,35	4,47	2 765
	Střední	1,67	1,67	0,35	5,46	11 366
	Těžké	1,89	1,86	0,50	3,19	207
	Celkem	1,69	1,69	0,35	5,46	14 338
Oglejené půdy (OP)	Lehké	1,60	1,66	0,58	2,81	57
	Střední	1,50	1,48	0,35	3,76	3 030
	Těžké	1,75	1,74	0,35	4,47	4 261
	Celkem	1,62	1,61	0,35	4,47	7 348
Nivní a glejové p. (NG)	Lehké	1,81	1,7	1,04	3,32	99
	Střední	1,87	1,77	0,35	5,05	1 265
	Těžké	1,95	1,91	0,35	6,83	1 213
	Celkem	1,91	1,83	0,35	6,83	2 577

Tab. 7: Deskriptivní statistika Cox podle hlavní půdní jednotky podle využití půdy

Kultura	Hlavní půdní jednotka	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků
Orná půda	Černozemě	1,73	1,65	0,44	4,80	4 196
	Hnědozemě	1,39	1,38	0,35	3,22	4 252
	Rendziny	1,76	1,74	0,63	4,10	1 264
	Hnědé půdy	1,59	1,64	0,00	4,43	12 406
	Oglejené půdy	1,56	1,57	0,00	4,46	6 502
	Nivní a glejové půdy	1,84	1,78	0,35	5,05	2 144
Chmelnice	Černozemě	1,48	1,50	0,39	2,17	34
	Hnědozemě	1,44	1,40	0,92	2,12	90
	Rendziny	1,47	1,46	1,36	1,65	7
	Hnědé půdy	1,39	1,38	0,67	1,79	48
	Oglejené půdy	1,69	1,69	1,69	1,69	1
	Nivní a glejové půdy	1,61	1,58	1,10	2,57	53
Vinice	Černozemě	1,54	1,39	0,35	2,66	121
	Hnědozemě	1,56	1,52	0,99	1,96	18
	Rendziny	1,65	1,68	0,84	2,55	19
	Hnědé půdy	1,45	1,42	0,56	2,04	24
	Oglejené půdy	-	-	-	-	-
	Nivní a glejové půdy	-	-	-	-	-
Ovocný sad	Černozemě	1,64	1,66	0,77	3,20	181
	Hnědozemě	1,41	1,38	0,75	2,25	121
	Rendziny	2,00	2,03	1,12	3,01	31
	Hnědé půdy	1,72	1,57	0,83	3,35	113
	Oglejené půdy	1,70	1,71	0,73	2,75	61
	Nivní a glejové půdy	1,57	1,44	1,18	2,37	17
Trvalý travní porost	Černozemě	2,42	2,30	1,72	3,70	14
	Hnědozemě	1,69	1,56	1,24	2,80	44
	Rendziny	2,30	2,31	0,35	3,92	32
	Hnědé půdy	2,35	2,42	0,35	5,46	1 747
	Oglejené půdy	2,18	2,17	0,70	4,47	784
	Nivní a glejové půdy	2,60	2,57	1,27	6,83	363
Zemědělská půda	Černozemě	1,73	1,65	0,35	4,80	4 546
	Hnědozemě	1,39	1,38	0,35	3,22	4 525
	Rendziny	1,77	1,74	0,35	4,10	1 353
	Hnědé půdy	1,69	1,69	0,00	5,46	14 338
	Oglejené půdy	1,62	1,61	0,00	4,47	7 348
	Nivní a glejové půdy	1,91	1,83	0,35	6,83	2 577

3.1.6 Vliv pH na obsah Cox

Nejen přístupnost živin, ale i obsah oxidovatelného uhlíku poměrně úzce souvisí s výměnnou půdní reakcí. Rozdělení souboru dat do tří skupin pH < 5,5; 5,6 - 7,2; > 7,3 (tab. 8) ukazuje na nárůst obsahu Cox se zvyšujícím se obsahem jílu (půdní druh) a rostoucím pH u orných půd. Naopak u travních porostů dochází k poklesu Cox s rostoucí alkalitou a obsahem jílovitých částic. Ve zkoumaném souboru orných půd nebyla zjištěna těsná závislost mezi výměnnou reakcí půdy a obsahem Cox ($r = 0,163$), půdy TTP $r = 0,119$.

Tab. 8: Vliv výměnné půdní reakce na obsah Cox **orných půd**

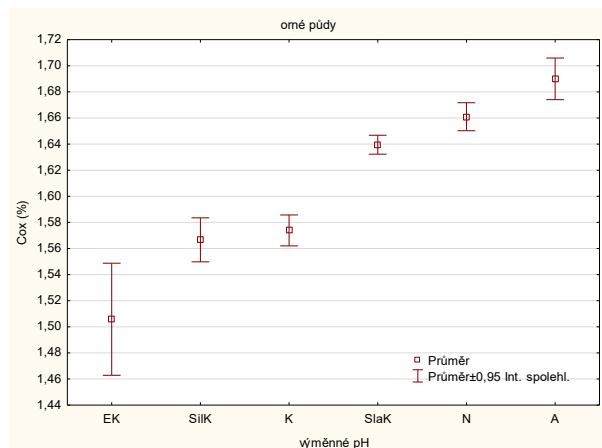
Kategorie výměnného pH	Orná půda vážený průměr Cox (%)			
	celkem	lehká	střední	těžká
< 5,5	1,57	1,68	1,53	1,75
5,6 - 7,2	1,64	1,72	1,58	1,74
> 7,3	1,69	1,76	1,63	1,81

Tab. 9: Vliv výměnné půdní reakce na obsah Cox půd **TTP**

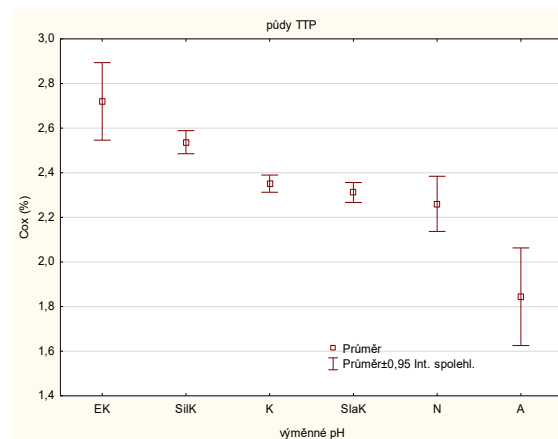
Kategorie výměnného pH	Půdy TTP vážený průměr Cox (%)			
	celkem	lehká	střední	těžká
< 5,5	2,44	2,10	2,45	2,51
5,6 - 7,2	2,30	2,28	2,26	2,39
> 7,3	1,84	1,55	1,80	2,25

Graf 5: Analýza variance vlivu pH na obsah Cox **orných půd** a půd **TTP**

5a) orné půdy



5b) půdy TTP



Vyšší produkce kořenů v kyselejším pH, které je pro TTP přirozené patrně souvisí s vyšší kumulací Cox a jeho poklesem směrem k alkalickému prostředí, které není pro travní porosty typické. Individuální hodnocení všech kategorií pH orných půd (graf 5a) představuje průkazné

rozdíly mezi kyselými půdami, pod pH 5,5 a kategoriemi půd od slabě kyselých výše (tab. 10). Půdy TTP (tab. 11) vykazují zcela opačný trend (graf 5b), přičemž průkazné rozdíly jsou mezi kyselými půdami, půdami slabě kyselými, neutrálními a alkalickými a půdami v kategoriích pod 5,0 pH (EK, SilK).

Tab. 10: Statistická průkaznost vlivu pH na obsah Cox **orných půd**

Analýza variance Tukey HSD test, orné půdy	
Kategorie pH	Průměr Cox (%)
EK extrémně kyselá	1,51 ^a
SilK silně kyselá	1,56 ^b
K kyselá	1,57 ^b
SlaK slabě kyselá	1,64 ^c
N neutrální	1,66 ^d
A alkalická	1,69 ^e

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

Tab. 11: Statistická průkaznost vlivu pH na obsah Cox půd **TTP**

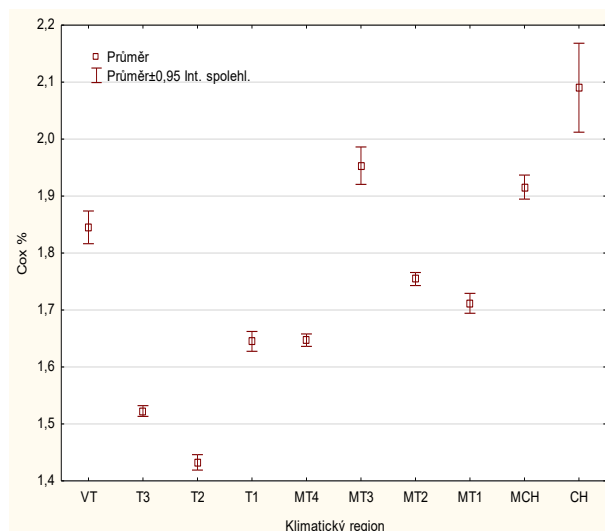
Analýza variance Tukey HSD test, půdy TTP	
Kategorie pH	Průměr Cox (%)
EK extrémně kyselá	2,72 ^a
SilK silně kyselá	2,54 ^a
K kyselá	2,35 ^b
SlaK slabě kyselá	2,31 ^b
N neutrální	2,26 ^b
A alkalická	1,84 ^c

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

3.1.7 Vliv klimatického regionu na obsah Cox

Klimatické podmínky regionu jsou dalším důležitým faktorem ovlivňujícím obsah půdní organické hmoty. Ty jsou charakterizované sumou teplot nad 10°C, vláhovou jistotou, délkou suchého vegetačního období, průměrnou roční teplotou, ročním úhrnem srážek a nadmořskou výškou. Rozlišuje se 10 klimatických regionů, které jsou navrženy pro účely BPEJ. Biologickou aktivitu půd a proces rozkladu organických látek je možné klást do souvislosti s množstvím srážek a teplotou. V teplejších oblastech probíhá rozklad organických látek rychleji a organické látky se hromadí méně. Sušší oblasti a suchý průběh roku rozklad uhlíku naopak zpomaluje (Pospíšilová et al., 2015). Zamokřené půdy v chladnějších polohách se špatnou aerací obsahují obvykle více organické hmoty než půdy dobře provzdušněné (Šimek, 2019). Obecně můžeme konstatovat, že v teplotách kolem 0°C a nad 35°C se biologická aktivita půd a veškeré biochemické reakce výrazně zpomalují (Sotáková, 1982).

Graf 6: Analýza variance obsahu Cox podle klimatického regionu **zemědělských půd**



Analýzou variance byly zjištěny signifikantní rozdíly mezi kontrastními klimatickými regiony v obsahu Cox, mezi teplými (T2, T3) a VT. Další průkazné rozdíly jsou zřejmé mezi T1, MT4 a MT1. Chladný region s nejvyššími obsahy Cox se průkazně odlišuje od všech regionů (graf 6). Nejvyšší průměrné obsahy Cox byly naměřeny ve velmi teplých regionech. Vyšší obsah Cox v mírně chladném a chladném regionu můžeme přisoudit půdám trvalých travních porostů situovaným v těchto podmínkách.

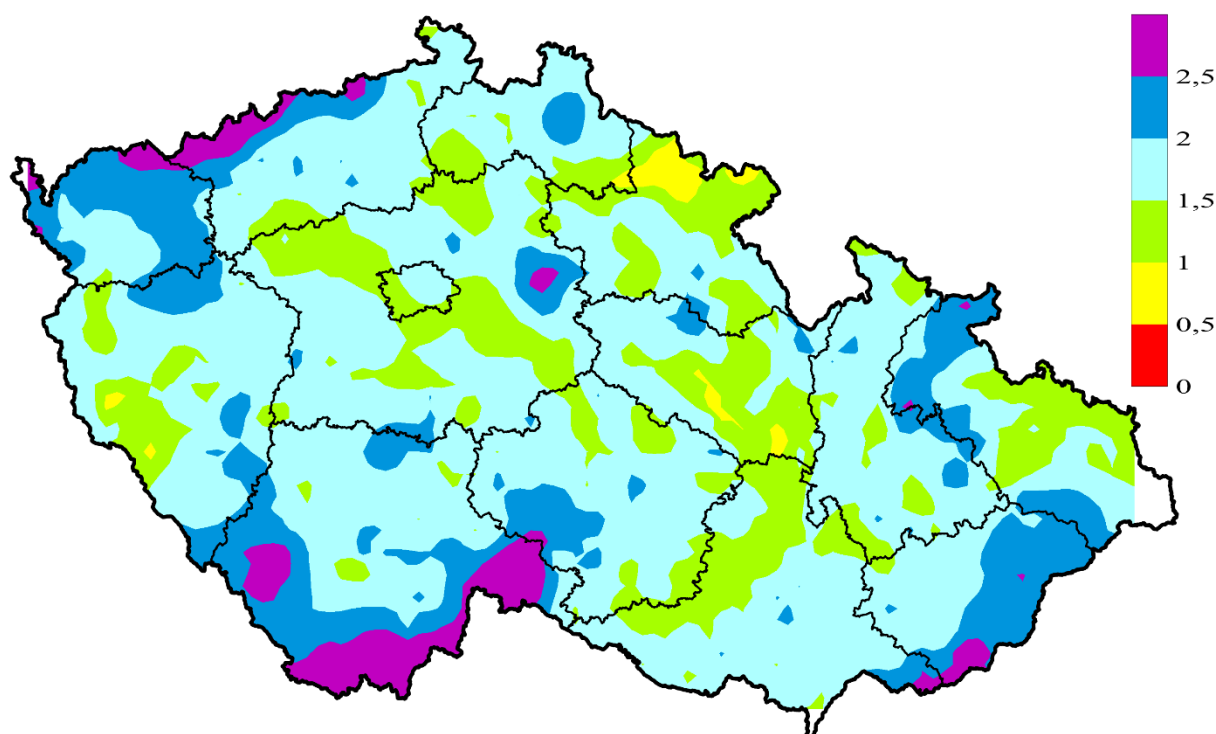
Tab. 12: Deskriptivní statistika obsahu Cox **zemědělských půd** podle klimatického regionu

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

3.1.8 Kartografické zhodnocení obsahu Cox

Plošný screening umožňuje hodnotit obsah Cox všech územně správních celků až na úroveň okresů. Hodnocení mezi kraji (tab. 1) ukazuje na rozpětí mezi 1,4 - 2,01 % na zemědělských půdách. Databáze výsledků Cox pořizovaná od roku 2014 byla geostatisticky analyzována metodou krigingu. Jedná se o interpolaci metodou váženého průměru hodnot okolních bodů na základě jejich prostorové závislosti. Obrázek 1 vizualizuje prostorové rozložení hodnot obsahu Cox vytvořené pomocí krigingu, z něž je zřejmé, že obsahy nad 2,5 % jsou situovány převážně v horských oblastech na trvalých travních porostech. Ve výše položených oblastech Moravskoslezského kraje, Vysočiny, Královéhradeckého a Východočeského kraje se nachází poměrně významné plochy s obsahem Cox mezi 1 - 1,5 %. Jak už bylo v předcházejících kapitolách doloženo, převaha zemědělských půd České republiky se nachází v intervalu od 1 do 2 % Cox. Z důvodu detailnějšího rozlišení regionálních rozdílů je třídící škála nastavena po 0,5 %.

