

Česká republika–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**

Průběžná zpráva za roky 2014–2019

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

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

Obsah	strana
1 Úvod	3
2 Vlastní popis metodiky	3
3 Hodnocení parametrů organické hmoty v půdách ČR	7
3.1 Oxidovatelný uhlík	7
3.2 Glomalin	16
3.3 Korelace glomalinu a Cox	26
4 Závěr	29
5 Literární zdroje	31

1 Úvod

Uhlík je z pohledu hodnocení kvality půdy stejně důležitý jako dusík a ostatní přístupné živiny. V půdě se vyskytuje jak v anorganické formě reprezentované zejména karbonáty, 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 vlastností půdy. Oxidovatelný uhlík (C_{ox}) pak představuje jeden z mnoha indikátorů obsahu organické hmoty v půdě.

Organické hnojení je nezbytným předpokladem 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.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) sleduje úroveň obsahu organické hmoty v půdě v systému Agrochemického zkoušení zemědělských půd (AZZP), tj. celostátní plošné a pravidelné kontrole úrodnosti půdy.

2 Vlastní popis metodiky

2.1 Definice

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, které projdou přes 2 mm síto. Obsah organické hmoty 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 a 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 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, což jsou 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 patří 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 a Vlček, 2015).

2.2 Ukazatele obsahu organické hmoty

Organický uhlík v půdě se kvantifikuje pomocí parametrů Corg nebo 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. Nejedná se však o univerzální konstantu. Konverzní faktor může být ovlivněn např. množstvím a složením organické hmoty, stupněm dekompozice nebo množstvím jílových částic ve vzorku půdy. Univerzální použití faktoru 1,724 může zejména při výpočtu celkové zásoby C v půdě vést k chybnému a hrubému zkreslení výsledků.

2.3 Hodnocené parametry

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, exudátů, posklizňových zbytků, odumřelých mikroorganismů, dodaných organických hnojiv a dále humusové kyseliny a fulvokyseliny.

Dalším sledovaným parametrem je **glomalin**, což je stabilní sloučenina nerozpustná ve vodě, odolná k tepelné degradaci. Glomalin byl poprvé popsán Wright et al. 1996. Nespornou výhodou glomalinu je poměrně snadné stanovení, proto se nabízí jeho využití jako součást plošného rutinního hodnocení i v rámci AZZP.

Glomalin je glykoprotein produkováný arbuskulárními mykorhizickými houbami (AMF), které žijí uvnitř kořenů a v okolní půdě (Zbíral 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 a kol., 2015; Vlček et al. 2019;). Po odumření hyf AM hub a rozkladu vláken dochází k uvolnění glomalinu 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).

2.4 Metody stanovení Cox a glomalinu

Stanovení probíhá metodou NIR spektroskopie v blízké infračervené spektrální oblasti (1 000–2 500 nm) s reflektanční detekcí (Zbíral a kol. 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 screeningy a průzkumy typu AZZP, kde je provedení analýz referenčními metodami z finančních i časových důvodů nereálné. Výsledky glomalinu se uvádějí v mg.g^{-1} a výsledky Cox v %.

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

Rozšíření stanovení o parametry CTOC, NTOT, Q4/6 a poměr C:N ÚKZÚZ zavedl v roce 2019, v agendě AZZP se každoročně proměří 5 100 vzorků, které budou v následujících letech do hodnocení zahrnuty.

Analýzy všech vzorků byly provedeny výhradně v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ, která má osvědčení o akreditaci podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005.

2.5 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 Kruskal–Wallisovy jednofaktorové neparametrické analýzy rozptylu na obsahy analytů (Hendl 2006; Hintze 2015)
- zjišťování vzájemné závislosti sledovaných analytů pomocí korelačních metod (Meloun a Militký, 2002)
- ke kartografickému zhodnocení byl použit Geografický informační systém ArcGIS 10.5.1, aplikace Esri®ArcCatalog 10.5.17333; Esri®ArcMap 10.5.17333

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 a glomalin interpretovány podle způsobu zemědělského využití půdy (kultura), zrnitosti orných půd, hlavní půdní jednotky (HPJ), klimatického regionu a souvislostí s výměnnou půdní reakcí.

2.6 Základní informace a vzorkování

Agrochemické zkoušení zemědělských půd je pravidelné zjišťování stavu přístupných živin, půdní reakce a potřeby vápnění (Zákon č. 156/1998 Sb. o hnojivech, § 10 ve znění pozdějších předpisů). Od 60. let minulého století, kdy se AZPP provádí, je garantem ÚKZÚZ. V průběhu šestiletého cyklu se prozkouší na 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, z horizontu 0–30 cm (Smatanová 2018).

Plocha pro odběr jednoho průměrného vzorku na orné půdě činí v bramborářské a horské oblasti 7 ha, v řepařské a kukuřičné oblasti 10 ha. Hloubka vpichu odpovídá mocnosti orničního profilu (max. 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 20 000 vzorcích, které reprezentují 290 tis. ha zemědělské půdy, se od roku 2014 stanovuje Cox a glomalin. Tyto vzorky se vybírají jednotlivě podle kódu BPEJ tak, aby ve výběru byly zastoupeny půdy odlišných půdních typů i druhů a pokud možno i z 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 1,24–2,12 % na orných půdách (tab. 1). Průměr i medián za Českou republiku činí 1,55 % Cox.

Tab. 1: Přehled obsahu Cox na **orné půdě** v jednotlivých krajích a prozkoušená výměra

Kraj	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Hl. město Praha	1,59	1,46	0,92	2,73	105	2 060
Středočeský	1,57	1,49	0,33	4,90	2 901	40 511
Jihočeský	1,71	1,66	0,35	3,09	1 767	11 485
Plzeňský	1,54	1,52	0,35	3,48	1 508	12 726
Karlovarský	2,12	2,12	0,89	3,51	433	3 060
Ústecký	1,73	1,70	0,35	3,51	927	20 994
Liberecký	1,55	1,55	0,35	3,26	660	11 371
Královéhradecký	1,51	1,54	0,04	5,05	1 172	25 553
Pardubický	1,24	1,33	0,18	3,80	1 806	39 687
Vysočina	1,54	1,58	0,35	4,23	2 140	25 263
Jihomoravský	1,78	1,63	0,35	4,46	1 614	26 391
Olomoucký	1,57	1,56	0,70	4,80	1 504	28 837
Moravskoslezský	1,34	1,31	0,63	2,91	812	15 894
Zlínský	1,99	1,87	0,90	4,78	171	4 043
ČR orná půda	1,55	1,55	0,35	5,05	17 520	267 876

3.1.2 Vliv kultury na obsah Cox orných půd

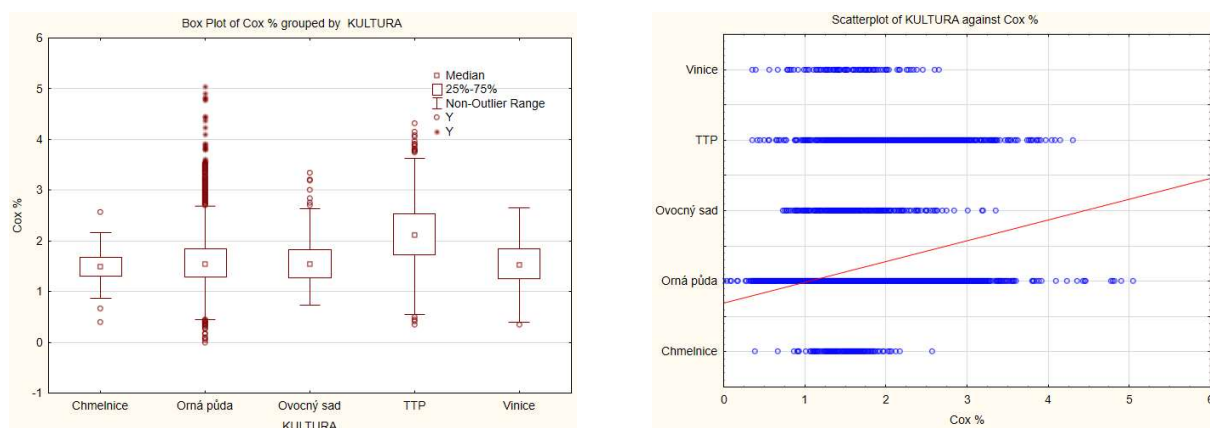
Kategorizací pěti základních kultur rozlišovaných v AZPP vyplývá (tab.2), že medián Cox se v celém souboru dat pohybuje v intervalu 1,52–2,13 %. Průměrný obsah Cox na orné půdě, která je zastoupena 17 520 vzorky, tj. (89 %) činí 1,55 %. Rozpětí obsahu Cox na orné půdě je od 0,33 % (mez stanovitelnosti) do 5,05 % (maximum).

Tab. 2: Deskriptivní charakteristika obsahu Cox podle kultur

Kultura	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	1,55	1,55	0,33	5,05	17 520	267 876
Chmelnice	1,50	1,49	0,39	2,57	210	513
Vinice	1,58	1,52	0,35	2,66	105	264
Ovocný sad	1,56	1,54	0,73	3,35	411	1 718
TTP	2,10	2,13	0,35	4,31	1 373	20 078
ČR zemědělská půda	1,59	1,57	0,35	5,05	19 818	290 450

K vyhodnocení vlivu kultury (Graf 1) na obsah Cox byla použita vícefaktorová analýza variance významnosti $\alpha 0,05$. Box Ploty souboru téměř 20 000 tisíc hodnot ukazují, že nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi ornou půdou, speciálními trvalými kulturami a TTP, které jsou významně odlišné managementem hospodaření a kumulací organické hmoty. Zejména v orných půdách s intenzivní kultivací probíhá rychleji mineralizace uhlíku a jeho sekvestrace je proto omezenější.

Graf 1: Analýza variance vlivu kultur na obsah Cox a Scatterplot rozpětí naměřených hodnot



3.1.3 Vliv zrnitosti na obsah Cox orných půd

Půdní struktura a s tím související propustnost půdy pro vodu a 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 zádrže vody a živin. V těžkých a jílovitých půdách materiály s vyšším poměrem C:N pomohou zlepšit půdní strukturu a propustnost pro vodu. Zádrž vody v půdě závisí na velikosti částic, protože voda drží 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).