Obrázek 1: Zobrazení obsahu Cox zemědělských půd za období 2014 - 2022



3.1.9 Klasifikace Cox

Pro hodnocení organického uhlíku v půdě nejsou k dispozici oficiální kritéria, pouze studiemi a dlouhodobými pokusy navrhovaná hodnocení. Použijeme-li pro zevrubnou kategorizaci předložených výsledků třístupňové hodnocení (Kubát et al., 2008), pak převážná většina našich vzorků (73,9 %) zemědělských půd (tab. 13) se nachází v intervalu od 1 do 2 %. Obsah Cox nižší než 1 % vykazuje jen 4,5 % vzorků a obsah vyšší než 2 % byl zaznamenán u 21,7 % vzorků. V celém souboru a u všech hodnocených znaků do popředí vystupují svými vyššími obsahy Cox v půdách trvalých travních porostů. Důvodem je, jak už bylo zmíněno jejich bohatý kořenový systém, který se významně podílí na tvorbě stabilních frakcí organické hmoty, která se v těchto půdách hromadí. Produkce roční biomasy kořenů se odhaduje na 5t /ha (Šimek, 2019). Dalším faktorem je i bezorebné využívání půdy, které podporuje tvorbu drobtovité struktury půdy a vyšší kumulaci mikrobiální biomasy, než je tomu na intenzivně obdělávaných orných půdách (Rillig, 2004).

Tab. 13: Rozložení obsahu Cox **zemědělských půd**, hodnocení dle Kubát et al., (2008)

Rozložení obsahu Cox	Kultura	Vážený průměr Cox %	Počet vzorků
< 1,0 %	zemědělská půda	0,77	1 515
	orná půda	0,77	1 465
	chmelnice	0,82	6
	vinice	0,89	5
	ovocné sady	0,92	9
	TTP	0,70	34
1,0 – 2,0 %	zemědělská půda	1,54	24 708
	orná půda	1,53	23 338
	chmelnice	1,47	189
	vinice	1,43	106
	ovocné sady	1,55	215
	TTP	1,66	863
> 2,0 %	zemědělská půda	2,42	7 281
	orná půda	2,31	5 011
	chmelnice	2,17	6
	vinice	2,24	16
	ovocné sady	2,37	76
	TTP	2,69	2 176

Autoři Prax (1995) a Vopravil (2010) shodně navrhli pětistupňové hodnocení obsahu Cox (tab. 14). Použijeme-li tuto klasifikaci, pak 52 % hodnocených vzorků se nachází v kategorii středního obsahu mezi 1,2 - 1,7 %.

Tři kategorie hodnocení Cox < 1,0 %, 1 - 2 %, > 2,0 % navrhuje Kubát et al., (2008), které však není dostatečně podrobné a nepostihuje detailně úzká rozmezí naměřených hodnot (tab. 13).

Dlouhodobé pokusy ÚKZÚZ po více než 50 letech hnojení hnojem 1 x za 4 roky a střední úroveň minerálního hnojení vykazují v lokalitách řepařské výrobní oblasti v průměru 1,28 % a bramborářské oblasti 1,51 % Cox (Jančíková, 2023).

Sotáková (1982) hodnotí Cox také pětistupňovou škálou, za velmi nízký obsah ovšem považuje hodnoty menší než 1,2 %, nízký 1,2 - 2,3 %, střední 2,3 - 3,5 %, vysoký 3,5 - 5,8 % a velmi vysoký vyšší než 5,8 %. S návrhem této klasifikace se naše výsledky z pohledu distribuce a deskriptivního popisu neztotožňují.

Tab. 14: Hodnocení obsahu Cox, podle Prax (1995) a Vopravil (2010)

obsah Cox %	Hodnocení	Vážený průměr Cox %	Počet vzorků
pod 0,6	Velmi nízký	0,42	502
0,6 - 1,1	Nízký	0,95	2 862
1,2 - 1,7	Střední	1,47	17 306
1,8 - 2,9	Vysoký	2,13	11 929
nad 2,9	Velmi vysoký	3,38	905

3.2 Celkový uhlík

Uhlík se v půdě hromadí jako nerozložená organická hmota nebo jako organická hmota rozložená a vázaná na minerální částice (Angst et al., 2023). Pro celkový uhlík je v textu používána zkratka CTOT, jeho stanovení ve vzorcích AZPP bylo zavedeno v roce 2019.

3.2.1 Hodnocení obsahu CTOT v krajích ČR

Při hodnocení hlavních územně správních celků je patrné poměrně úzké rozpětí průměrného obsahu CTOT 1,68 - 2,06 % na orných půdách (tab. 15). Průměr i medián za Českou republiku činí 1,8 % CTOT.

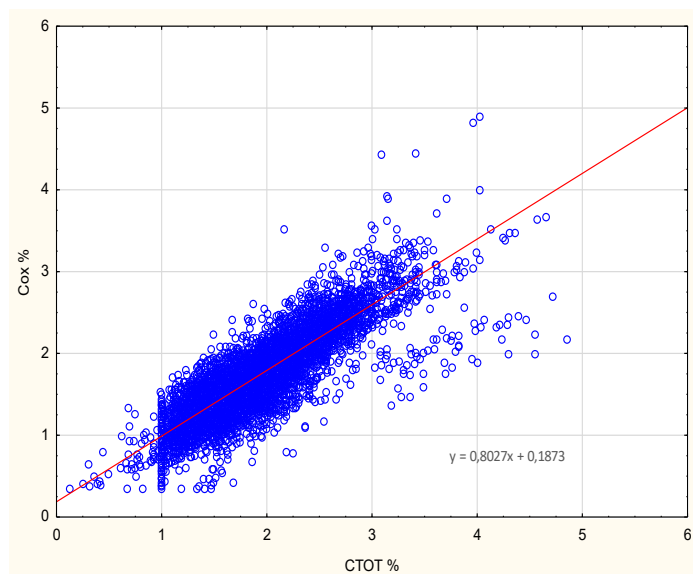
Tab. 15: Deskriptivní statistika CTOT **orných půd** v krajích a prozkoušená výměra

Kraj	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Středočeský	1,91	1,86	1,0	4,66	2 934	23 597
Jihočeský	2,06	2,00	1,0	4,02	1 389	8 721
Plzeňský	1,82	1,83	1,0	3,83	1 569	21 626
Karlovarský	2,19	2,19	1,0	4,13	1 219	9 578
Ústecký	1,87	1,86	1,0	3,18	1 713	32 214
Liberecký	1,66	1,66	1,0	3,27	544	9 454
Královéhradecký	1,84	1,84	1,0	4,85	864	19 612
Pardubický	1,70	1,73	1,0	3,27	1 255	31 092
Vysočina	1,81	1,73	1,0	3,98	1864	27 332
Jihomoravský	1,68	1,65	1,0	3,27	1 563	31 603
Olomoucký	1,69	1,64	1,0	3,45	1 485	31 766
Moravskoslezský	1,72	1,63	1,0	3,71	921	16 060
Zlínský	1,87	1,97	1,0	3,26	501	11 157
ČR orná půda	1,80	1,80	1,0	4,85	17 821	273 811

3.2.2 Vliv kultury na obsah CTOT

Kategorizací pěti základních kultur (tab. 16) rozlišovaných v AZPP vyplývá, že medián CTOT zemědělských půd činí 1,87 %. Průměrný obsah CTOT na orné půdě, která je zastoupena 17 821 vzorky, tj. (88,4 %) činí 1,8 %. Rozpětí obsahu CTOT na orné půdě je od 1 % (mez stanovitelnosti) do 4,85 % (maximum). U trvalých travních porostů dosahuje vlivem vyšší akumulace kořenové hmoty a bezorebnosti obsah celkového uhlíku v průměru 2,76 %. Těsný vztah parametrů Cox a CTOT na orné půdě vyjadřuje lineární regrese (graf 7), kdy $R^2 = 0,7536$, $p = 0,000$.

Graf 7: Lineární regrese Cox : CTOT **orných půd** (n = 17 656), $R^2 = 0,7536$



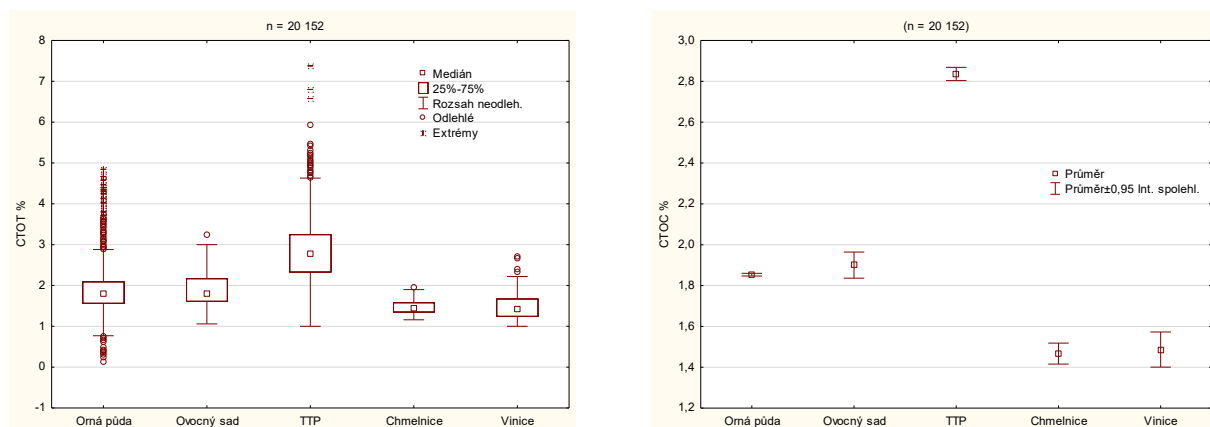
Tab. 16: Deskriptivní statistika obsahu CTOT podle kultur

Kultura	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	1,80 ^b	1,80	0,13	4,85	17 821	273 811
Chmelnice	1,48 ^a	1,46	1,16	1,95	50	142
Vinice	1,50 ^a	1,42	1,00	2,72	77	103
Ovocný sad	1,85 ^b	1,78	1,06	3,25	168	938
TTP	2,76 ^c	2,79	1,00	7,38	2 036	20 670
ČR zemědělská půda	1,87	1,85	0,13	7,38	20 152	295 665

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

K vyhodnocení vlivu kultury (graf 8, tab. 16) na obsah CTOT byla použita jednofaktorová analýza variance, kdy soubor 20 tisíc výsledků potvrzuje statisticky významný rozdíl mezi chmelnicemi, vinicemi (^a) a ornou půdou a sady (^b). Obsah /CTOT v půdách trvalých travních porostů (^c) se od všech kultur výrazně odlišuje a je statisticky průkazný.

Graf 8: Analýza variance vlivu kultur na obsah CTOT



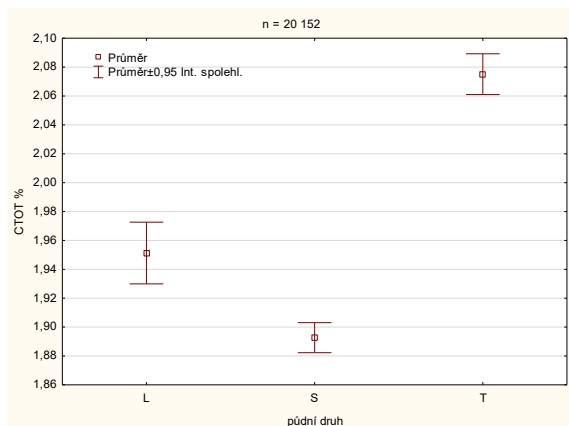
3.2.3 Vliv zrnitosti na obsah CTOT

Hromadění i rozklad organické hmoty je závislý na převládající vegetaci, půdy TTP hromadí více organické hmoty než běžně pěstované jednoleté plodiny. Textura půdy, jak již bylo uvedeno významně ovlivňuje obsah všech markerů organické hmoty, což potvrzují předkládané výsledky (tab. 17).

Tab. 17: Deskriptivní charakteristika obsahu CTOT podle zrnitosti

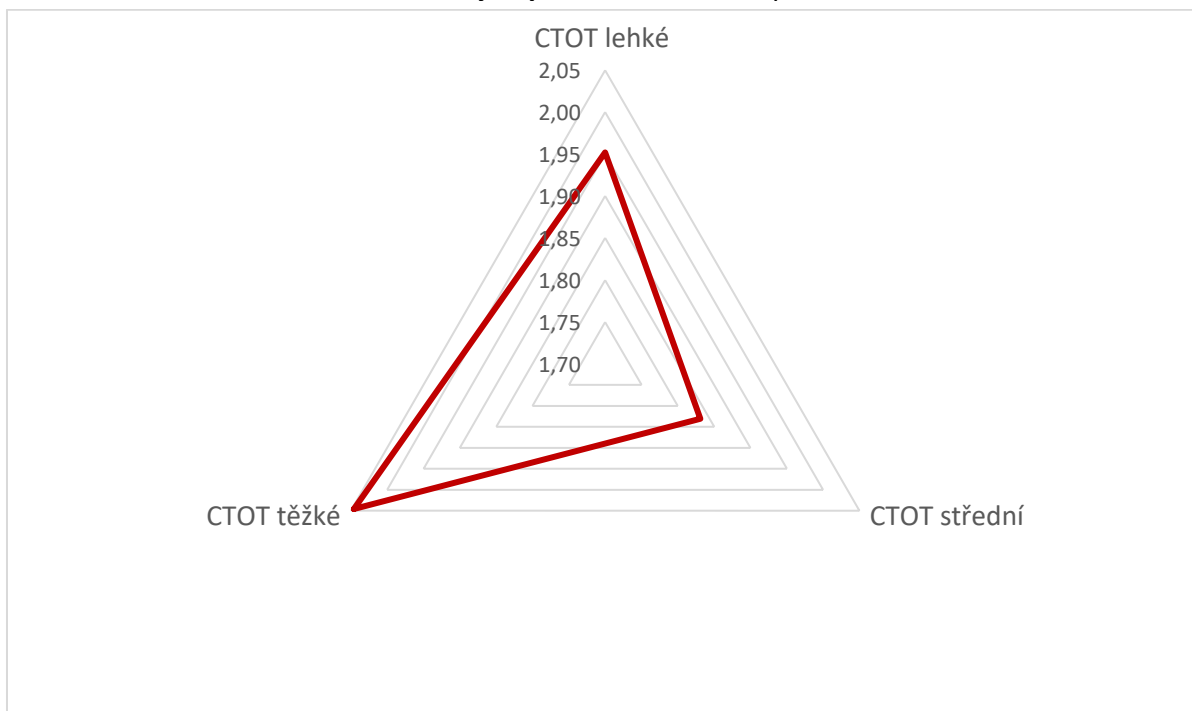
Kultura	Půdní druh	Vážený průměr	Medián	Minimum	Maximum	Počet záznamů	Výměra
Orná půda	Lehké	1,86 ^a	1,88	0,83	4,02	1 745	20 730
	Střední	1,74 ^b	1,72	0,13	4,85	10 550	178 411
	Těžké	1,92 ^c	1,92	0,62	4,39	5 512	74 467
	Celkem	1,80	1,80	0,13	4,85	17 821	273 812
Chmelnice	Lehké	1,63	1,62	1,45	1,78	2	5
	Střední	1,48	1,46	1,16	1,95	44	131
	Těžké	1,47	1,48	1,35	1,64	4	7
	Celkem	1,48	1,46	1,16	1,95	50	143
Vinice	Lehké	1,42	1,44	1,00	2,01	38	44
	Střední	1,46	1,37	1,00	1,89	33	53
	Těžké	2,42	2,37	2,18	2,72	6	6
	Celkem	1,50	1,42	1,00	2,72	77	103
Ovocný sad	Lehké	1,83	1,82	1,59	2,13	9	34
	Střední	1,74	1,71	1,06	3,25	103	612
	Těžké	2,08	2,19	1,26	2,94	56	292
	Celkem	1,85	1,78	1,06	3,25	168	938
Trvalý travní porost	Lehké	2,55	2,66	1,00	4,79	117	878
	Střední	2,71	2,79	1,00	5,93	1 159	13 010
	Těžké	2,87	2,83	1,08	7,38	754	6 736
	Celkem	2,76	2,79	1,00	7,38	2 036	20 670
Zemědělská půda	Lehké	1,95 ^a	1,89	0,83	4,79	1 911	21 691
	Střední	1,89 ^b	1,76	0,13	5,93	11 889	192 217
	Těžké	2,07 ^c	1,98	0,62	7,38	6 332	81 508
	Celkem	1,87	1,85	0,13	7,38	20 152	295 665

Graf 9: Analýza variance půdního druhu na obsah CTOT zemědělských půd



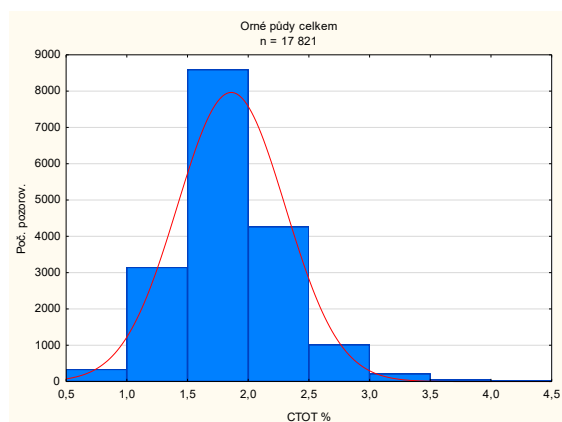
Statisticky průkazné rozdíly v CTOT mezi půdními druhy z. p. prezentují grafy 9 a 10. Histogramy kategorizují rozložení převážné většiny výsledků CTOT (graf 11a), lehkých (graf 11b), středně těžkých půd (graf 11c) v rozmezí od 1,5 do 2 %. Pro těžké půdy s vyšším obsahem jílových částic je typické rozložení obsahu CTOT v rozmezí 1,5 - 2,5 % (graf 11d).

Graf 10: Rozložení obsahu CTOT orných půd v závislosti na půdním druhu

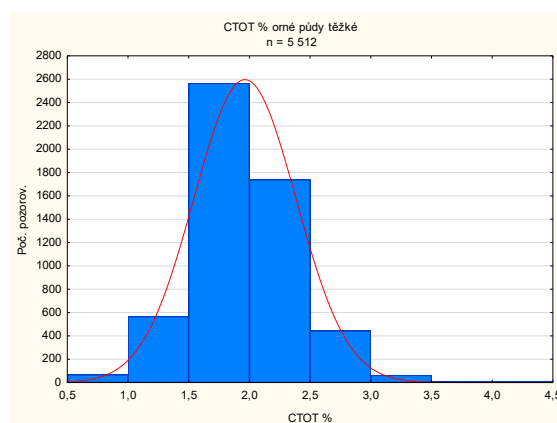
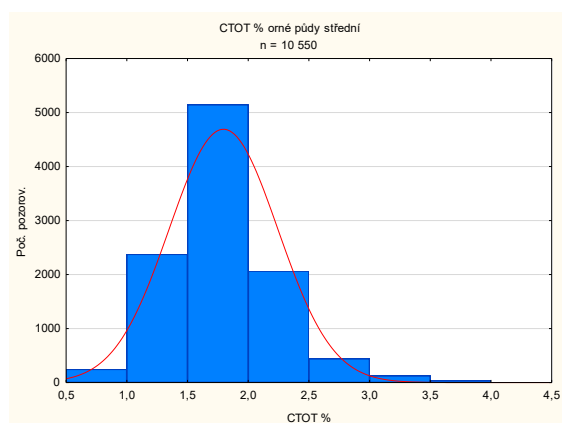
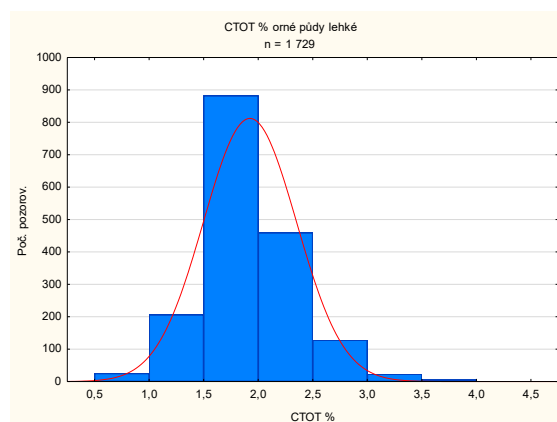


Graf 11: Histogram distribuce dat obsahu CTOT **orných půd** podle zrnitosti

11a) Orné půdy souhrn



11b) Orné půdy lehké



11c) Orné půdy střední

11d) Orné půdy těžké

3.2.4 Klasifikace CTOT

Pro hodnocení celkového uhlíku nejsou dostupná hodnotící kritéria. Pro veškerá data je navrženo rozložení obsahu do tří kategorií (tab. 18) na základě statistické distribuce dat. Převážná většina (67,3 %) půdních vzorků se nachází v rozpětí mezi 1,5 - 2,5 % CTOT, přičemž 16,9 % půd má obsah CTOT nižší než 1,5 %. Obsah CTOT vyšší než 2,5 % vykazuje 15,7 % půdních vzorků.

Výpočet závislosti Cox a CTOT představuje těsnou závislost, kdy $R^2 = 0,753$ (graf 7). Pro praktické použití se nabízí možnost volby jednoho z těchto dvou parametrů. Přejít na stanovení Cox na CTOT je možný nejen exaktně analyticky, ale i matematicky. Pro vztah mezi parametrem Cox a CTOT měřeným NIR spektroskopií je navržen přepočítávací koeficient $CTOT = Cox \times 1,09$ nebo $Cox = CTOT / 1,09$ (Čížmár, 2022).

Dlouhodobé pokusy ÚKZÚZ po více než 50 letech hnojení hnojem 1 x za 4 roky a střední úroveň minerálního hnojení vykazují v lokalitách řepařské výrobní oblasti v průměru 1,30 % a bramborářské oblasti 1,59 % CTOT (Jančíková, 2023).

Tab. 18: Rozložení obsahu CTOT **zemědělských půd**

Rozložení obsahu CTOT	Kultura	Průměrný obsah CTOT %	Počet vzorků
< 1,5 %	zemědělská půda	1,26	3 021
	orná půda	1,26	2 686
	chmelnice	1,33	82
	vinice	1,25	53
	ovocné sady	1,29	56
	TTP	1,24	144
1,5 – 2,5 %	zemědělská půda	1,90	11 992
	orná půda	1,80	10 451
	chmelnice	1,77	115
	vinice	1,84	64
	ovocné sady	1,90	208
	TTP	2,09	1 154
> 2,5 %	zemědělská půda	3,01	2 808
	orná půda	2,86	1 616
	chmelnice	2,80	2
	vinice	2,68	6
	ovocné sady	2,88	30
	TTP	3,19	1 154

3.3 Poměr C : N

Poměr C : N náleží k významným indikátorům kvality půdy, posuzuje stupeň humifikace a je důležitý z hlediska rychlosti rozkladu organické hmoty. Vyjadřuje poměr celkového dusíku (NTOT) ku obsahu oxidovatelnému (organickému) uhlíku. Užší poměr C : N > 10 je spojen s biologicky aktivnějšími a humóznějšími půdami. Je-li poměr větší než 14, pak je zásoba celkového dusíku obvykle nižší. Pro půdy s poměrem menším než 5 je charakteristická vysoká zásoba celkového dusíku v půdě (Jandák et al., 2003).

Poměr C : N je výsledkem výpočtu Cox a NTOT, který je dalším parametrem měřeným simultánně metodou NIRS v půdních vzorcích odebíraných v AZPP. Tento parametr byl zaveden v roce 2019, k hodnocení je dispozici databáze 20 tisíc vzorků. Pro poměr C : N v půdě navrhuje Sotáková (1982) pětistupňová hodnotící kritéria (tab. 19).

Tab. 19: Hodnotící kritéria pro C : N podle Sotáková (1982)

Hodnocení	C : N
Velmi vysoký	< 5,0
Vysoký	5,0 - 8,0
Střední	8,0 - 11,0
Nízký	11,0 - 14,0
Velmi nízký	> 14,0

3.3.1 Hodnocení obsahu C : N v krajích ČR

Vážený průměr poměru C : N v krajích ČR na orné půdě se nachází v kategorii střední hodnoty 8,81 - 10,79 (tab. 20).

Tab. 20: Deskriptivní statistika poměru C : N **orných půd** v krajích a prozkoušená výměra

Kraj	Vážený průměr	Medián	Minimum	Maximum	Počet vzorků	Výměra (ha)
Středočeský	10,40	9,70	4,30	46,8	2 934	23 597
Jihočeský	9,74	9,48	7,30	25,0	1 389	8 721
Plzeňský	10,04	9,48	5,80	27,78	1 541	21 513
Karlovarský	10,25	9,27	7,74	39,09	1219	9 578
Ústecký	9,55	9,51	5,89	25,0	1713	32 214
Liberecký	8,81	8,93	5,89	11,9	544	9 454
Královéhradecký	10,79	9,79	6,17	39,75	847	19 315
Pardubický	10,01	9,58	1,44	26,2	1 255	31 092
Vysočina	9,82	9,53	2,73	41,6	1 864	27 359
Jihomoravský	10,20	9,83	5,56	52,0	1 557	31 574
Olomoucký	9,73	9,11	5,84	36,8	1 484	31 762
Moravskoslezský	10,0	9,00	7,00	44,0	921	16 060
Zlínský	9,51	9,63	7,22	13,2	501	11 157
ČR orná půda	9,95	9,48	1,44	52,00	17 769	273 396

3.3.2 Vliv kultury na poměr C : N

Kategorizací pěti základních kultur (tab. 21) rozlišovaných v AZPP vyplývá, že medián poměru C : N zemědělských půd činí 9,55. Průměr na orné půdě, která je zastoupena 17 769 vzorky činí 9,95. U trvalých travních porostů se poměr C : N rozšiřuje až do průměrné hodnoty 10,67. Mezi parametrem Cox a poměrem C : N nebyla nalezena závislost, $R^2 = 0,007$; CTOT a C : N ($R^2 = 0,031$), a C : N a glomalin $R^2 = 0,015$.

Dlouhodobé pokusy ÚKZÚZ po více než 50 letech hnojení hnojem 1 x za 4 roky a střední úrovní minerálního hnojení vykazují v lokalitách řepařské výrobní oblasti průměrný poměr C : N 7,80 a v bramborářské oblasti 8,38 % Cox (Jančíková, 2023).