Tab. 3: Četnost obsahu Cox **orných půd** podle zrnitosti

Procento zastoupení	Orné půdy celkem		Orné půdy lehké		Orné půdy střední		Orné půdy těžké	
	počet vzorků	% zastoupení	počet vzorků	% zastoupení	počet vzorků	% zastoupení	počet vzorků	% zastoupení
	17 520	100	1 895	10,82	12 690	72,43	2 935	16,75
Rozsah obsahu	vážený průměr %							
< 1,0	0,77		0,74		0,77		0,78	
1,0–2,0	1,50		1,59		1,48		1,55	
> 2,0	2,34		2,30		2,34		2,39	
OP souhrn	1,55		1,68b		1,50a		1,76b	

V souboru hodnocených dat je zastoupena orná půda nejvýznamněji, a to 17 520 vzorky. Z kategorizace výsledků dole půdních druhů je patrné, že většina vzorků se nachází v rozmezí 1–2 % Cox. Při hodnocení Cox podle zrnitosti byly shledány statisticky významné rozdíly mezi středními půdami proti lehkým a těžkým (v tab. 3 odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$) a jsou proto posuzovány individuálně. Méně početně jsou zastoupeny texturně lehké půdy s 1 895 vzorků, těžké půdy reprezentuje 2 935 vzorků. Středně těžké půdy s půdním druhem písčitohlinitých a hlinitých půd jsou nejvíce zastoupenou skupinou, a to 12 690 vzorky, z nichž 72,4 % vykazuje obsah mezi 1–2 % Cox. Jsou to půdy s dobrou biologickou činností, dobře provzdušněné a s poměrně intenzivní mineralizací.

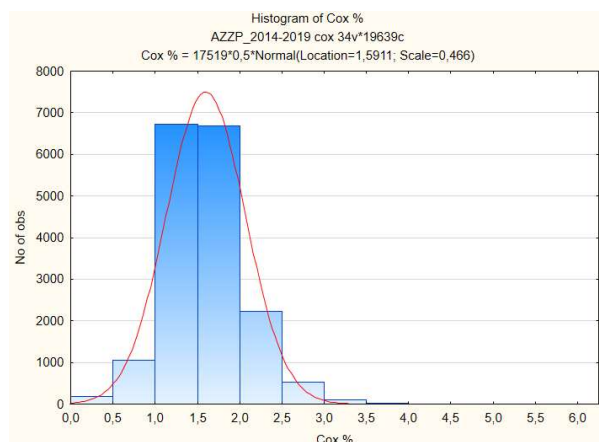
Histogramy znázorňují rozdíly ve variaci a distribuci dat a jejich normality ve vztahu k zrnitosti orných půd (Graf 2a). U těžkých půd je nejvyšší zastoupení vzorků v širším rozpětí 1,26–2,17 %, což může souviset se slabší mineralizací organických látek. U lehkých půd se toto rozpětí nachází mezi 1,66–1,98 % Cox. Střední půdy jsou nejpočetněji zastoupené a vykazují nejčtenější distribuci mezi 1,01–2,01 % Cox. Z tvaru histogramu zpracovaného pro všechny orné půdy (Graf 2a) souhrnně je evidentní normální rozdělení intervalu hodnot. Na rozdělení hodnot působí řada obecných příčin, z nichž žádná není dominantní. Tvar histogramu lehkých půd (Graf 2b) je spíše levostranný vychýlený, u těžkých půd (Graf 2d) oddělená druhá špička je dokladem širšího rozvrstvení normality.

Tab. 4: Deskriptivní charakteristika obsahu Cox podle zrnitosti

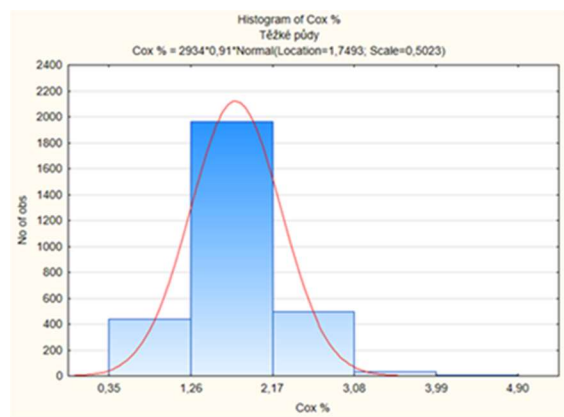
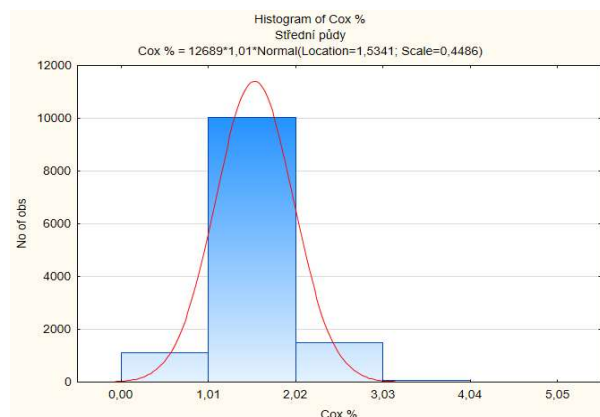
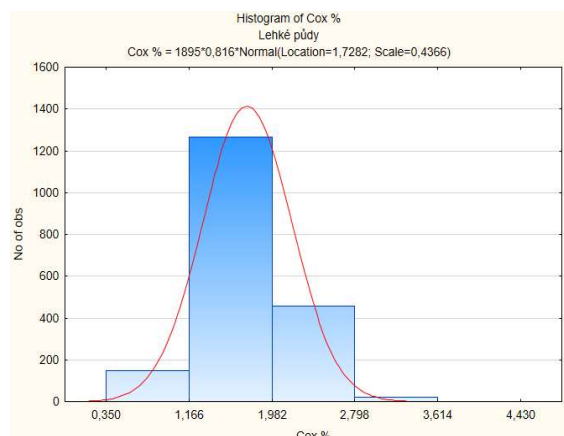
Kultura	Půdní druh	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků
Orná půda	Lehká	1,68	1,72	0,35	4,43	1 895
	Střední	1,50	1,50	0,35	5,05	12 690
	Těžká	1,76	1,69	0,35	4,90	2 935
Chmelnice	Lehká	1,55	1,55	0,35	5,05	32
	Střední	1,52	1,45	1,08	1,98	174
	Těžká	1,50	1,51	0,39	2,57	4
Vinice	Lehká	1,43	1,43	1,30	1,48	11
	Střední	1,50	1,49	0,39	2,57	88
	Těžká	1,47	1,59	0,99	2,31	6
Ovocný sad	Lehká	1,59	1,52	0,35	2,66	40
	Střední	2,10	1,53	1,17	2,28	282
	Těžká	1,58	1,52	0,35	2,66	89
Trvalý travní porost	Lehká	1,26	1,46	0,75	2,44	100
	Střední	1,53	1,50	0,73	3,35	936
	Těžká	1,69	1,81	0,92	3,20	337

Graf 2: Histogram distribuce dat obsahu Cox **orných půd** podle zrnitosti

2a) Orné půdy souhrn



2b) Orné půdy lehké



2c) Orné půdy střední

2d) Orné půdy těžké

3.1.4 Vliv HPJ na obsah Cox orných půd

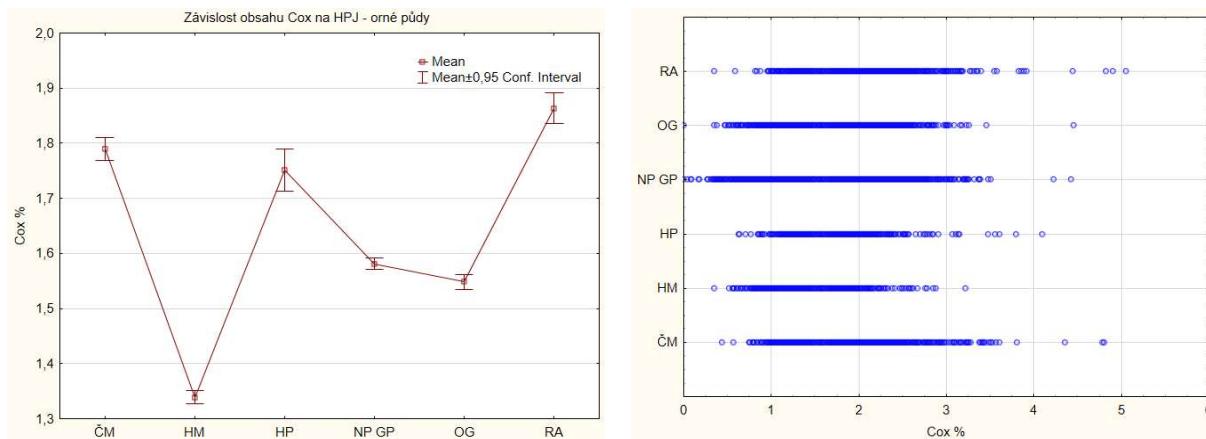
Pro další zhodnocení Cox byla použita kategorizace rozlišující hlavní půdní jednotky (HPJ). Obsah organické hmoty závisí především na ekologických, půdně genetických podmínkách stanoviště a rovněž intenzitě agrotechnických operací. Naše výsledky ukazují, že těžké půdy dosahují mírně vyšší obsah než lehké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

Vícefaktorovou analýzou rozptylu na hladině významnosti α 0,05 se prokázaly statisticky významné rozdíly obsahu Cox mezi všemi půdními jednotkami (Graf 3). Hnědé půdy, které jsou nejpočetněji zastoupenou skupinou se 6 122 vzorky jsou reprezentovány obsahem v rozmezí 1,47–1,84 % Cox. Nejnížší obsah Cox byl zjištěn u hnědozemí v rozmezí 1,29–1,42 %, naopak u černozemí byly zjištěny nejvyšší obsahy mezi 1,78–2,00 % Cox a nivních a glejových půdách 1,83–1,87 % Cox.