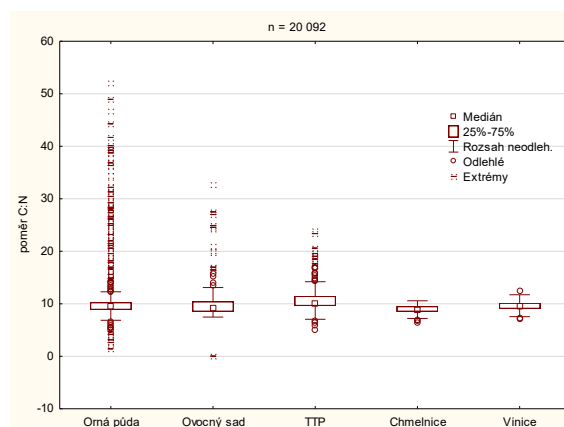
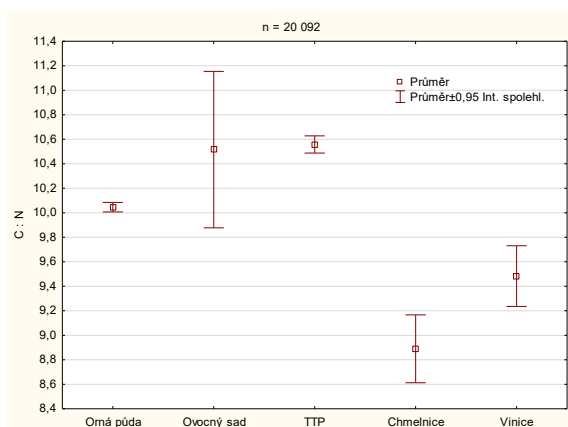
Tab. 21: Deskriptivní statistika obsahu C : N podle kultur

Kultura	Vážený průměr	Medián	Minimum	Maximum	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	9,95 ^a	9,48	1,44	52,00	17 769	273 395
Chmelnice	8,83 ^b	8,89	6,44	10,57	50	143
Vinice	9,58 ^e	9,57	6,90	12,50	77	103
Ovocný sad	9,80 ^{cd}	9,30	7,47	32,63	162	914
TTP	10,67 ^d	10,08	5,03	23,83	2 034	20 609
ČR zemědělská půda	10,00	9,55	1,44	52,00	20 092	295 164

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

K vyhodnocení vlivu kultury (graf 12) na obsah C : N byla použita jednofaktorová analýza variance významnosti $\alpha 0,05$. Soubor 20 tisíc výsledků ukazuje statisticky průkazný rozdíl v poměru C : N rozdíl všemi kulturami, mimo ovocné sady a TTP.

Graf 12: Analýza variance vlivu kultur na poměr C : N



3.3.3 Vliv zrnitosti na poměr C : N

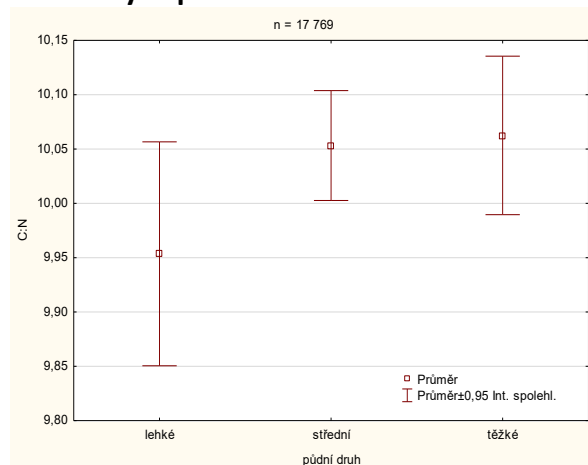
Statisticky průkazné rozdíly v poměru C : N u půdního druhu (PD) jak orných, tak zemědělských půd nebyly nalezeny (grafy 13 a 14).

Tab. 22: Deskriptivní charakteristika poměru C : N podle zrnitosti

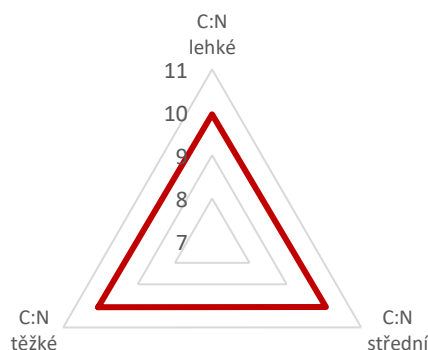
Kultura	Půdní druh	Vážený průměr	Medián	Minimum	Maximum	Počet záznamů	Výměra
Orná půda	Lehké	9,86 ^a	9,62	4,26	29,80	1 743	
	Střední	9,89 ^a	9,46	1,44	46,75	10 511	
	Těžké	10,12 ^a	9,48	5,17	52,00	5 501	
	Celkem	9,95	9,48	1,44	52,00	17 769	273 396
Chmelnice	Lehké	8,73	8,72	8,53	8,90	2	
	Střední	8,85	9,03	6,44	10,57	44	
	Těžké	8,64	8,74	7,81	9,00	4	
	Celkem	8,83	8,89	6,44	10,57	50	143
Vinice	Lehké	9,69	9,78	7,14	12,50	38	
	Střední	9,51	9,33	6,90	11,29	33	
	Těžké	9,42	9,43	9,08	9,71	6	
	Celkem	9,58	9,57	6,90	12,50	77	103
Ovocný sad	Lehké	9,22	9,43	8,60	9,91	9	
	Střední	9,47	9,12	7,47	25,00	97	
	Těžké	10,54	9,51	7,88	32,63	56	
	Celkem	9,80	9,30	7,47	32,63	162	914
Trvalý travní porost	lehké	10,41	10,07	5,84	15,57	117	
	Střední	10,71	10,14	5,03	23,83	1 157	
	Těžké	10,65	10,03	5,83	18,94	754	
	Celkem	10,67	10,08	5,03	23,83	2 034	20 609
Zemědělská půda	Lehké	9,88 ^a	9,67	4,26	29,80	1 909	
	Střední	9,94 ^a	9,53	1,44	46,75	11 842	
	Těžké	10,16 ^a	9,55	5,17	52,00	6 321	
	Celkem	10,00	9,55	1,44	52,00	20 092	295 164

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$).

Graf 13: Analýza variance PD a poměru C : N orných půd



Graf 14: Rozložení poměru C : N orných půd v závislosti na půdním druhu



3.3.4 Klasifikace poměru C : N

Použití pětistupňové stupnice hodnocení poměru C : N (tab. 23) řadí 76,7 % zemědělských půd do střední kategorie, průměr C : N orných půd činí 9,44. Kategorie vysokého a velmi vysokého poměru je zastoupena pouze 6,3 % vzorky, převážně orných půd, kde C : N je 12,25. Nízký a velmi nízký poměr C : N byl zjištěn u 17,1 % vzorků.

Tab. 23: Hodnocení poměru C : N podle Sotáková (1982)

Kategorie poměru C : N	Kultura	Průměr C : N	Počet vzorků
< 5,0 Velmi vysoký	zemědělská půda	-	-
	orná půda	3,90	17
	chmelnice	-	-
	vinice	-	-
	ovocné sady	-	-
	TTP	-	-
5,0 - 8,0 Vysoký	zemědělská půda	7,38	1 254
	orná půda	7,35	1 165
	chmelnice	7,17	9
	vinice	7,38	11
	ovocné sady	7,79	10
	TTP	7,52	63
8,0 - 11,0 Střední	zemědělská půda	9,44	15 004
	orná půda	9,40	13 456
	chmelnice	9,21	43
	vinice	9,70	63
	ovocné sady	9,14	116
	TTP	9,80	1 326
11,0 - 14,0 Nízký	zemědělská půda	12,27	2 431
	orná půda	12,25	1 847
	chmelnice	-	-
	vinice	11,73	5
	ovocné sady	12,25	17
	TTP	12,33	515
> 14,0 Velmi nízký	zemědělská půda	-	-
	orná půda	18,35	941
	chmelnice	-	-
	vinice	-	-
	ovocné sady	20,51	18
	TTP	16,01	52

3.4 Glomalin

3.4.1 Hodnocení obsahu glomalinu v krajích ČR

Z průměrných výsledků obsahu glomalinu (tab. 24) hodnocených v krajích na orné půdě je patrné poměrně široké rozpětí mezi 1,92 - 4,09 mg/g. Průměr za Českou republiku činí 2,83 mg/g.

Tab. 24: Přehled obsahu glomalinu **orných půd** v krajích a prozkoušená výměra

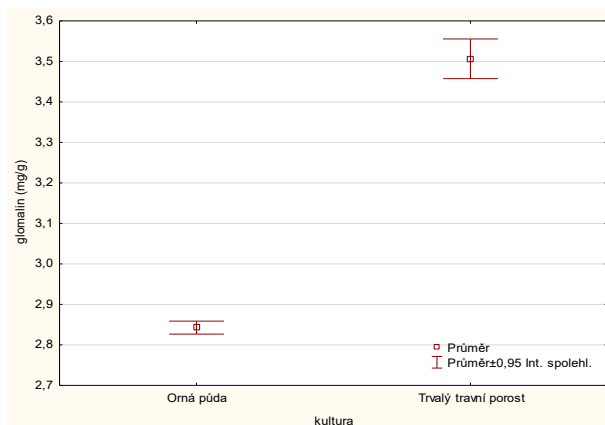
Kraj	Vážený průměr (mg/g)	Medián (mg/g)	Minimum (mg/g)	Maximum (mg/g)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Středočeský	3,22	3,01	1,0	10,3	5 038	57 131
Jihočeský	2,96	2,94	1,0	6,57	2 644	17 037
Plzeňský	2,60	2,32	1,0	7,26	1 219	9 578
Karlovarský	2,55	2,47	1,0	6,39	2 775	32 171
Ústecký	4,09	3,98	1,0	11,43	2 363	46 902
Liberecký	2,93	2,90	1,0	6,07	1 071	16 922
Královéhradecký	2,44	2,19	1,0	8,18	1 853	38 237
Pardubický	2,57	2,47	1,0	7,29	2 865	58 991
Vysočina	2,30	2,17	1,0	7,61	3 491	44 883
Jihomoravský	3,31	2,98	1,0	9,66	2 657	48 927
Olomoucký	2,49	2,19	1,0	16,41	2 460	46 923
Moravskoslezský	1,92	1,88	1,0	3,87	1 663	27 116
Zlínský	2,57	2,42	1,0	6,23	627	14 100
Česká republika	2,83	2,61	1,0	16,41	30 831	460 979

3.4.2 Vliv kultury na obsah glomalinu orných půd

Glomalin je poměrně značnou zásobárnou půdního uhlíku a dusíku, řada autorů uvádí rozmezí od 28 do 45 % C (Nichols and Wright, 2004; Rillig, 2004; Vlček and Pohanka, 2019; Zbiral, 2017). Vyšší obsah zjišťujeme v půdách kultur s omezenou agrotechnikou půd jako jsou sady a vinice a samozřejmě travní porosty. To je v souladu s výsledky Gařazka et al., 2017, která uvádí, že faktorem ovlivňujícím frakce arbuskulárních mykorhizických hub je složení a množství produkovaných kořenových zbytků a exsudátů podléhajících mikrobiálnímu rozkladu.

Redukovaná nebo zcela vynechaná orba a další kultivace zabraňuje pravidelně se opakujícímu rozpadu půdních agregátů a výrazné respiraci v průběhu rozkladu organických materiálů. Naopak pravidelná orba rozrušuje svrchní vrstvu půdy a půdní škraloup a provzdušňuje se, mísí ustálené půdní vrstvy čímž snižuje diverzitu půdního prostředí, které je také úzce spojeno s diverzitou mikroorganismů (Wright and Upadhyaya, 1996).

Graf 15: Analýza variance obsahu glomalinu **orných půd** a půd **TTP**



Statisticky průkazně vyšší obsah glomalinu (tab. 25) je nalezen mezi půdami trvalých travních porostů zastoupených 2 995 vzorky, které dosáhly v hodnoceném souboru v průměru 3,51 mg/g proti orným půdám s průměrným obsahem 2,83 mg/g (30 831 vzorků), chmelnicím (3,57 mg/g) a vinicím (3,01 mg/g). Průkazný rozdíl mezi v obsahu glomalinu ornými půdami a půdami TTP dokládá graf 15.

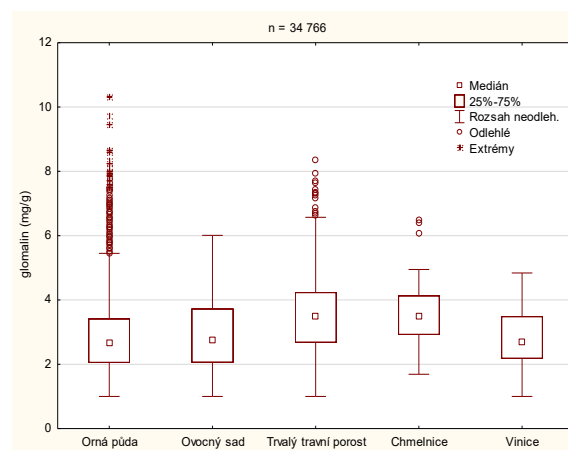
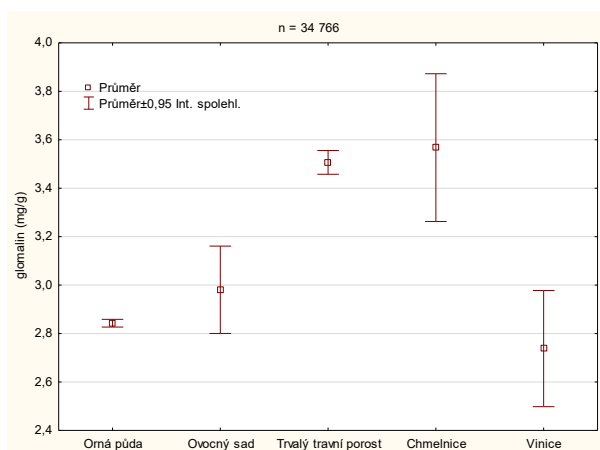
Vliv zemědělské kultury na obsah glomalinu má statisticky průkazný vliv (graf 16, tab. 23) v následujícím pořadí chmelnice > TTP > vinice > sady > orná půda. Mezi vinicemi se sady a ornou půdou nejsou patrně statisticky průkazné rozdíly v obsahu glomalinu. Statisticky významné rozdíly jsou v obsahu glomalinu u půd TTP s chmelnicemi oproti třem předchozím kulturám.

Tab.25: Deskriptivní charakteristika obsahu glomalinu **zemědělských půd**

Kultura	Vážený průměr (mg/g)	Medián (mg/g)	Minimum (mg/g)	Maximum (mg/g)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	2,83 ^a	2,61	1,00	16,41	30 831	460 979
Chmelnice	3,57 ^b	3,53	1,05	7,02	233	577
Vinice	3,01 ^a	3,02	1,00	6,13	182	367
Ovocný sad	2,93 ^a	2,93	1,00	8,03	525	2 386
TTP	3,51 ^b	3,31	1,00	10,95	2 995	36 277
ČR zemědělská půda	2,85	2,67	1,00	16,41	34 766	500 587

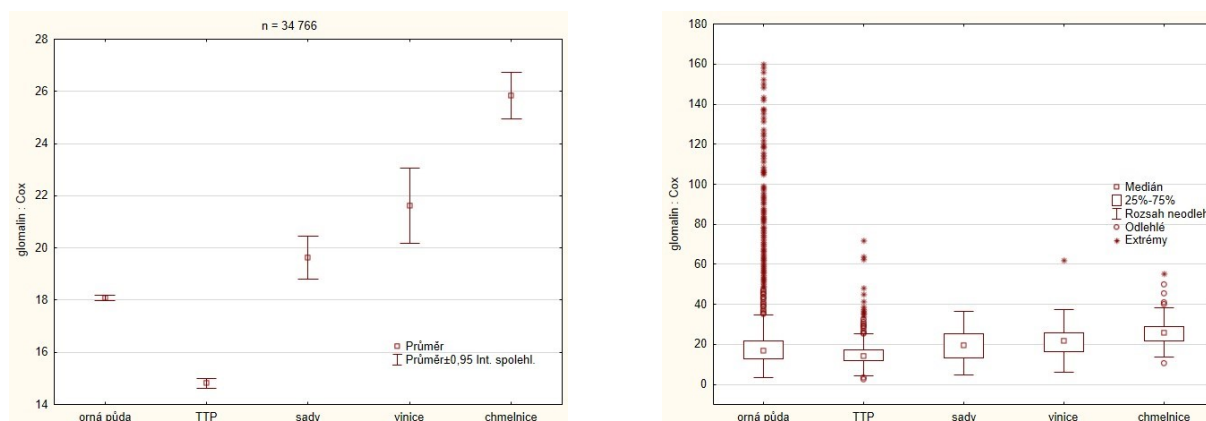
Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

Graf 16: Analýza variance vlivu kultur na obsah glomalinu



Obsah glomalinu se mění s intenzitou využívání půdy, pozorujeme pokles s rostoucí intenzitou hospodaření. Protože glomalin a obsah organického uhlíku poměrně významně koreluje, je glomalin považován za citlivý indikátor změn půdního uhlíku (Rotter, 2017). Statistické rozdíly poměru glomalinu : Cox prezentuje graf 17 a tabulka 26.

Graf 17: Analýza variance vlivu kultur na poměr glomalinu : Cox



Tab. 26: Statistická průkaznost vlivu pH na poměr glomalinu : Cox

Analýza variance Tukey HSD test, poměr glomalinu : Cox	
kultura	glomalin : Cox
orná půda	18,08 ^a
TTP	14,82 ^b
sady	19,63 ^c
vinice	21,62 ^c
chmelnice	25,83 ^d

Pozn: * označují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

3.4.3 Vliv zrnitosti na obsah glomalinu orných půd

Zrnitost půdy ovlivňuje většinu fyzikálních a biologických vlastností půdy, zejména poměr vody a vzduchu v půdě, pórovitost, pohyb půdní vody a vzduchu a s tím i související obsah a kvalitu organické hmoty. Hodnocení rozdílů zrnitosti, při němž se se zmenšující se velikostí částic zvětšuje povrchová plocha a vzájemná přitažlivost, vykazuje u lehkých půd největší rozpětí naměřených hodnot. Vážený průměr obsahu glomalinu u lehkých orných půd činí 3,1 mg/g a je reprezentován 3 208 vzorky.

Pro orné středně těžké půdy, zastoupené 20 780 vzorky je charakteristické nejužší rozpětí naměřených hodnot, vážený průměr činí 2,7 mg/g.

Pro těžké půdy je typická horší propustnost vody a vzduchu a vyšší podíl jílovitých částic. Těžké půdy se vyznačují vyšším obsahem glomalinu u chmelnic, vinic, sadů, TTP oproti lehkým a středně těžkým půdám (tab. 27).

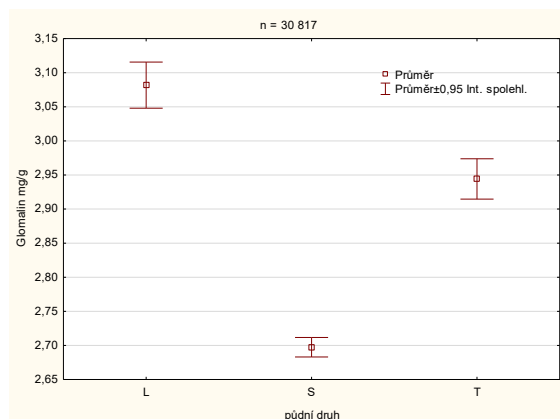
Tab. 27: Deskriptivní charakteristika obsahu glomalinu **zemědělských půd** podle zrnitosti

Kultura	Půdní druh	Vážený průměr (mg/g)	Medián (mg/g)	Minimum (mg/g)	Maximum (mg/g)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	Lehké	3,1 ^a	3,0	1,0	10,3	3 208	37 747
	Střední	2,7 ^b	2,7	1,0	11,4	20 780	326 021
	Těžké	3,0 ^c	2,9	1,0	16,4	6 829	97 009
Chmelnice	Lehké	3,8	3,7	2,3	6,0	32	66
	Střední	3,5	3,5	1,1	7,0	195	499
	Těžké	3,8	3,9	2,6	6,5	6	12
Vinice	Lehké	3,0	2,9	1,1	6,1	49	57
	Střední	3,0	3,1	1,0	6,1	121	296
	Těžké	3,7	3,2	1,6	5,7	12	15
Ovocný sad	Lehké	2,5	2,9	1,0	5,5	50	209
	Střední	2,8	2,7	1,0	6,0	353	1 633
	Těžké	3,5	3,7	1,0	8,0	122	544
Trvalý travní porost	Lehké	3,5 ^a	3,5	1,0	5,8	203	2 236
	Střední	3,3 ^a	3,2	1,0	8,0	1 964	26 277
	Těžké	3,7 ^b	3,7	1,0	10,3	3 208	37 747

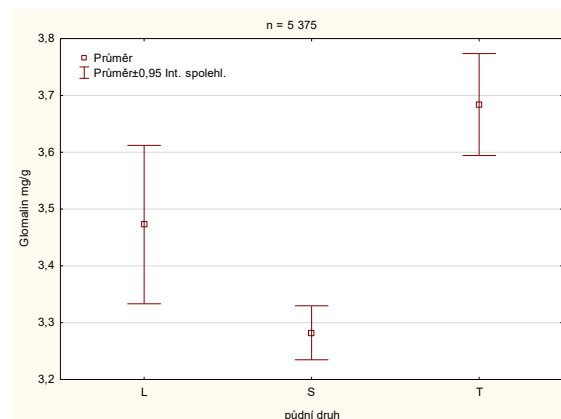
Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

Graf 18: Analýza variance vlivu půdního druhu na obsah glomalinu **orných půd** a **půd TTP**

18a) Orné půdy



18b) půdy TTP



Vícefaktorovou analýzou variance na hladině významnosti $\alpha 0,05$ se prokázaly statisticky průkazné rozdíly obsahu glomalinu orných půd mezi všemi třemi půdními druhy (graf 18a). U půd TTP (graf 18b) se nepotvrdil statisticky průkazný rozdíl mezi lehkými a středními půdami, průkazně vyšší obsah glomalinu nalézáme v těžkých půdách.

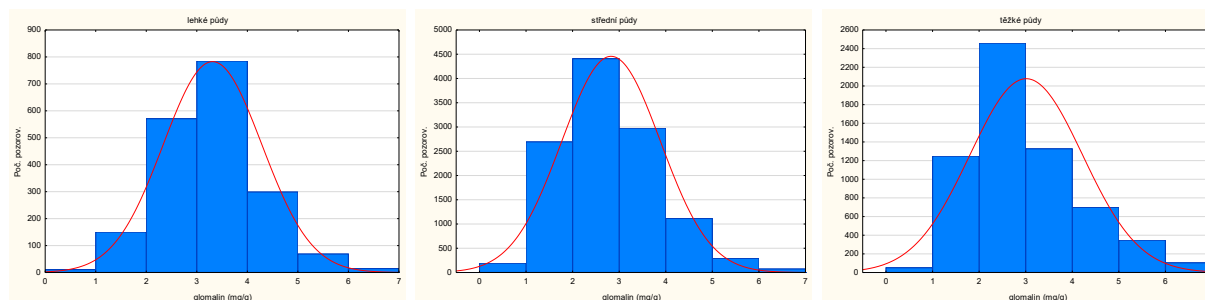
Hustota rozdělení pomocí histogramu orných lehkých půd (graf 19a) znázorňuje normální rozdělení s maximem hodnot v intervalu 2 - 4 mg/g. Střední a těžké půdy (grafy 19b a 19c) vykazují spíše pravostranné rozdělení dat a většinu výsledků spíše v intervalu 1 - 4 mg/g.

Graf 19: Histogram distribuce obsahu glomalinu **orných půd** podle zrnitosti

19a) Lehké půdy

19b) Střední půdy

19c) Těžké půdy

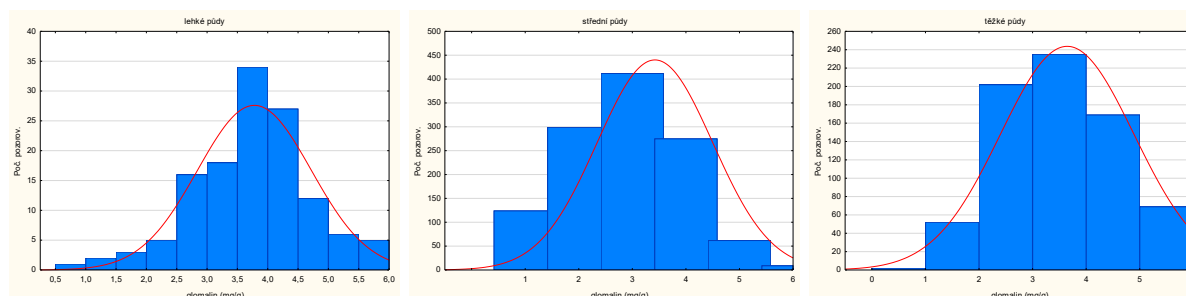


Graf 20: Histogram distribuce obsahu glomalinu půd **TTP** podle zrnitosti

20 a) Lehké půdy

20 b) Střední půdy

20 c) Těžké půdy

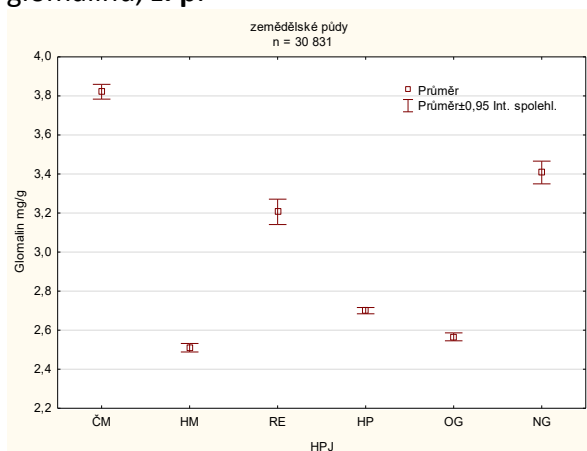


Hustota rozdělení pomocí histogramu lehkých půd TTP (graf 20a) znázorňuje levostranné rozdělení s maximem hodnot v intervalu 3,5 - 4,5 mg/g. Střední a těžké půdy (grafy 20b a 20c) vykazují spíše normální rozdělení dat a většinu výsledků převážně v intervalu 2 - 4 mg/g a u těžkých půd mezi 2 - 5 mg/kg. Tato skutečnost potvrzuje opět vyšší příležitost ke kumulaci organické hmoty v půdách s vyšším podílem jílovitých částic a lehce dostupné organické hmoty.

3.4.4 Vliv HPJ na obsah glomalinu orných půd

Nejvyšší obsahy glomalinu vykazovaly černozemě v průměru 3,87 mg/g. Hnědozemě, hnědé půdy a oglejené půdy nivní, glejové půdy vykazovaly nižší obsahy v průměrném rozpětí 2,37 - 2,35 mg/g, bez ohledu na půdní druh (graf 21). Deskriptivní charakteristiku hodnocení glomalinu podle HPJ orných půd prezentuje tabulka 29. Mezi hnědozeměmi a oglejenými půdami nejsou na zemědělské půdě průkazné rozdíly v obsahu glomalinu, mezi všemi ostatními HPJ jsou statisticky průkazné rozdíly (tab. 28)

Graf 21: Analýza variance vlivu HPJ na obsah glomalinu, z. p.



Tab. 28: Statistická průkaznost vlivu HPJ na obsah glomalinu, z. p.