Tab. 6: Deskriptivní charakteristika Cox **orných půd** podle hlavní půdní jednotky

Hlavní půdní jednotka	Půdní druh	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků
Černozemě	Lehké	1,72	1,62	0,76	3,39	91
	Střední	1,78	1,67	0,44	4,80	1 557
	Těžká	2,00	1,93	0,57	4,78	411
Hnědozemě	Lehké	1,41	1,44	0,58	2,13	94
	Střední	1,29	1,29	0,35	3,22	2 137
	Těžká	1,42	1,33	0,70	2,58	232
Rendziny	Lehké	1,53	1,46	1,36	1,92	8
	Střední	1,65	1,63	0,71	4,10	172
	Těžká	1,75	1,78	0,63	3,80	408
Hnědé půdy	Lehké	1,70	1,75	0,35	4,43	160
	Střední	1,47	1,52	0,00	4,23	5 861
	Těžká	1,84	1,75	0,50	3,03	101
Oglejené půdy	Lehké	1,55	1,68	0,58	2,64	49
	Střední	1,44	1,44	0,00	3,46	2 330
	Těžká	1,63	1,63	0,35	4,46	1 382
Nivní a glejové půdy	Lehké	1,87	1,66	1,04	3,32	51
	Střední	1,83	1,71	0,35	5,05	761
	Těžká	1,88	1,91	0,35	4,90	458

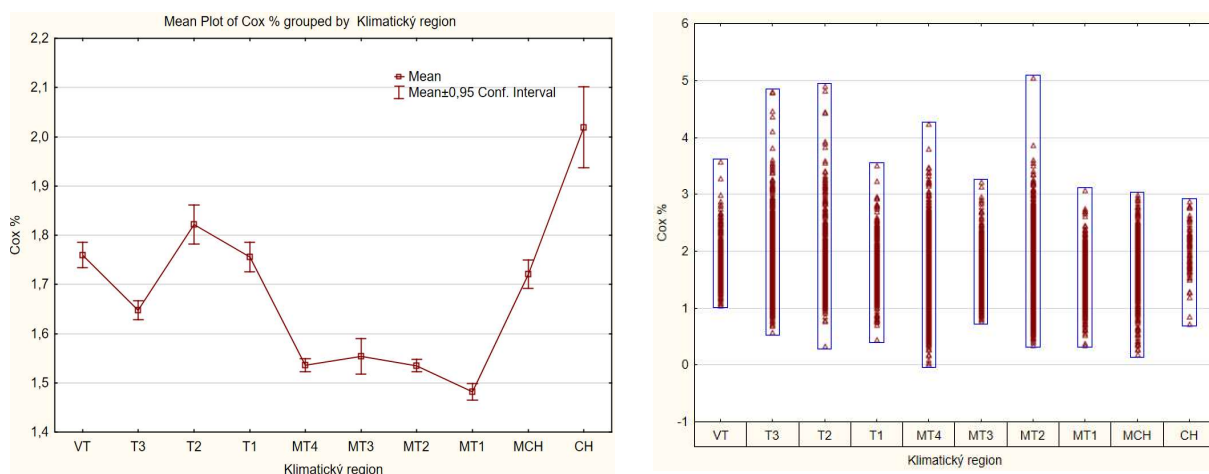
Graf 3: Analýza variance vlivu půdní jednotky na obsah Cox **orných** půd a Scatterplot



3.1.5 Vliv klimatického regionu na obsah Cox orných půd

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 a v prohřáté půdě probíhá mineralizace uhlíku rychleji. Sušší oblasti a suchý průběh roku mineralizaci uhlíku naopak zpomaluje (Pospíšilová et al. 2015). 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 4: Analýza variance vlivu klimatického regionu na obsah Cox **orných** půd a Scatterplot



Nejvyšší průměrné obsahy Cox (tab. 7) byly naměřeny ve (VT) velmi teplých regionech a T2 a T1, a to až 2,32 % Cox. Směrem k mírně teplým a sušším oblastem obsah klesá, přičemž

nejnižší průměrné obsahy byly zaznamenány v MT1 na těžkých orných půdách v rozmezí 1,43–1,49 % Cox. Od oblastí mírně chladných (MCH) po chladné (CH) obsah Cox dosáhl svého maxima, a to mezi 2,04–2,14 % Cox.

Vícefaktorovou analýzou rozptylu na hladině významnosti α 0,05 se prokázaly statisticky vysoce významné rozdíly obsahu Cox mezi teplým (T2, T3) klimatickým regionem a mírně teplými (MT) proti kontrastním velmi teplým (VT) a chladným (CH). Z grafu 4 jsou patrné statisticky signifikantní rozdíly a dále rozložení zjištěných hodnot v jednotlivých klimatických regionech.

Tab. 7: Deskriptivní charakteristika obsahu Cox **zemědělských půd** podle klimatického regionu

Klimatický region	Půdní druh	Vážený průměr (%)	Medián (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	Počet vzorků
VT–velmi teplý, suchý	Lehké	1,63	1,59	1,05	2,53	70
	Střední	1,81	1,71	1,07	3,57	521
	Těžká	1,86	1,90	1,31	2,75	84
T1–teplý, suchý	Lehké	1,72	1,70	0,76	2,93	34
	Střední	1,75	1,70	0,44	3,51	467
	Těžká	1,86	1,83	0,76	2,94	207
T2–teplý, mírně suchý	Lehké	1,61	1,54	0,95	4,43	110
	Střední	1,81	1,63	0,33	4,82	534
	Těžká	2,32	2,15	0,97	4,90	127
T3–teplý, mírně suchý	Lehké	1,76	1,70	0,92	3,10	144
	Střední	1,53	1,49	0,57	4,80	1 843
	Těžká	1,88	1,84	0,57	4,78	601
MT1–mírně teplý, suchý	Lehké	1,49	1,53	0,61	2,72	60
	Střední	1,47	1,49	0,35	3,07	1 269
	Těžká	1,46	1,39	0,72	2,30	137
MT2–mírně teplý, mírně vlhký	Lehké	1,67	1,76	0,35	3,07	493
	Střední	1,36	1,40	0,35	5,05	3 636
	Těžká	1,61	1,67	0,35	3,61	987
MT3–mírně teplý, vlhký, nížinný	Lehké	1,55	1,56	0,97	2,68	14
	Střední	1,49	1,40	0,76	3,22	451
	Těžká	1,79	1,70	0,81	2,91	145
MT4–mírně teplý, vlhký	Lehké	1,68	1,71	0,35	3,15	523
	Střední	1,42	1,49	0,00	4,23	3 465
	Těžká	1,64	1,59	0,35	3,80	693
MCH–mírně chladný, vlhký	Lehké	1,75	1,79	0,35	2,99	448
	Střední	1,59	1,70	0,18	2,99	542
	Těžká	2,01	1,88	1,31	2,44	11
CH–chladný, vlhký	Lehké	2,14	2,13	1,83	2,47	3
	Střední	2,04	2,08	0,72	2,88	93
	Těžká	–	–	–	–	–

3.1.6 Vliv pH na obsah Cox orných půd

Přítomnost a kvalita organické hmoty, její rozklad a bohatý výskyt půdních mikroorganismů poměrně úzce souvisí s výměnnou půdní reakcí. Aktivita půdních mikroorganismů je intenzivnější v neutrálních půdních podmínkách, a naopak omezenější je v kyselém pH pod 5,5 (McCauley et al. 2017). Organická hmota tlumí změny výměnné půdní reakce a schopnost dlouhodobě měnit pH půdy závisí na mnoha faktorech. Při rozkladu organické hmoty se uvolňují anionty a kationty, protože rostlinné zbytky obsahují více aniontů, na počátku dekompozice během několika prvních týdnů se pH půdy obvykle zvyšuje (Ehrmann et al. 2013).

Půdní mikroorganismy mineralizují rostlinný materiál na amoniak, který dočasně a mírně pH půdy zvyšuje. Amoniakální dusík se nitrifikuje na nitrátový, který může pH snižovat a pokud dojde k proplavení nitrátů v půdním profilu, pH může ještě více klesnout. Vliv dodané organické hmoty do půdy a změny pH půdy závisí na rychlosti, s jakou výše popsané procesy probíhají (Pospíšilová et al. 2015; Sotáková 1982).

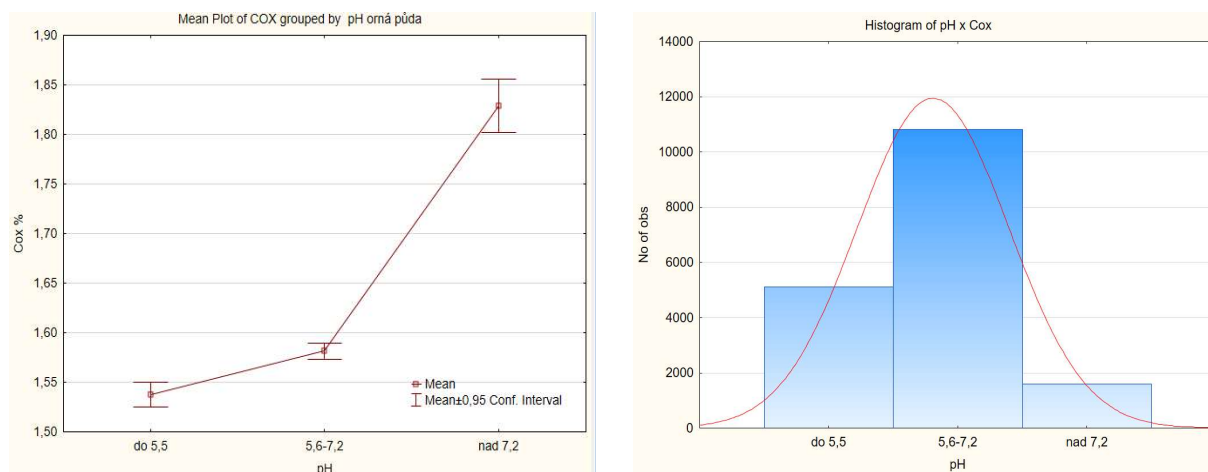
Při rozdělení našeho souboru do tří skupin podle pH < 5,5; 5,6–7,2; > 7,3 (tabulka 8) je zřejmý statisticky vysoce významný rozdíl na hladině α 0,05 v obsahu Cox v alkalických půdách pH > 7,3 (graf 5) proti neutrálním a slabě kyselým (pH 5,6–7,2) a kyselým půdám pod pH 5,5. Půdní reakce významně ovlivňuje obsah Cox, směrem k neutrálním a alkalickým půdám, což platí pro všechny kategorie zrnitosti. Více než 62 % orných půd se nachází v pásmu slabě kyselých a neutrálních půd.

V souboru výsledků orných půd nebyla zjištěna významnější korelace mezi aciditou půdy a obsahem Cox ($r = 0,217$; $r^2=0,0297$).