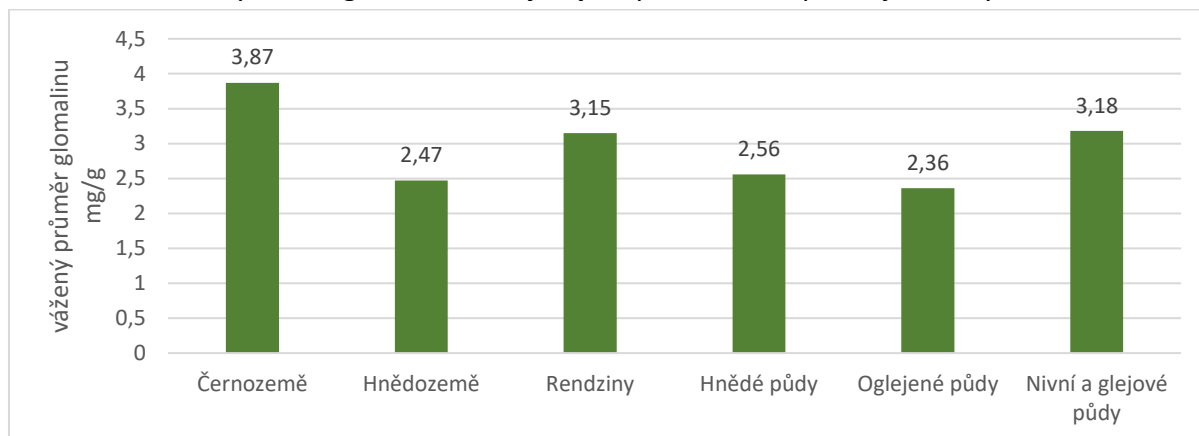
HPJ	Vážený průměr
HM	2,51 ^a
OG	2,56 ^a
HP	2,70 ^b
RE	3,21 ^c
NG	3,41 ^d
ČM	3,82 ^e

Pozn: * označují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

Tab. 29: Deskriptivní charakteristika glomalinu **orných půd** podle hlavní půdní jednotky

Hlavní půdní jednotka	Půdní druh	Vážený průměr (mg/g)	Medián (mg/g)	Minimum (mg/g)	Maximum (mg/g)	Počet vzorků
Černozemě	Lehké	3,76	3,58	1,51	7,6	381
	Střední	3,72	3,46	1	11,43	2 792
	Těžké	4,35	4,47	1	16,41	1 032
Hnědozemě	Lehké	2,87	2,84	1	4,95	95
	Střední	2,46	2,38	1	6,72	3 926
	Těžké	2,11	2,22	1	4,11	232
Rendziny	Lehké	2,99	3,07	1	3,62	8
	Střední	3,42	3,47	1	9,17	533
	Těžké	2,98	2,88	1	7,13	729
Hnědé půdy	Lehké	2,94	2,97	1	10,3	2 576
	Střední	2,48	2,38	1	7,61	9 676
	Těžké	2,67	2,57	1	6,6	172
Oglejené půdy	Lehké	2,78	2,72	1	4,77	50
	Střední	2,26	2,24	1	7,28	2 766
	Těžké	2,45	2,44	1	7,87	3 687
Nivní a glejové půdy	Lehké	3,53	3,15	1	8,45	97
	Střední	3,33	2,94	1	9,46	1 079
	Těžké	3,00	2,68	1	9,72	977

Graf 22: Průměrný obsah glomalinu **orných půd** podle hlavní půdní jednotky

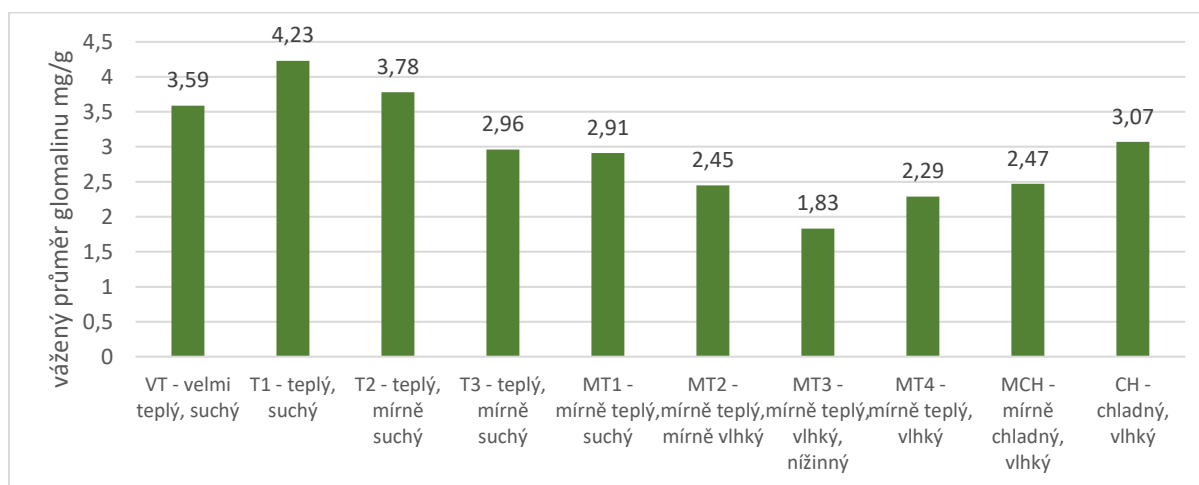


3.4.5 Vliv klimatického regionu na obsah glomalinu orných půd

Půdní teplota a vlhkost velmi významně ovlivňuje akumulaci organické hmoty. Za srovnatelných půdních podmínek se její podíl zvyšuje při vyšší vlhkosti a poklesu teploty, naopak nižší obsah se nachází v teplých a vlhkých oblastech (Šimek, 2019). V teplých podmínkách a dobře provzdušněných půdách je mineralizace rychlejší, rychleji ale ubývají živiny a imobilizace organické hmoty je nižší než v chladnějších oblastech (Schmidt et al., 1999). Souhrn klimatických podmínek stanoviště je významným parametrem určujícím biologickou aktivitu půdy, z toho důvodu je i hodnocení glomalinu v klimatických regionech napříč republikou součástí předkládané zprávy (graf 23).

Nejvyšší průměrné obsahy glomalinu byly naměřeny v teplém suchém regionu (T1) 4,23 mg/g a teplých regionech (T2 – VT od 3,78 do 3,59 mg/g). V mírně teplých a sušších regionech obsah glomalinu klesal (MT3 - 1,83 mg/g) a obdobně jako u obsahu Cox směrem k chladným a vlhkým regionům hodnoty opět mírně vzrůstaly (CH - 3,07 mg/g).

Graf 23: Vliv klimatického regionu na obsah glomalinu **orných půd**



Tab. 30: Deskriptivní charakteristika obsahu glomalinu **orných půd** dle klimatického regionu

Klimatický region	Půdní druh	Vážený průměr (mg/g)	Medián (mg/g)	Minimum (mg/g)	Maximum (mg/g)	Počet vzorků
VT–velmi teplý, suchý	Lehké	3,43	3,08	1,51	6,70	271
	Střední	3,58	3,22	1,00	9,66	784
	Těžké	3,80	3,88	1,28	6,69	190
T1–teplý, suchý	Lehké	4,13	3,93	2,35	6,12	175
	Střední	4,17	4,02	1,00	11,43	1225
	Těžké	4,38	4,41	1,00	7,54	634
T2–teplý, mírně suchý	Lehké	3,66	3,46	1,00	10,30	258
	Střední	3,60	3,32	1,00	9,46	901
	Těžké	4,64	4,39	1,00	9,72	211
T3–teplý, mírně suchý	Lehké	3,10	2,96	1,20	6,95	202
	Střední	2,85	2,72	1,00	8,37	3458
	Těžké	3,24	3,02	1,00	16,41	1198
MT1–mírně teplý, suchý	Lehké	3,26	3,04	1,00	5,52	95
	Střední	2,88	2,78	1,00	6,00	1769
	Těžké	2,93	2,64	1,00	5,48	220
MT2–mírně teplý, mírně vlhký	Lehké	2,86	2,91	1,00	6,20	837
	Střední	2,40	2,34	1,00	8,21	5504
	Těžké	2,47	2,48	1,00	6,76	2299
MT3–mírně teplý, vlhký, nížinný	Lehké	2,28	2,01	1,29	3,15	15
	Střední	1,79	1,69	1,00	3,77	812
	Těžké	1,92	1,75	1,00	4,43	367
MT4–mírně teplý, vlhký	Lehké	2,91	2,97	1,00	6,57	902
	Střední	2,32	2,26	1,00	6,39	5077
	Těžké	2,49	2,48	1,00	6,55	1607
MCH–mírně chladný, vlhký	Lehké	2,56	2,58	1,00	5,80	449
	Střední	2,42	2,34	1,00	7,26	1124
	Těžké	2,66	2,50	1,22	5,62	102
CH–chladný, vlhký	Lehké	2,88	2,98	2,43	4,16	3
	Střední	3,08	3,23	1,49	4,84	121
	Těžké	2,74	2,74	2,74	2,74	1

3.4.6 Vliv pH na obsah glomalinu orných půd a půd TTP

Podobně jako oxidovatelný uhlík Cox i obsah glomalinu lze hodnotit z pohledu půdní výměnné reakce. V kyselém prostředí se snižuje mikrobiální aktivita, rozkladné procesy se zpomalují, mění se i složení mikrobiálních společenstev, ubývá bakterií zvyšuje se zastoupení hub (McCauley et al., 2017). Za optimální pH nejen pro růst většiny plodin, ale i pro rozkladné procesy se považuje pH mezi 6 - 7. Podstatný podíl orné půdy tvoří jíl a humus vznikající

rozkladem organické hmoty, jejíž obsah přibývá s rostoucím pH. Analýzou variance na hladině $\alpha 0,05$ se prokázaly statisticky významné rozdíly mezi obsahem glomalinu v extrémně kyselých orných půdách (graf 24a) proti všem zbývajícím kategoriím pH. V kyselém prostředí orných půdy je rozklad organické hmoty pomalejší, proto se v nich hromadí větší podíl nerozloženého opadu. Alkalické a neutrální orné půdy vykazují průkazně vyšší obsah glomalinu než neurální, kyselé a slabě kyselé půdy (tab. 31).

Tab. 31: Statistická průkaznost vlivu pH na obsah glomalinu **orných půd**

Analýza variance Tukey HSD test, orné půdy	
Kategorie pH	Průměr glomalinu (mg/g)
EK extrémně kyselá	1,50 ^a
SilK silně kyselá	1,57 ^b
K kyselá	1,57 ^b
SlaK slabě kyselá	1,64 ^c
N neutrální	1,66 ^d
A alkalická	1,69 ^e

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

Tab. 32: Statistická průkaznost vlivu pH na obsah glomalinu půd **TTP**

Analýza variance Tukey HSD test; půdy TTP	
Kategorie pH	Průměr glomalinu (mg/g)
EK extrémně kyselá	3,36 ^a
SilK silně kyselá	3,37 ^a
K kyselá	3,36 ^a
SlaK slabě kyselá	3,54 ^{ab}
N neutrální	3,51 ^{ab}
A alkalická	3,19 ^{ab}

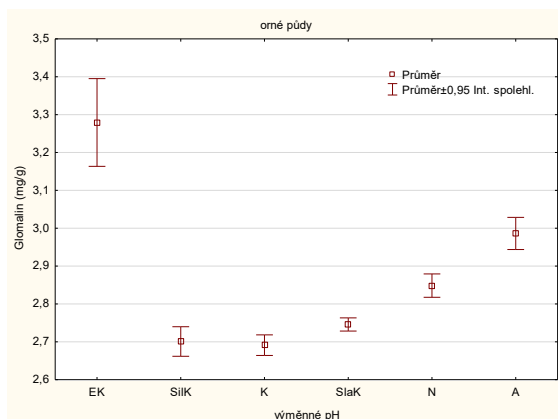
Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, (Tukey, $P \leq 0,05$)

V kyselých půdách travních porostů dochází k masivnějšímu hromadění nerozložené organické hmoty, jejíž rozklad pomalejší, to vysvětluje vyšší obsah organické hmoty (Šimek 2019). V půdách TTP se s mírně rostoucím pH obsah glomalinu zvyšuje, průkazné rozdíly jsou mezi kategoriemi slabě kyselých a kyselých půd (graf 24b). V alkalických půdách, které nejsou typické pro TTP pozorujeme pokles glomalinu, který může souviset s chudším vegetačním pokryvem, odlišným vodním režimem od půd a klima typického pro TTP.

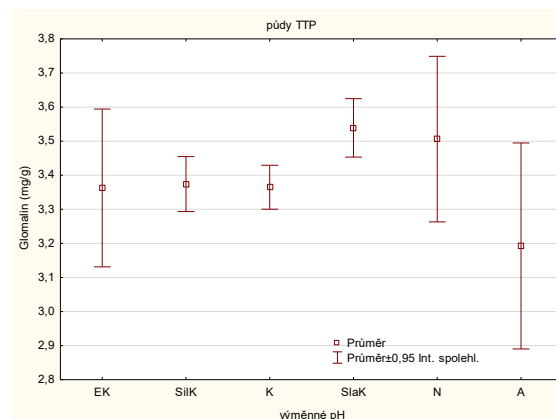
V přirozeně alkalických nebo vápněných půdách narůstá produkce nadzemní biomasy a tím také vstupy C do půdy. Současně se zvyšuje stabilizace humusu vazbou s Ca ionty (Paradelo et al., 2015), zvyšuje se biologická aktivita, která se podílí na tvorbě stabilizovaných forem uhlíku.

Graf 24: Analýza variance vlivu pH na obsah glomalinu, **orné půdy** a **půdy TTP**

24a) Orné půdy



24b) Půdy TTP



3.4.7 Vliv pH a půdního druhu na obsah glomalinu orných půd a půd TTP

Pro zkoumání vztahu výměnné půdní reakce a půdního druhu bylo použito zjednodušené rozdělení půd podle pH < 5,5, mezi 5,6 - 7,2 a dále > 7,3. U orných půd s rostoucím pH se obsah glomalinu zvyšoval u všech tří půdách druhů (tab. 33). Naproti tomu u lehkých a těžkých půd TTP pozorujeme opačnou situaci, kdy pro alkalické půdy jsou typické nižší obsahy glomalinu (tab. 34).