Tab. 8: Hodnocení vlivu obsahu Cox a výměnné půdní reakce **orných půd**

Kategorie výměnného pH	Orné půdy celkem		Orné půdy lehké		Orné půdy střední		Orné půdy těžké	
	Průměr	Zastoupení %	Průměr	Zastoupení %	Průměr	Zastoupení %	Průměr	Zastoupení %
< 5,5	1,54	28,9	1,73	45,0	1,47	29,0	1,67	21,7
5,6–7,2	1,50	61,8	1,72	50,1	1,53	62,3	1,73	65,4
> 7,3	1,83	9,1	1,79	5,0	1,79	8,8	1,99	12,9
počet vz.	–	17 520	–	1 895	–	12 690	–	2 935
medián Cox %	1,55	–	1,72	–	1,50	–	1,69	–

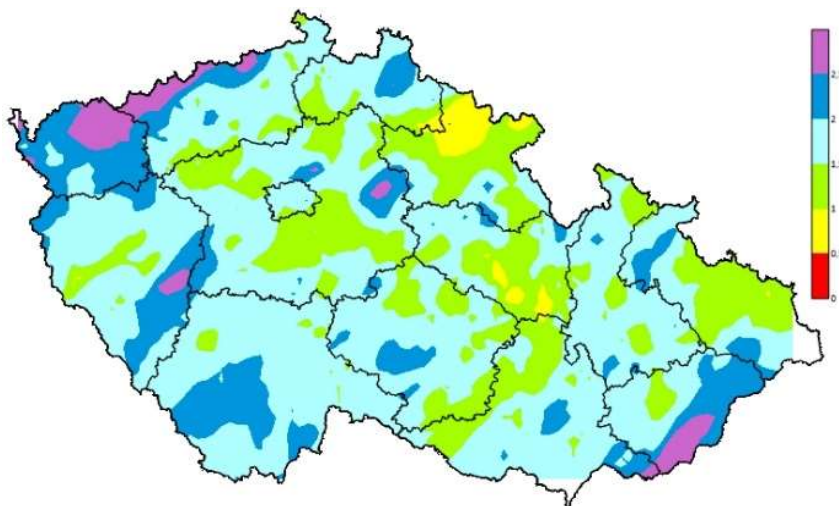
Graf 5: Analýza variance vlivu pH a Cox a histogram naměřených hodnot **orných půd**



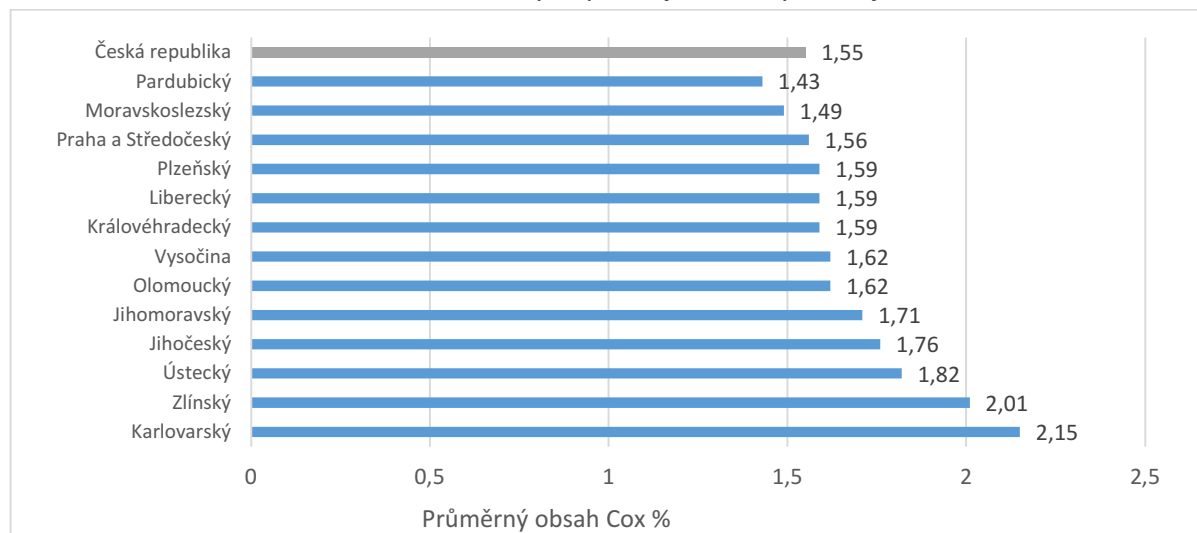
3.1.7 Kartografické zhodnocení obsahu Cox

Plošný screening umožňuje hodnotit obsah Cox všech územně správních celků až na úroveň okresů. Hodnocení mezi kraji ukazuje na širší rozpětí mezi 1,43–2,15 % na zemědělských půdách (graf 6). 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. V podhorských oblastech Moravskoslezského kraje, Vysočiny, Královéhradeckého a Východočeského kraje se nachází poměrně významné plochy s obsahem Cox mezi 0,5–1 %. Převaha zemědělských půd České republiky se nachází v intervalu obsahu 1–2 % Cox.

Obrázek 1: Zobrazení obsahu Cox **zemědělských půd** za období 2014–2019



Graf 6: Porovnání obsahu Cox zemědělských půd v jednotlivých krajích ČR



3.1.8 Klasifikace Cox zemědělských půd

Medián Cox na orné půdě dosahuje 1,55 %, pod travními porosty dosahuje hodnot 2,14 %, v ostatních kulturách jsou obsahy v úzkém rozmezí od 1,50–1,58 %. Bohatý kořenový systém pod travními porosty se významně podílí na tvorbě stabilních frakcí organické hmoty, která se zde hromadí. Bezorebné využívání půdy, které podporuje tvorbu drobtovité struktury půdy a vyšší kumulaci mikrobiální biomasy, než je tomu na intenzivně obdělávaných orných půdách (Rillig 2004).

Pro hodnocení organického uhlíku v půdě neexistují oficiální kritéria, pouze studiemi a dlouhodobými pokusy navrhovaná rozmezí. Použijeme-li pro zevrubnou kategorizaci předložených výsledků třístupňové hodnocení (Kubát a kol., 2008), pak převážná většina našich vzorků (72,9 %) zemědělských půd (tab. 9) se nachází v intervalu od 1–2 % C, u orných půd je to více než 77 %. Pro hodnocení organického uhlíku by byla podobná univerzální zjednodušená kritéria bez zohlednění vztahu s dalšími parametry agrochemických vlastností a půdně klimatického regionu značně zkreslující.

Tab. 9: Hodnocení obsahu Cox zemědělských a orných půd za období 2014–2019

Kategorie obsahu % Cox	Kultura	Počet vzorků	Procento zastoupení (%)
< 1,0	zemědělská půda	1 261	6,70
	orná půda	1 176	6,71
1,0–2,0	zemědělská půda	13 720	72,91
	orná půda	13 406	77,12
> 2,0	zemědělská půda	3 837	20,39
	orná půda	2 800	16,16

3.2 Glomalin

3.2.1 Hodnocení obsahu glomalinu orných půd v krajích ČR

Z průměrných výsledků obsahu glomalinu (tab. 10) hodnocených ve všech krajích na orné půdě je patrné poměrně široké rozpětí mezi 2,01–3,92 mg.g⁻¹. Průměr za Českou republiku činí 2,73 mg.g⁻¹.

Tab. 10: Přehled obsahu glomalinu na **orné půdě** v jednotlivých krajích a prozkoušená výměra

Kraj	Vážený průměr (mg.g ⁻¹)	Medián (mg.g ⁻¹)	Minimum (mg.g ⁻¹)	Maximum (mg.g ⁻¹)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Středočeský	3,05	2,80	1,00	10,30	2 957	41 158
Jihočeský	2,81	2,76	1,00	6,55	1 778	11 510
Plzeňský	2,32	2,43	1,00	5,8	1 511	12 726
Karlovarský	2,53	2,46	1,00	4,54	433	3 060
Ústecký	3,92	3,64	1,00	11,43	932	20 994
Liberecký	2,88	2,80	1,00	6,07	660	11 371
Královéhradecký	2,54	2,33	1,00	8,18	1 183	25 576
Pardubický	2,49	2,51	1,00	7,29	1 915	39 703
Vysočina	2,38	2,15	1,00	5,08	2 143	25 270
Jihomoravský	3,16	2,71	1,00	9,66	1 656	26 418
Olomoucký	2,36	2,19	1,00	16,41	1 505	28 847
Moravskoslezský	2,01	1,96	0,35	3,87	812	15894
Zlínský	2,25	1,96	1,00	5,89	172	4 043
Česká republika	2,73	2,52	1,00	16,41	17 762	268 630

3.2.2 Vliv kultury na obsah glomalinu orných půd

Vliv zemědělské kultury na obsah glomalinu má statisticky průkazný vliv (graf 7) v následujícím pořadí chmelnice > vinice > TTP > sady > orná půda. Mezi vinicemi, sady a TTP rozdíly v obsahu glomalinu nejsou statisticky průkazné.

Glomalin je poměrně značnou zásobárnou půdního uhlíku a dusíku, řada autorů uvádí rozmezí od 28 do 45 % C (Nichols et Wright, 2004; Rillig 2004; Vlček et Pohanka 2019; Zbiral 2017). Vyšší obsah zjišťujeme v půdách kultur s omezenou agrotechnikou půd jako jsou sady a vinice. To je v souladu s výsledky Gařazka et al. 2017, která uvádí, že faktorem ovlivňujícím frakce arbuskulárních mykorhizických hub je složení a množství produkováných kořenových zbytků a exudátů podléhajících mikrobiálnímu rozkladu. Potvrzuje se tím silná pozitivní závislost mezi obsahem glomalinu a minimalizačními agrotechnickými postupy. Trvalé travní

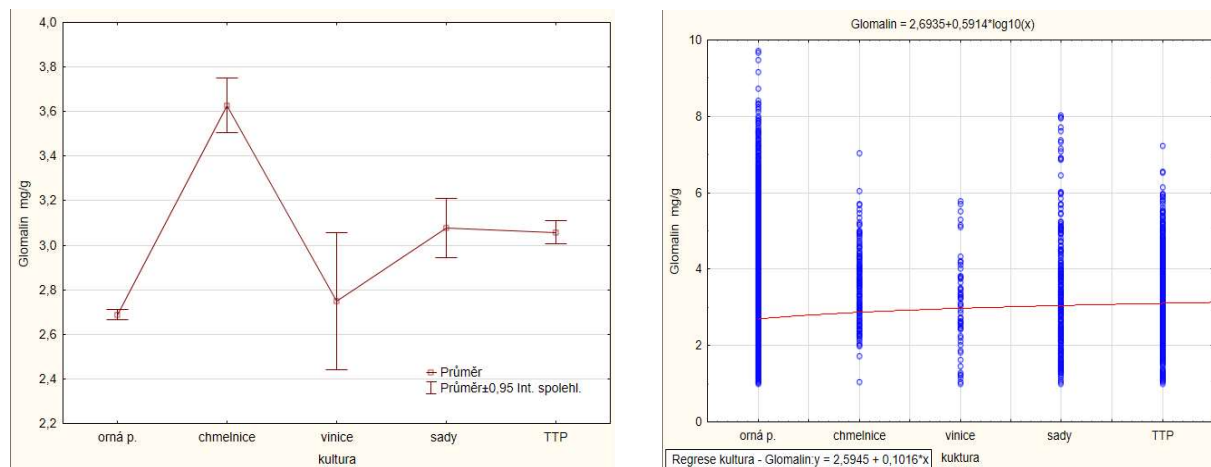
porosty zastoupené 1 375 vzorky dosáhly v našem hodnoceném souboru v průměru 2,96 mg.g⁻¹.

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, rozrušuje půdní škraloup a provzdušňuje ale mísí ustálené půdní vrstvy čímž snižuje diverzitu půdního prostředí, které je také úzce spojeno s diverzitou mikroorganismů (Wright et Upadhyaya, 1996).

Tab.11: Deskriptivní charakteristika obsahu glomalinu **zemědělských kultur**

Kultura	Vážený průměr (mg.g ⁻¹)	Medián (mg.g ⁻¹)	Minimum (mg.g ⁻¹)	Maximum (mg.g ⁻¹)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	2,73	2,52	1,00	5,8	17 762	268 630
Chmelnice	3,59	3,53	1,05	7,02	210	513
Vinice	3,21	3,34	1,00	6,13	105	264
Ovocný sad	2,84	2,89	1,00	8,03	412	1 720
TTP	2,96	2,96	1,00	10,95	1 375	20 125
ČR zemědělská půda	2,74	2,57	1,00	16,41	19 851	291 152

Graf 7: Analýza variance vlivu kultury na obsah glomalinu a Scatterplot naměřených hodnot



3.2.3 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. Testování rozdílů zrnitosti, při němž se se zmenšující se velikostí částic se zvětšuje povrchová plocha a vzájemná přitažlivost, vykazuje u lehkých půd největší rozpětí naměřených hodnot. Vážený průměr obsahu glomalinu u lehkých orných půd činí 2,82 mg.g⁻¹ a je reprezentován 1 911 vzorky.

Pro orné středně těžké půdy, zastoupené 12 853 vzorky je charakteristické nejužší rozpětí naměřených hodnot, vážený průměr činí 2,66 mg.g⁻¹.

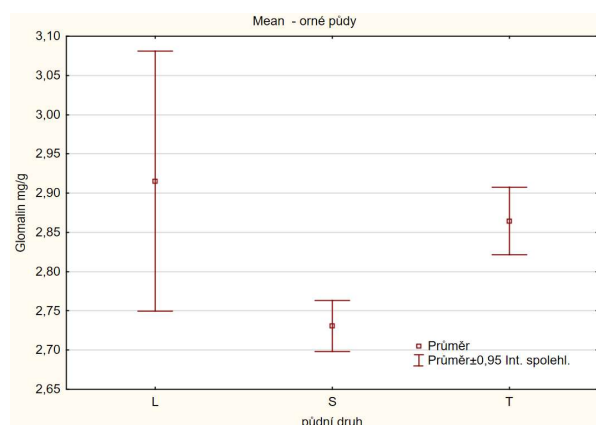
Pro těžké půdy je charakteristická horší propustnost vody a vzduchu a vyšší podíl jílovitých částic. Těžké půdy se vyznačují vyšším obsahem glomalinu u chmelnic, vinic, sadů, TTP oproti ostatním půdním druhům (tab. 12).

Tab. 12: Deskriptivní charakteristika obsahu glomalinu **zemědělských půd** podle zrnitosti

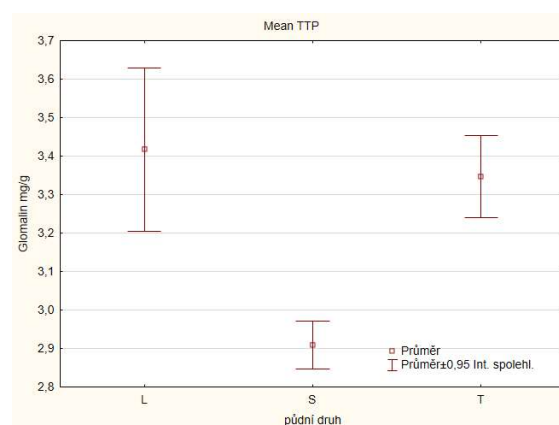
Kultura	Půdní druh	Vážený průměr (mg.g ⁻¹)	Medián (mg.g ⁻¹)	Minimum (mg.g ⁻¹)	Maximum (mg.g ⁻¹)	Počet vzorků	Výměra (ha)
Orná půda	Lehké	2,82	2,74	1,00	5,8	1 911	22 022
	Střední	2,66	2,46	1,00	11,43	12 853	203 393
	Těžká	2,72	2,65	1,00	16,41	2 998	43 201
Chmelnice	Lehké	3,79	3,69	2,25	6,04	32	66
	Střední	3,57	3,52	1,05	7,02	174	438
	Těžká	3,17	3,18	2,62	4,07	4	9
Vinice	Lehké	3,65	3,34	2,46	6,13	11	13
	Střední	3,19	3,30	1,00	6,11	88	243
	Těžká	5,22	3,93	1,63	5,70	6	9
Ovocný sad	Lehké	2,22	2,71	1,00	5,45	41	174
	Střední	2,77	2,77	1,00	6,01	282	1 171
	Těžká	3,16	3,46	1,00	8,03	89	375
Trvalý travní porost	Lehké	2,73	2,85	1,00	5,60	101	1 557
	Střední	2,68	2,86	1,00	6,13	937	15 678
	Těžká	3,98	3,25	1,00	10,95	337	2 889

Graf 8: Analýza variance vlivu půdního druhu na obsah glomalinu **orných půd a TTP**

8b) Orné půdy



8b) TTP



Vícefaktorovou analýzou rozptylu na hladině významnosti α 0,05 se prokázaly statisticky průkazné rozdíly obsahu glomalinu mezi všemi třemi půdními druhy (Graf 8b) při hodnocení trvalých travních porostů. U orných půd (Graf 8a) se nepotvrdil statisticky průkazný rozdíl mezi lehkými a těžkými půdami. Vizualizace hustoty rozdělení pomocí histogramu u lehkých půd (Graf 9a) znázorňuje normální rozdělení s maximem hodnot v intervalu 2–4 mg.g⁻¹. Střední

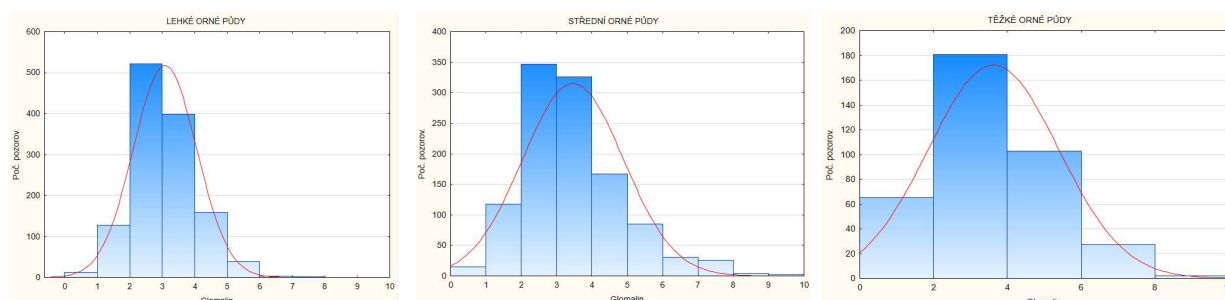
půdy (Graf 9b) vykazují spíše pravostranné rozdělení dat a většinu výsledků rovněž v intervalu 2–4 mg.g⁻¹. Histogram zobrazuje datový soubor glomalinu těžkých půd jako normálně rozdělený (Graf 9c), maximum hodnot se ovšem nachází mezi 2–6 mg.g⁻¹.

Graf 9: Histogram distribuce dat obsahu glomalinu **orných půd** podle zrnitosti

9a) Lehké půdy

9b) Střední půdy

9c) Těžké půdy

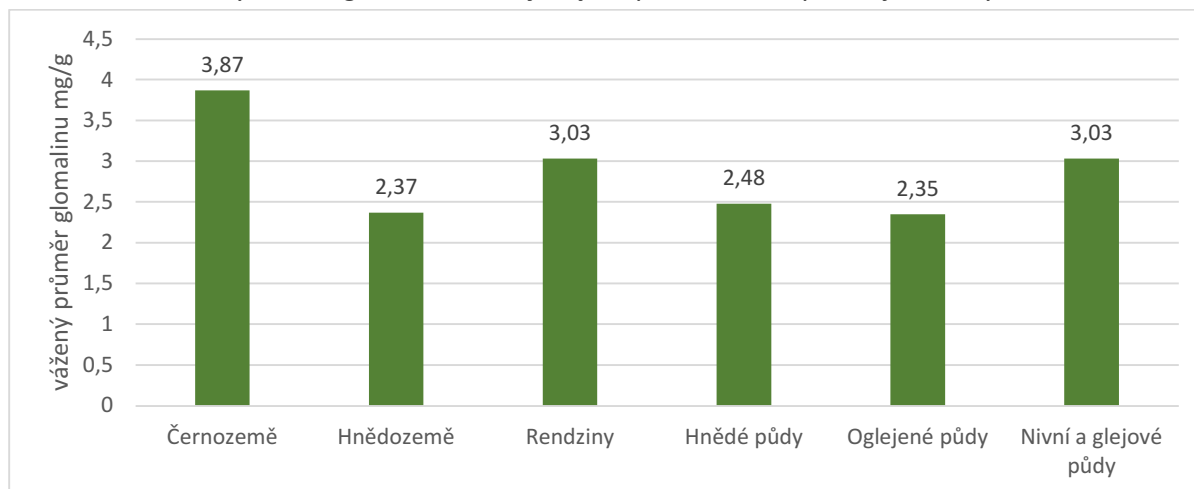


3.2.4 Vliv HPJ na obsah glomalinu orných půd

Nejvyšší obsahy glomalinu vykazovaly černozemě v průměru 3,87 mg.g⁻¹. Hnědozemě, hnědé půdy a oglejené půdy nivní, glejové půdy vykazovaly nižší obsahy v průměrném rozpětí 2,37–2,35 mg.g⁻¹ bez ohledu na půdní druh (graf 10). Deskriptivní charakteristiku hodnocení glomalinu podle HPJ orných půd prezentuje tabulka 13.