Tab. 33: Vliv výměnné půdní reakce na obsah glomalinu **orných půd**

Kategorie výměnného pH	Orné půdy, vážený průměr glomalinu (mg/g)			
	celkem	lehká	střední	těžká
< 5,5	2,41	2,77	2,32	2,42
5,6 - 7,2	2,93	3,18	2,69	2,89
> 7,3	3,70	3,91	3,55	4,01

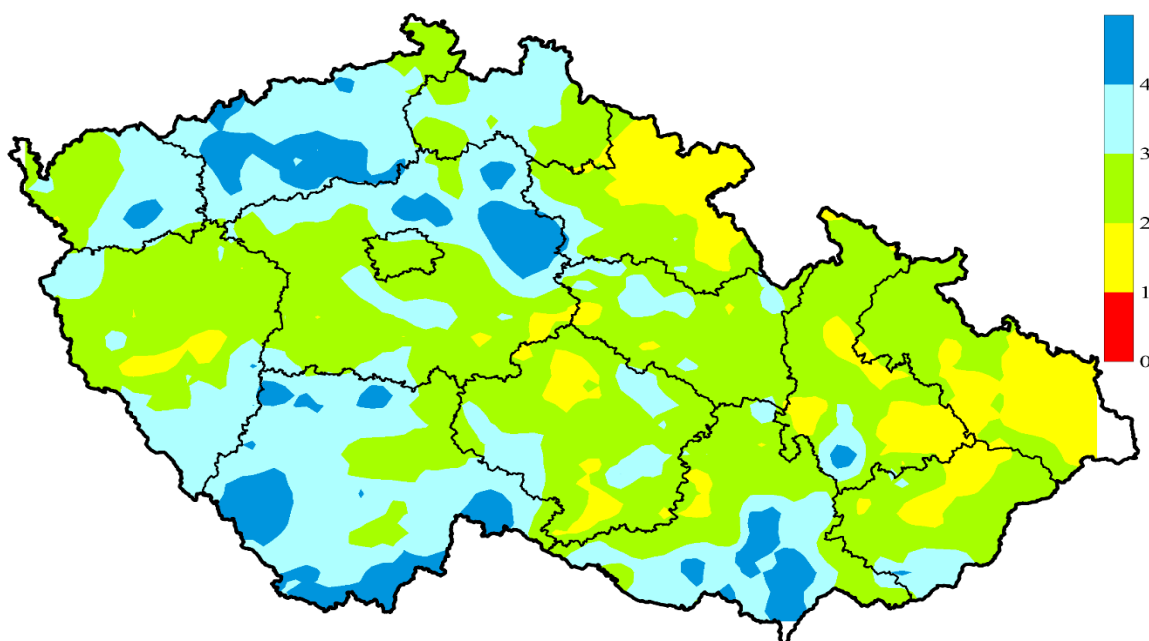
Tab. 34: Vliv výměnné půdní reakce na obsah glomalinu půdy **TTP**

Kategorie výměnného pH	Půdy TTP vážený průměr glomalinu (mg/g)			
	celkem	lehká	střední	těžká
< 5,5	3,37	3,38	3,27	3,62
5,6 - 7,2	3,89	3,70	3,34	3,88
> 7,3	3,19	3,29	3,21	2,99

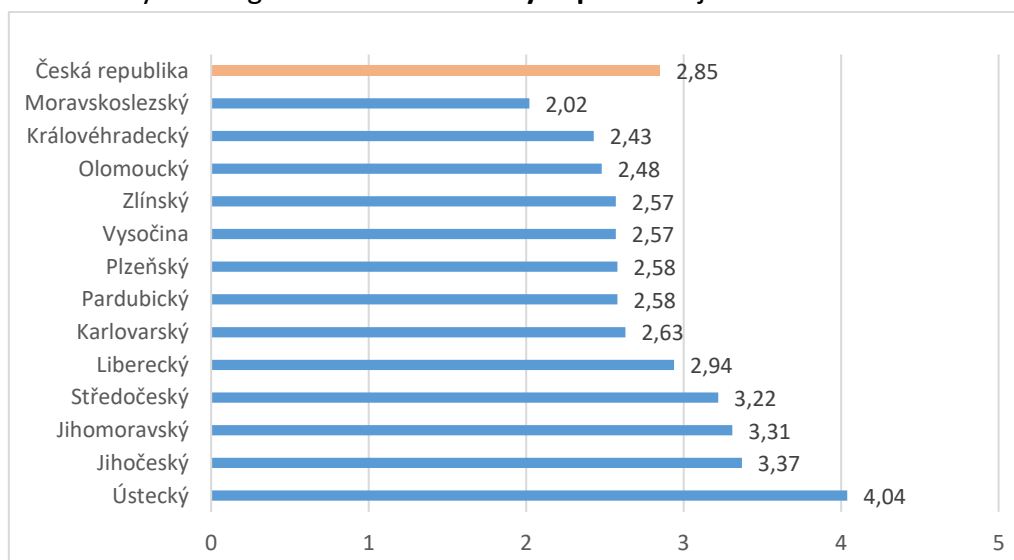
3.4.8 Kartografické zhodnocení obsahu glomalinu

Databáze výsledků glomalinu byla stejně jako v případě Cox geostatisticky analyzována metodou krigingu, která data interpoluje metodou váženého průměru hodnot okolních bodů na základě jejich prostorové závislosti. Obrázek 2 vizualizuje prostorové rozložení obsahu glomalinu vytvořené pomocí krigingu, z něž je zřejmé, že hodnoty mezi 2 - 3 mg/g pokrývají většinu území. Území nad 4 mg/g jsou situována převážně na území Krušnohoří, Rakovnické pahorkatiny a Českého středohoří, Středočeské pahorkatiny, Jižní Moravy, v oblasti Hané a Bílých Karpat. Vážený průměr obsahu glomalinu na zemědělské půdě v krajích ČR se nachází v poměrně širokém rozpětí od 2,02 do 4,04 mg/g (graf 24). Z důvodu detailnějšího rozlišení doložení regionálních rozdílů je třídící škála nastavena po 1 mg/g.

Obrázek 2: Zobrazení obsahu glomalinu **zemědělských půd** za období 2014 - 2022



Graf 25: Průměrný obsah glomalinu **zemědělských půd** v krajích ČR



3.4.9 Klasifikace glomalinu

Průměrný obsah glomalinu na orné půdě činí 2,83 mg/g, zemědělských půd 2,58 mg/g. U převážné většiny půdních vzorků, tj. 63 % je zjištěn obsah glomalinu v rozmezí 2 - 4 mg/g. Mezi 12 % (o. p.) až 14 % (z. p) jsou obsahy vyšší než 4 mg/g (tab. 35).

Dlouhodobé pokusy ÚKZÚZ po více než 50 letech hnojení hnojem 1 x za 4 roky a střední úroveň minerálního hnojení vykazují v lokalitách řepařské výrobní oblasti v průměru 2,70 mg/g a bramborářské 2,64 mg/g glomalinu (Jančíková, 2023).

Tab. 35: Hodnocení obsahu glomalinu **zemědělských a orných půd**

Kategorie obsahu glomalinu (mg/g)	Kultura	Počet vzorků	Zastoupení (%)	Vážený průměr (mg/g)
< 2,0	zemědělská půda	7 834	22,5	1,61
	orná půda	7 585	24,6	1,62
2,0 < 4,0	zemědělská půda	21 945	63,1	2,84
	orná půda	19 395	62,9	2,81
> 4,0	zemědělská půda	4 987	14,3	4,88
	orná půda	3 851	12,5	4,88

3.4.10 Korelace glomalinu a Cox

Pro hodnocení vztahů mezi obsahem Cox a glomalinu byla použita korelační analýza dat, která ověřuje a kvantifikuje jejich vztah výpočtem korelačního koeficientu r , hodnoty p tedy pravděpodobnost a hodnoty F (poměr dvou průměrných čtvercových hodnot).

Tab. 36: Korelace glomalinu a Cox **zemědělských půd**

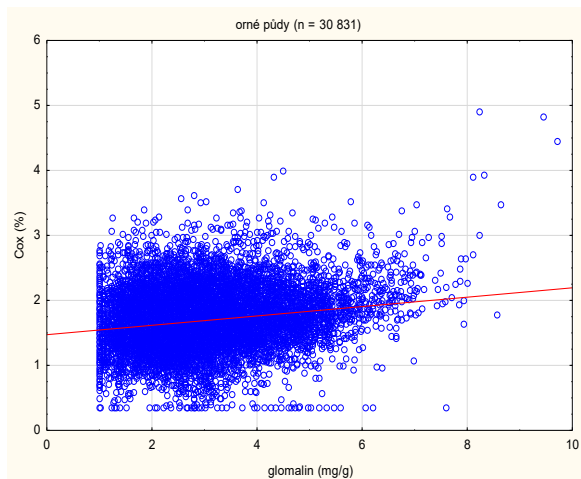
Kultura	Korelační koeficient (r)	P hodnota	F hodnota
orná půda	0,348	0,0000	4213,05
chmelnice	0,519	0,0005	67,90
vinice	0,506	0,0513	40,37
ovocné sady	0,504	0,0000	78,51
trvalé travní porosty	0,599	0,0000	1672,69
zemědělská půda	0,407	0,0000	6779,42

Hodnota korelačního koeficientu ukazuje vzájemný kladný vztah obou veličin u jednotlivých kultur. Na orné půdě zastoupené nejvyšším počtem vzorků dosahuje korelační koeficient $r = 0,348$, u ostatních kultur s redukováným zpracováním půdy byla zjištěna těsnější korelace (tab. 35), je ale třeba zohlednit rozsah výběrového souboru, popřípadě odlehle hodnoty, které ovlivňují výslednou hodnotu korelačního koeficientu r . Souvislost spojitých veličin glomalinu a Cox je vykreslena do bodových grafů (graf 26a až 26e), které ukazují těsnost vzájemného vztahu. Pomineme-li odlehle body, vidíme, že zobrazené body porovnávající oba

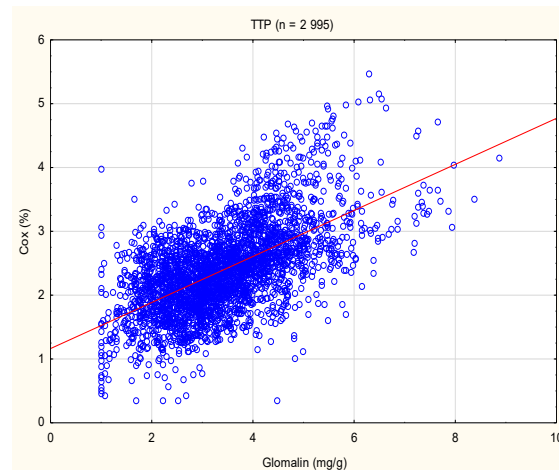
parametry u TTP spolu poměrně těsně korelují, i když nemají přesně lineární vztah. Z toho plyne, že paralelní stanovení obou parametrů je opodstatněné a každý z nich svým specifickým způsobem dokumentuje rozdílnost kvality organické hmoty v daných podmínkách.

Graf 26: Lineární regrese glomalinu a Cox

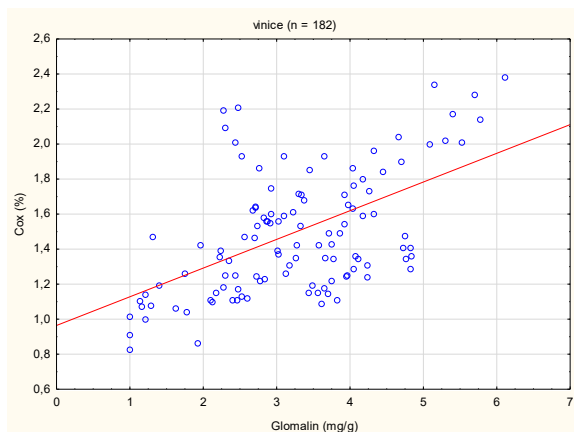
26 a) Orné půdy



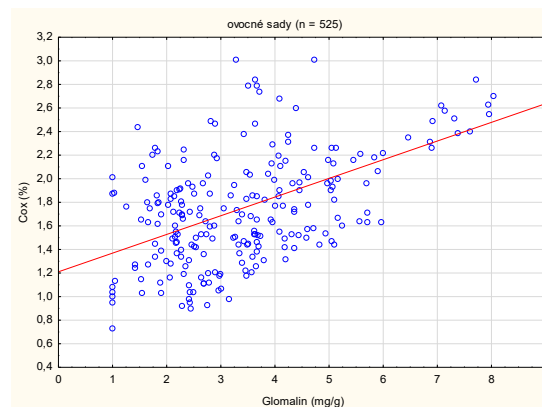
26 b) Půdy TTP



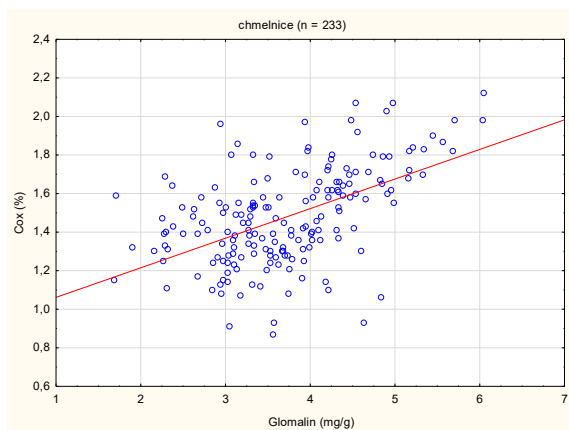
26 c) Vinice



26 d) Ovocné sady



26 e) Chmelnice



4 Závěry

Tato zpráva si klade za cíl popsat výsledky v kontextu dostupných informací, kterými je účel využití zemědělské půdy (kultura), půdní druh, informace o stanovišti získaná z BPEJ, popřípadě výměnná půdní reakce. Doplňující informace o osevním sledu, managementu hospodaření a zpracování půdy či hnojení nejsou do systému AZZP propojeny.

Nedestruktivní stanovení organické hmoty ve vzorcích půdy hodnocených v rámci pravidelné kontroly úrodnosti půdy rozšiřuje informaci o jejím stavu ve vzorkovaných lokalitách. Výši hodnocených parametrů ovlivňuje řada faktorů, v mnoha případech úzké rozpětí mezi minimálními a maximálními hodnotami, značná diverzita půdních a klimatických podmínek v rámci České republiky. Je zřejmé, že výsledky hodnocených parametrů organické hmoty jsou místně specifické a jsou ovlivňovány složitým komplexem výše uvedených faktorů.