Tab. 13: Deskriptivní charakteristika glomalinu **orných půd** podle hlavní půdní jednotky

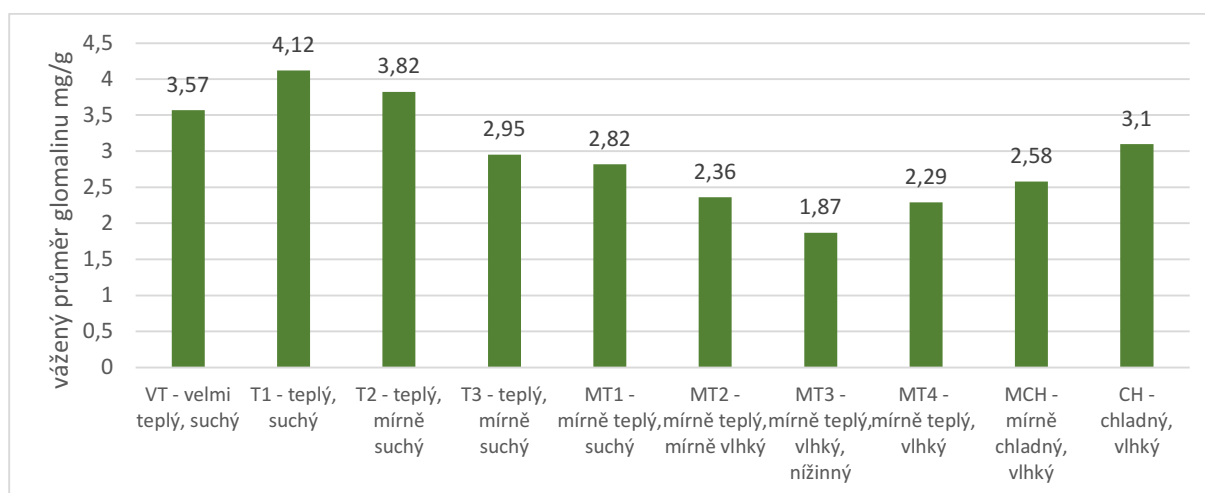
Hlavní půdní jednotka	Půdní druh	Vážený průměr (mg.g ⁻¹)	Medián (mg.g ⁻¹)	Minimum (mg.g ⁻¹)	Maximum (mg.g ⁻¹)	Počet vzorků
Černozemě	Lehké	3,38	2,91	1,51	7,60	91
	Střední	3,79	3,33	1,00	11,43	1 563
	Těžká	4,16	4,07	1,00	16,41	414
Hnědozemě	Lehké	2,85	2,84	1,00	4,95	94
	Střední	2,38	2,34	1,00	6,72	2 138
	Těžká	2,12	2,22	1,00	4,11	232
Rendziny	Lehké	2,99	3,07	1,00	3,62	8
	Střední	3,20	3,12	1,00	8,20	176
	Těžká	2,97	2,86	1,00	7,13	410
Hnědé půdy	Lehké	2,89	2,72	1,00	5,8	1 612
	Střední	2,38	2,32	1,00	7,44	5 872
	Těžká	2,63	2,60	1,00	6,60	102
Oglejené půdy	Lehké	2,78	2,72	1,00	4,77	50
	Střední	2,30	2,34	1,00	7,28	2 330
	Těžká	2,44	2,54	1,00	6,55	1 382
Nivní a glejové půdy	Lehké	3,25	2,71	1,00	8,45	54
	Střední	3,14	2,75	1,00	9,46	766
	Těžká	2,84	2,61	1,00	9,72	458

Graf 10: Průměrný obsah glomalinu **orných půd** podle hlavní půdní jednotky


3.2.5 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 nízký obsah se nachází v teplých a vlhkých oblastech. 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). Teplota a souhrn klimatických podmínek stanoviště jsou významným parametrem určujícím biologickou aktivitu půdy, z toho důvodu je i hodnocení glomalinu v klimatických regionech napříč republikou součástí předkládané zprávy (graf 11).

Nejvyšší průměrné obsahy glomalinu byly naměřeny ve velmi teplém regionu (T1) 4,12 mg.g⁻¹ a teplých regionech (T2–VT: 3,82–3,57 mg.g⁻¹). V mírně teplých a sušších regionech se obsah glomalinu snižoval (MT3–1,87 mg.g⁻¹) a obdobně jako u obsahu Cox směrem k chladným a vlhkým regionům hodnoty opět mírně vzrůstaly (CH–3,10 mg.g⁻¹).

Graf 11: Vliv klimatického regionu na průměrný obsah glomalinu **orných půd**


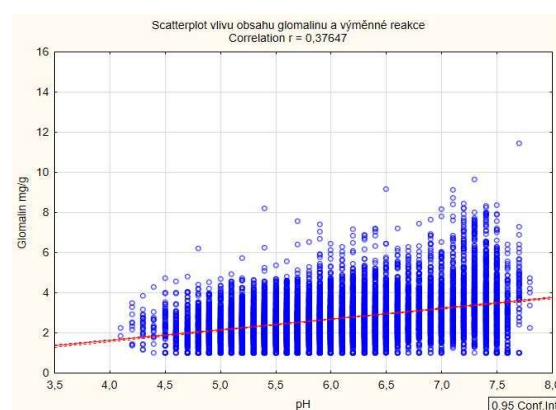
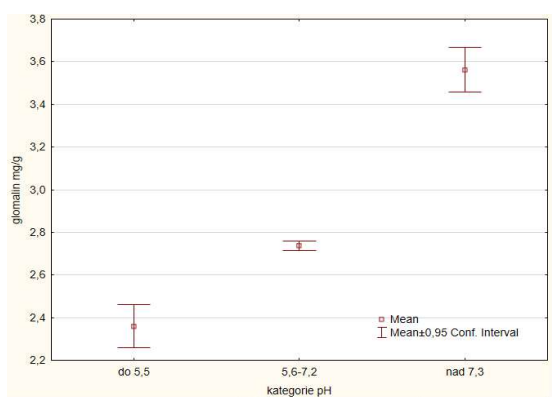
Tab. 14: Deskriptivní charakteristika obsahu glomalinu **orných půd** dle klimatického regionu

Klimatický region	Půdní druh	Vážený průměr (mg.g ⁻¹)	Medián (mg.g ⁻¹)	Minimum (mg.g ⁻¹)	Maximum (mg.g ⁻¹)	Počet vzorků
VT–velmi teplý, suchý	Lehké	3,10	2,63	1,51	6,70	70
	Střední	3,68	3,14	1,00	9,66	521
	Těžká	3,19	2,92	1,28	5,70	84
T1–teplý, suchý	Lehké	3,49	3,42	2,35	5,27	34
	Střední	4,16	3,88	1,00	11,43	467
	Těžká	4,09	4,09	1,00	6,29	207
T2–teplý, mírně suchý	Lehké	3,57	3,39	1,00	10,30	114
	Střední	3,64	3,08	1,00	9,46	543
	Těžká	4,76	4,67	1,00	9,72	129
T3–teplý, mírně suchý	Lehké	3,09	2,94	1,20	6,95	144
	Střední	2,84	2,67	1,00	8,37	1 851
	Těžká	3,23	2,93	1,00	16,41	605
MT1–mírně teplý, suchý	Lehké	3,00	2,99	1,00	5,52	60
	Střední	2,81	2,74	1,00	6,00	1 270
	Těžká	2,83	2,58	1,00	5,35	137
MT2–mírně teplý, mírně vlhký	Lehké	2,64	2,64	1,00	6,09	498
	Střední	2,33	2,35	1,00	8,21	3 642
	Těžká	2,38	2,57	1,00	5,85	987
MT3–mírně teplý, vlhký, nížinný	Lehké	2,29	2,03	1,29	3,15	14
	Střední	1,84	1,76	1,00	3,77	451
	Těžká	1,92	1,81	1,00	3,97	145
MT4–mírně teplý, vlhký	Lehké	2,74	2,77	1,00	5,48	523
	Střední	2,21	2,22	1,00	5,59	3 468
	Těžká	2,51	2,52	1,00	6,55	693
MCH–mírně chladný, vlhký	Lehké	3,08	2,58	1,00	5,80	449
	Střední	2,29	2,24	1,00	4,74	542
	Těžká	2,59	2,78	1,46	3,93	11
CH–chladný, vlhký	Lehké	2,99	2,98	2,43	4,16	3
	Střední	3,10	3,23	1,49	4,84	93
	Těžká	–	–	–	–	

3.2.6 Vliv pH na obsah glomalinu orných půd

Podobně jako oxidovatelný uhlík Cox i obsah glomalinu můžeme hodnotit z pohledu půdní výměnné reakce. Ve zkoumaném souboru orných půd nebyla zjištěna příliš těsná závislost mezi výměnnou reakcí půdy a glomalinem ($r = 0,376$). Analýzou variance na hladině $\alpha 0,05$ se prokázaly statisticky významné rozdíly mezi kyselými půdami ($\text{pH} < 5,5$), neutrálními ($\text{pH} 5,6\text{--}7,2$) a alkalickými ($\text{pH} > 7,3$). V alkalických půdách $\text{pH} > 7,3$ (graf 12) se projeví průkazně vyšší hodnoty, což také platí pro všechny tři zrnitostní kategorie od lehkých až po těžké půdy (tab. 15). Projevuje se tak souvislost s rostoucím obsahem jílových částic na půdní strukturu u středních a těžkých půd, vyšší schopností poutání vody a celkově odlišnými fyzikálními vlastnostmi půdy a jejich vazbami na organickou složku půdy. Můžeme předpokládat, že čím je organická hmota stabilnější, tím má vyšší schopnost dlouhodobě zabraňovat vyplavování vápníku a následně bránit poklesu pH půdy.