Zavedení jakýchkoliv kritérií je problematické, při hodnocení úrovně OH by měly být zohledněny místně specifické podmínky stanoviště, zejména produkční potenciál půdy. Výsledky obsahu půdní organické hmoty by měly být v praxi na konkrétním pozemku, v podniku posuzovány společně s rutinně stanovovanými přístupnými živinami a výměnnou půdní reakcí, čímž se získá komplexní informace o kvalitě půdy a hospodaření.

• Obecné hodnocení

Cox: průměrný obsah na orné půdě je 1,6 %, rozpětí v krajích ČR je 1,52 - 2,01 %; nejnižší obsah je v Pardubickém 1,4 % a Moravskoslezském kraji 1,52 %, nejvyšší v Karlovarském 2,01 %.

CTOT: průměrný obsah na orné půdě je 1,8 %, rozpětí v krajích ČR je 1,66 - 2,19 %; nejnižší obsah je v Libereckém, nejvyšší v Karlovarském;

Poměr C : N: průměrná hodnota na orné půdě je 9,95, rozpětí v krajích ČR je od 8,81 do 10,79; nejnižší poměr je v Libereckém kraji, nejvyšší v Královéhradeckém;

Glomalin: průměrný obsah na orné půdě je 2,83 mg/g, rozpětí v ČR je od 1,92 do 4,09 mg/g; nejnižší obsah je v Moravskoslezském kraji, nejvyšší v Ústeckém;

• Vliv kultury

Cox: statisticky významný rozdíl je mezi ornou půdou (1,6 %) a speciálními trvalými kulturami (1,48 - 1,62 %) a TTP (2,32 %);

CTOT: statisticky významný rozdíl je mezi chmelnicemi (1,48 %) s vinicemi (1,5 %), proti orným půdám (1,8 %), půdám sadů (1,85 %) a půdám TTP (2,76 %).

Poměr C : N: statisticky průkazný rozdíl je mezi všemi kulturami, mimo ovocné sady a TTP.

Glomalin: mezi vinicemi, sady a ornou půdou nejsou statisticky průkazné rozdíly. Statisticky významné rozdíly jsou u půd TTP (3,57 mg/g) a chmelnic (3,57 mg/g) oproti třem předchozím kulturám.

• Vliv zrnitosti

Cox: statisticky průkazné rozdíly jsou mezi třemi půdními druhy, 70 % z. p. je zastoupeno středními půdami. Orné půdy se středním druhem půdy jsou zastoupeny 68 % vzorků, průměr Cox dosahuje 1,55 %; lehké půdy 1,68 %, střední 1,5 % a těžké půdy 1,77 %.

CTOT: statisticky průkazné rozdíly jsou mezi třemi půdními druhy, 59 % z. p. je zastoupeno středními půdami s průměrným obsahem 1,81 %. Průměrný obsah středních o. p. je 1,74 %, lehkých 1,86 %, těžkých 1,92 %.

Poměr C : N: statisticky průkazné rozdíly v poměru C : N u půdního druhu mezi ornými půdami, půdami sadů a TTP nebyly nalezeny. Průkazně nižší obsahy glomalinu jsou v chmelnicích a vinicích.

Glomalin: statisticky průkazné rozdíly jsou u orných půd mezi všemi třemi půdními druhy. U půd TTP není statisticky průkazný rozdíl mezi lehkými a středními půdami, průkazně vyšší obsah je u těžkých půd.

- **Vliv HPJ**

Cox: těžké půdy vykazují vyšší obsah než půdy lehké stejného typu; nejnižší obsah vykazují hnědozemě mezi 1,99 - 1,43 %, následují černozemě 1,72 - 2,00 %, nevyšší obsah Cox se nachází v nivních a glejových půdách 1,81 - 1,95 %.

Glomalin: těžké černozemě vykazují v průměru nejvyšší obsah 3,87 mg/g; nejpočetněji zastoupená skupina středně těžkých hnědých půd dosahuje v průměru 2,48 mg/g.

- **Vliv klimatického regionu**

Cox: statisticky vysoce významné jsou rozdíly z. p. mezi teplými T2 (1,76 %) - T3 (1,64 %) a VT (1,7 %) a mírně teplými T1 MT1 a MT4 regiony proti chladným CH (2,68 %).

Glomalin: nejvyšší průměrné obsahy z. p. jsou v teplém T1 regionu 4,23 mg/g, nejnižší v mírně teplém regionu MT3 (1,83 mg/g), směrem k chladným a vlhkým regionům hodnoty glomalinu mírně stoupají (CH 3,07 mg/g).

- **Vliv výměnné půdní reakce**

Cox: s rostoucím pH u orných půd se statisticky průkazně zvyšoval obsah Cox, naopak u půd TTP obsahy průkazně klesaly v kyselejších prostředích.

Glomalin: statisticky významné rozdíly jsou mezi glomalinem v extrémně kyselých o. p. půdách proti všem zbývajícím kategoriím pH. V půdách TTP se stoupajícím pH obsah glomalinu roste, průkazné rozdíly jsou mezi kategoriemi slabě kyselých a kyselých půd.

- **Korelace glomalinu a Cox**

Korelační koeficient orných půd činí $r = 0,348$; těsnější závislosti se projevily u chmelnic $r = 0,519$; sadů $r = 0,504$; vinic $r = 0,506$; TTP $r = 0,599$.

- **Klasifikace zemědělských půd**

Cox: převážná část zemědělských půd (80,2 %) se nachází v rozmezí 1 - 2 %, obsah vyšší než 2 % vykazuje 23,6 % půd a pouze 4,9 % půd má obsah Cox nižší než 1 %; střední kategorii Cox mezi 1,2 - 1,7 % reprezentuje 17 tisíc vzorků s průměrným obsahem 1,47 % Cox.

CTOT: 67,3 % půdních vzorků se nachází v rozpětí mezi 1,5 - 2,5 %; 16,9 % půd má obsah CTOT nižší než 1,5 %. Obsah CTOT vyšší než 2,5 % vykazuje 15,7 % půdních vzorků.

Poměr C : N: 76,7 % zemědělských půd je ve střední kategorii, průměr C : N orných půd je 9,4. Kategorie vysokého a velmi vysokého poměru je zastoupena pouze 6,3 % vzorky, převážně orných půd, kde C : N je 12,25. Nízký a velmi nízký poměr C : N byl zjištěn u 17,1 % vzorků.

Glomalin: u 63,1 % zemědělských půd je obsah glomalinu mezi 2 - 4 mg/g a průměrný obsah je 2,84 mg/g; 22,5 % půd má obsah nižší než 2 mg/g a průměrný obsah je 1,61 mg/g; obsah vyšší než 4 mg/g nacházíme u 14,3 % půd.

Shrnutí

Přítomnost organické hmoty ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti mnohem více, než odpovídá jejímu relativně nízkému obsahu v půdě. Její obsah významně ovlivňuje především kvalitu a stabilitu půdních agregátů, s tím spojenou tvorbu optimální drobtovité struktury půdy a schopnost půdy zadržovat vodu. Pro naprostou většinu mikroorganismů je organická hmota zdrojem energie a živin, s její kvalitou a obsahem se zvyšuje jejich rozmanitost. To má

za následek nejen dynamičtější mobilizaci živin pro rostliny, ale i vyšší schopnost čelit negativním vlivům, jako je sucho, vysoké teploty či utužování půdy.

Omezenější agrotechnika prováděná za příznivých vláhových podmínek přispívá k zachování či mírnému zvýšení obsahu organické hmoty, za předpokladu pravidelného doplňování organických hnojiv, kompostu, zaorání zbytků rostlin nebo druhově rozmanitých směsek zeleného hnojení a pokud možno zařazení pícnin do osevního postupu. Aby nedocházelo k poklesu zásob organické hmoty, je zapotřebí do půdy dodat 5 - 6 t/ha organického materiálu ročně. Zhruba 50 - 60 % tedy 2,5 - 3 t/ha se dodá posklizňovými zbytky a kořeny. Pro pokrytí schodku a vyrovnání bilance je tedy třeba doplnit zhruba 2 - 3 t/ha organického materiálu. Organická hmota aplikovaná do půdy by měla mít složení živin vhodné pro zlepšení dané funkce půdy, optimálně s širším poměrem C : N.

Před výběrem a aplikací organického materiálu je vhodné si ujasnit, kterou funkci je potřeba zlepšit, což se odvíjí od aktuálního obsahu přístupných živin, ale také druhu půdy. U těžkých jílovitých půd je obvykle potřeba zlepšit půdní strukturu a podpořit agregaci částic a tím zlepšit propustnost pro vodu. Písčité půdy se zkvalitní zvětšením povrchu půdních částic a zlepšením zadržky vody a živin. Po aplikaci organické hmoty do půdy je žádoucí zvolení vhodných technologických postupů pro zpracování půdy, které omezí její ztráty minimalizací nebo bezorebnými technikami, které zpomalí rozklad organické hmoty, ale také rozpad půdních agregátů. V neposlední řadě je nutné předcházet vodní a větrné erozi vedoucí ke ztrátě organické hmoty současně s minerálními částicemi půdy.

Hodnocení organické hmoty je v praxi založeno na bilančních metodách zemědělských podniků, pro něž jsou vyvíjeny programy a aplikace umožňující on-line výpočet v zemědělském podniku.

5 Literární zdroje

1. Angst, G., Mueller, K., Castellano, M. J., Vogel C., Wiesmeier, M., Mueller, C. W., 2023: Unlocking complex soil systems as carbon sinks: multi-pool management as the key. *Nature Communications* 14, 2967.
2. Baldok, J. A. and Nelson, P.N., 2000: Soil organic matter, *Hand book of Soil Science*, CRC Boca Raton, USA B25-B84.
3. Čížmár D., 2022: Ověření přepočítávacích koeficientů mezi Cox a TOC, *Bulletin ÚKZÚZ NRL XXVI 2/2022*, ISSN 1801-9196
4. Gałązka A., Gawryjolek K., Grządziel J., Księżak J. 2017: Effect of different agricultural management practices on soil biological parameters including glomalin fraction Vol. 63, 2017, No. 7: 300–306 *Plant Soil Environ.*
5. ISO 17184:2014 Soil quality, Determination of carbon and nitrogen by near infrared spectrometry (NIRS).
6. Jančíková, S., 2023: Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, na agrochemické vlastnosti půd a na bilanci živin, *Závěrečná zpráva z polní stacionární zkoušky za roky 2014–2021*, ISBN: 978-80-7401-230-3.
7. Jandák J. *Cvičení z půdoznalství*, 2003: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně ISBN: 80-7157-733-2 (brož.).
8. Kubát J. a kol., 2008: Metodika hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty v orných půdách, VURV, Praha 2008 ISBN: 978–80–87011–65–2.
9. Kunzová E. a kol., 2015: Studie Návrh parametrů sledování stavu a obsahu organické hmoty v půdě v České republice, VURV Praha 121 s.
10. Lützw M.V., Kögel-Knabner, K. Ekschmitt, E. Matzner, G. Guggenberger, B. Marschner, H. Flessa, 2006: Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions, *European Journal of Soil Science*.
11. Meloun M., Militký J., 2002: Kompendium statistického zpracování dat. Academia, Praha.
12. McCauley A., Jones C., Olson- Rutz, K., 2017: Soil pH and organic matter, *Module management n 8*, Montana, 4449-8.
13. Nichols K.A. Wright S. F., 2004: Contribution of glomalin and humic acid in eight native US soils. *Soil Science*, 170:985–997.
14. Paradelo R., Virto, I., Chenu, C., 2015: Net effect of liming on soil organic carbon stocks: A review *Agriculture, Ecosystems & Environment* 202, 98-107 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>
15. Pospíšilová L., Vlček V., 2015: Chemické, biologické a fyzikální ukazatele kvality/zdraví půdy, *Folia Universitatis Ariculae at Silviculturae Mendeliana*, VIII, číslo 2, ISBN 978–80–7509–244–1.
16. Prax A., Jandák, J., Pokorný E. (1995): *půdoznalství*, Mendlu Brno, 156 s, ISBN 80-7157-145-8.
17. Rillig M.C. et al., 2002: The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species, *Plant and Soil* 238: 325–333, 2002.
18. Rillig M.C. et al., 2003: Glomalin, an arbuscular–mycorrhizal fungal soil protein, responds to land–use change, *Plant and Soil* 253: 293–299, 2003.
19. Rotter P., Malý S., Sanka O., Kalábová T. 2017: Is glomalin an appropriate indicator of forest soil reactive nitrogen status? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, Online ISSN: 1522-2624.
20. Schmidt I. K., Jonasson S., Michelsen A., 1999: Mineralization and microbial immobilization of N and P in arctic soils in relation to season, temperature and nutrient amendment. *Applied soil ecology*, 11, 147-160.
21. Sotáková S., 1982: *Organická hmota úrodnost půdy*, Příroda Bratislava, 234 s.
22. Šimek M. 2019: *Živá půda Ekologie, využívání a degradace půdy*, Academia, ISBN 978-80-200-2976-8
23. Vlček V., Pohanka M., 2019: Glomalin an interesting protein part of the soil organic matter *Soil & Water Res.*, 15: 67–74.
24. Vopravil, J. a kol., 2010: *Půda a její hodnocení v ČR. Díl I. Vyd. 2.* Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 148 s. ISBN 978-80-87361-05-4.
25. Wright S.F., Upadhyaya A., 1996: Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Science*, 161: 575–586.
26. Zbíral et al., 2017: Determination of glomalin in agriculture and forest soils by near–infrared spectroscopy, *Plant Soil Environ.*, Vol. 63, 2017, No. 5: 226–230.
27. Zbíral J. a kol., 2011: Analýza půd III, JPP ÚKZÚZ, JPP ÚKZÚZ, postup č. 30910.1 Stanovení COX titrací po oxidaci chromsírovou směsí; postup č. 30980.2 Stanovení obsahu COX, CTOT, NTOT a glomalínu metodou NIRS.



Hodnocení vybraných parametrů půdní organické hmoty
v zemědělských půdách ČR za období 2014 - 2022

Autor	Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
Vydal	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Sekce zemědělských vstupů
Rok vydání	2023
Počet stran	47
Tisk:	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Hroznová 2, 603 00 Brno, tel.: 543 548 111 email: ukzuz@ukzuz.cz
ISBN	978-80-7401-234-1
Text neprošel jazykovou úpravou.	