Graf 12: Analýza variance vlivu pH a glomalinu a Scatterplot rozpětí naměřených hodnot orných půd



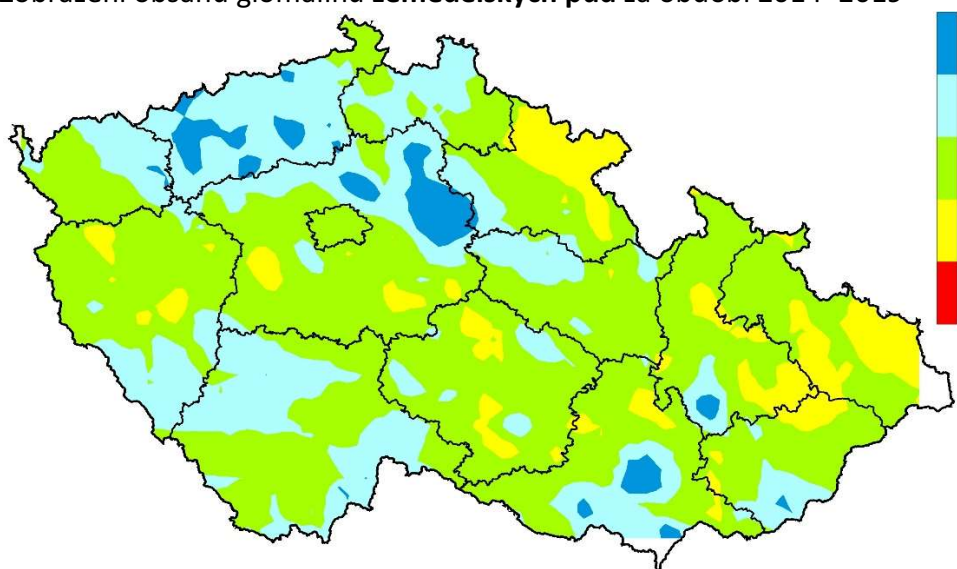
Tab. 15: Hodnocení vlivu obsahu glomalinu a výměnné půdní reakce na **orné půdě**

Kategorie výměnného pH	Orné půdy celkem		Orné půdy lehké		Orné půdy střední		Orné půdy těžké	
	Vážený průměr %	Zastoupení %	Vážený průměr %	Zastoupení %	Vážený průměr %	Zastoupení %	Vážený průměr %	Zastoupení %
< 5,5	2,37	29,2	2,78	29,2	2,27	29,2	2,44	29,2
5,6–7,2	2,72	61,3	2,97	61,3	2,66	61,3	2,86	61,3
>7,3	3,48	9,5	3,44	9,5	3,45	9,5	3,61	9,5
počet vz.	–	17 762		1 911		12 853		2 998
medián mg.g ⁻¹	2,52		2,92		2,65		3,00	

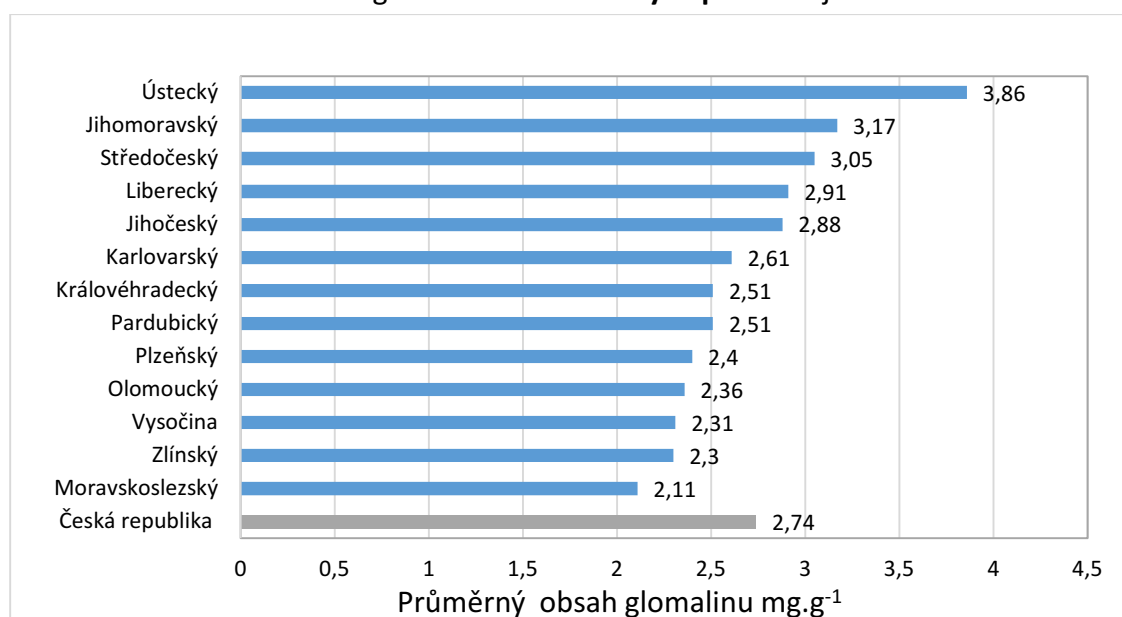
3.2.7 Kartografické zhodnocení obsahu glomalinu

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⁻¹ pokrývají většinu území. Území nad 4 % 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 2,11 do 3,86 mg.g⁻¹ (graf 13).

Obrázek 2: Zobrazení obsahu glomalinu **zemědělských půd** za období 2014–2019



Graf 13: Hodnocení obsahu glomalinu **zemědělských půd** v krajích ČR



3.2.8 Klasifikace glomalinu zemědělských půd

Medián glomalinu na orné půdě bez ohledu na půdní druh činí $2,52 \text{ mg.g}^{-1}$. U TTP dosahuje medián $2,96 \text{ mg.g}^{-1}$, v ostatních kulturách leží mediány v poměrně širokém rozpětí, sady $2,89 \text{ mg.g}^{-1}$, vinice $3,24 \text{ mg.g}^{-1}$, chmelnice $3,53 \text{ mg.g}^{-1}$. U 61,1 % zemědělských půd se nachází obsah glomalinu mezi $2\text{--}4 \text{ mg.g}^{-1}$; 24,1 % má obsah pod 2 mg.g^{-1} a 14,7 % nad 4 mg.g^{-1} (tab. 16).

Tab. 16: Hodnocení obsahu glomalinu **zemědělských a orných půd**

Kategorie obsahu glomalinu (mg.g^{-1})	Kultura	Počet vzorků	Procento zastoupení (%)	Vážený průměr (mg.g^{-1})
< 2,0	zemědělská půda	4 736	24,1	1,59
	orná půda	4 292	24,4	1,62
2 < 4,0	zemědělská půda	11 995	61,1	2,79
	orná půda	11 686	66,5	2,77
> 4,0	zemědělská půda	2 888	14,7	4,96
	orná půda	1 592	9,1	5,01

3.3 Korelace glomalinu a Cox

Pro hodnocení vztahů a souvislostí mezi dvěma veličinami, obsahem Cox a glomalinu byla použita korelační analýza dat, jejímž cílem je ověřit a kvantifikovat tento vztah (Meloun a Militký, 2002).

Tab. 17: Korelace glomalinu a Cox **zemědělských půd**

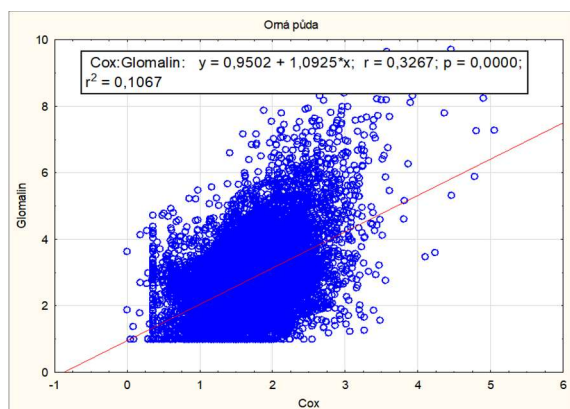
Kultura	Počet vzorků	Korelační koeficient (r)
orná půda	17 520	0,326
chmelnice	210	0,582
vinice	105	0,711
sady	411	0,632
trvalé travní porosty	1 373	0,641

Databáze téměř 20 tisíc pořízených výsledků umožňuje zkoumat vztah veličin Cox a glomalinu. Hodnota korelačního koeficientu ukazuje, jak silný je vzájemný vztah obou veličin u jednotlivých kultur. Na orné půdě zastoupené nejvyšším počtem vzorků dosahuje korelační koeficient $r = 0,326$, u ostatních kultur byla zjištěna těsnější korelace (tab. 16), zejména u vinic a sadů, zde je ale třeba zohlednit rozsah výběrového souboru, popřípadě odlehlé hodnoty, které ovlivňují výslednou hodnotu korelačního koeficientu - r. Souvislost spojených veličin glomalinu a Cox je vykreslena do bodových grafů (graf 15), které ukazují těsnost vzájemného vztahu. Pomineme-li odlehlé body, je možno konstatovat, že zobrazené body porovnávající

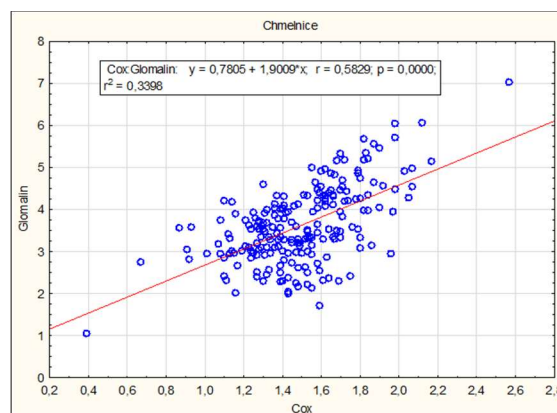
oba parametry u vinic a TTP spolu poměrně těsně korelují, i když nemají přesně lineární vztah. Z toho plyne, že paralelní stanovení obou parametrů je opodstatněné a každý z nich svým specifickým způsobem dokumentuje rozdílnost kvality organické hmoty v daných podmínkách.

Graf 14: Bodový graf závislosti obsahu glomalinu a Cox znázorněno podle kultur

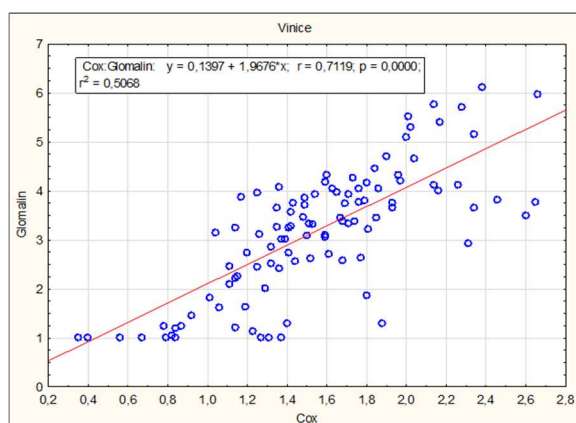
14a) Orné půdy



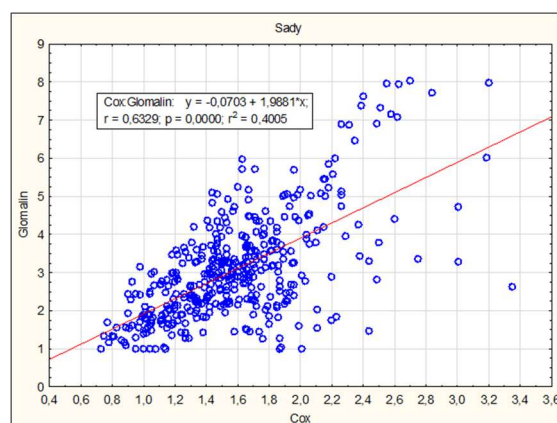
14b) Chmelnice



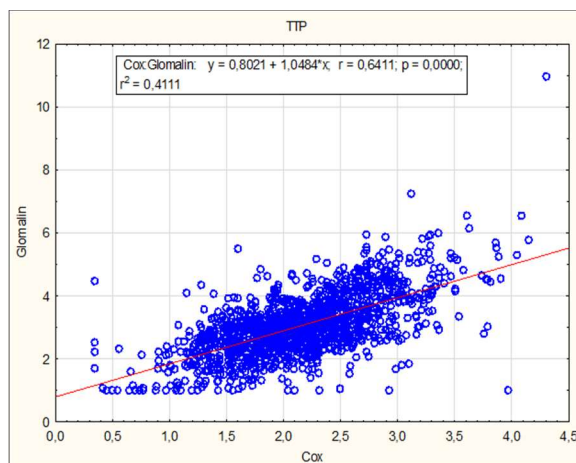
14c) Vinice



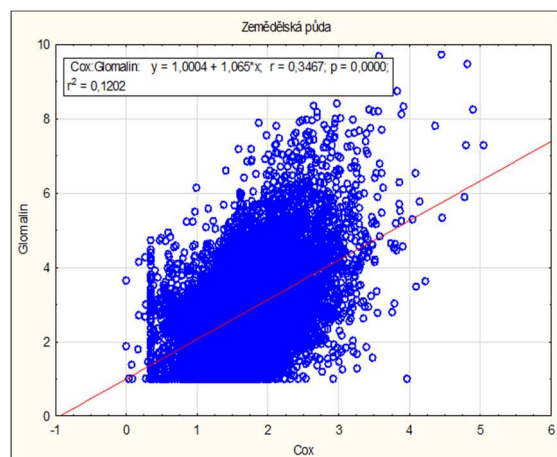
14b) Sady



14e) TTP



14 f) Zemědělská půda



4 Závěry

Nedestruktivní stanovení organické hmoty ve vzorcích půdy hodnocených v rámci pravidelné kontroly úrodnosti půdy (AZZP) rozšiřuje informaci o jejím stavu ve vzorkovaných lokalitách. Hladinu hodnocených parametrů ovlivňuje řada faktorů, jejichž široké rozpětí mezi minimálními a maximálními hodnotami ukazuje na značnou diverzitu půdních a klimatických podmínek v rámci České republiky a jejich vzájemné působení je obtížné zevšeobecnit. Je zřejmé, že výsledky hodnocených parametrů organické hmoty jsou místně specifické a jsou ovlivňovány složitým komplexem faktorů včetně agrotechniky a způsobu hospodaření.

Dostupné výsledky obsahu půdní organické hmoty by měly být v praxi na konkrétním pozemku 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 1,55 %, rozpětí v ČR je 1,24–2,12 %; nejnižší obsah je v Pardubickém kraji 1,24 %, nejvyšší ve Zlínském 1,99 % a Karlovarském 2,12 %.

Glomalin: průměrný obsah na orné půdě je 2,73 mg.g⁻¹, rozpětí v ČR je 2,01–3,92 mg.g⁻¹; nejnižší obsah je v Moravskoslezském kraji 2,01 mg.g⁻¹, nejvyšší v Ústeckém kraji 3,92 mg.g⁻¹;

- **Vliv kultury**

Cox: statisticky významný rozdíl mezi ornou půdou (1,55 %) a speciálními trvalými kulturami (1,5–1,58 %) a TTP (2,10 %) se nepotvrdil;

Glomalin: statisticky významný rozdíl je mezi ornou půdou (2,73 mg.g⁻¹), chmelnicemi (3,59 mg.g⁻¹), sady (2,84 mg.g⁻¹) a TTP (2,96 mg.g⁻¹);

- **Vliv zrnitosti**

Cox: 76 % orných půd leží v rozmezí 1–2 Cox %. Orné půdy se středním druhem půdy jsou nejmasověji zastoupené 72 % vzorků, jejich vážený průměr dosahuje 1,55 %; lehkých 1,68 %, středních 1,5 % a těžkých půd 1,76 %;

Glomalin: mezi půdními druhy orných půd jsou statisticky průkazné rozdíly; průměr lehkých půd činí 2,82 mg.g⁻¹, středních půd 2,66 mg.g⁻¹, těžké půdy dosáhly v průměru 2,96 mg.g⁻¹;

- **Vliv HPI**

Cox: těžké půdy vykazují vyšší obsah než půdy lehké stejného typu; statisticky významné rozdíly jsou mezi všemi půdními jednotkami; nejnižší obsah vykazují hnědozemě mezi 1,29–1,42 %, následují černozemě 1,72–2,00 % a nivní a glejové půdy 1,83–1,88 %;

Glomalin: těžké černozemě vykazují v průměru nejvyšší obsahu 4,16 mg.g⁻¹; nejpočetněji zastoupená skupina lehkých hnědých půd dosahuje v průměru 2,38–4,16 mg.g⁻¹;

- **Vliv klimatického regionu**

Cox: statisticky vysoce významné jsou rozdíly mezi teplými T1 - T3 a mírně teplými MT1-MT3 regiony a oproti mírně teplým MCH a chladným CH;

Glomalin: nejvyšší průměrné obsahy byly v teplém T1 regionu 4,12 mg.g⁻¹, nejnižší v mírně teplém regionu MT3 (1,87 mg.g⁻¹), směrem k chladným a vlhkým regionům hodnoty glomalínu opět mírně stoupaly (CH 3,10 mg.g⁻¹);

- **Vliv výměnné půdní reakce**

Cox: zjištěny byly statisticky průkazně významné rozdíly alkalických půd $\text{pH} > 7,3$ proti neutrálním a kyselým půdám; neprokázala se významná závislost mezi pH a obsahem Cox ($r=0,217$);

Glomalin: nalezeny byly statisticky významné rozdíly mezi kyselými půdami a neutrálními proti alkalickým půdám; nebyla zjištěna těsná závislost mezi výměnnou reakcí půdy a glomalinem ($r = 0,376$);

- **Korelace glomalinu a Cox**

Korelační koeficient orných půd činí $r = 0,326$; těsnější závislosti se projevily u chmelnic $r = 0,582$; sadů $r = 0,632$; vinic $r = 0,711$; TTP $r = 0,641$;

- **Klasifikace zemědělských půd**

Cox: převážná část zemědělských půd (72,9 %) se nachází v rozmezí 1–2 %, obsah vyšší než 2 % vykazuje 20,4 % půd a pouze 6,7 % půd má obsah Cox nižší než 1 %;

Glomalin: u 61,1 % zemědělských půd je obsah glomalinu mezi 2–4 mg.g^{-1} ; 24,1 % půd má obsah pod 2 mg.g^{-1} a 14,7 % nad 4 mg.g^{-1} . Medián glomalinu na orné půdě je 2,52 mg.g^{-1} .

Shrnutí

Přísun kvalitní organické hmoty podporuje tvorbu půdních agregátů a s tím spojenou tvorbu optimální drobtovité struktury půdy, dále přísun živin půdním organismům a následně rostlinám.

Organická hmota aplikovaná do půdy by měla mít složení živin vhodné pro zlepšení dané funkce půdy, optimálně s širším poměrem C:N. Důležité je zapravování posklizňových zbytků, využívání zeleného hnojení a pěstování druhově bohatých meziplovin, především bobovitých obsahujících větší množství dusíku v poměru k uhlíku. Potřeba organických látek se pohybuje v rozpětí 4–4,5 t/ha, zhruba 50 - 60 % tedy 2,5 t/ha se dodá posklizňovými zbytky a kořeny. Proto pokrytí schodku a vyrovnaní bilance je tedy třeba doplnit 1,5 - 2 t/ha v organických látek.

Před výběrem a aplikací organického materiálu je vhodné zjistit, kterou funkci je potřeba zlepšit, což záleží na aktuálním stavu obsahu organické hmoty v půdě, ale také na druhu půdy. U těžkých jílovitých půd je obvykle potřeba zlepšit půdní strukturu vytvořením agregátů a tím zlepšit propustnost pro vodu. Písčité půdy se zkvalitní zvětšením povrchu půdních částic a zlepšením zádrže vody a živin. Po aplikaci organické hmoty do půdy je žádoucí zvolení vhodných technologických postupů pro zpracování půdy, které omezí ztráty organické hmoty z půdy. Jedná se například o minimalizační nebo bezorebné techniky, které sníží rychlost rozkladu organické hmoty, ale také rozpad půdních agregátů. V neposlední řadě je nutné zamezit předcházet vodní a větrné erozi vedoucí ke ztrátě nejen organické hmoty, ale celého půdního fondu včetně minerálních částic.

Přesnější hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty je v praxi založeno převážně na bilančních metodách zemědělských podniků.

5 Literární zdroje

1. Ehrmann J., Ritz K. (2013): Soil interactions in temperate multi-cropping production systems Plant and Soil 376 (1-2):1-29
2. 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.
3. Hendl J. 2006: Přehled statistických metod. Portál, Praha.
4. ISO 17184:2014 Soil quality–Determination of carbon and nitrogen by near–infrared spectrometry (NIRS). ISO, 2014.
5. 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.
6. Kunzová E. a kol., 2015: Studie Návrh parametrů sledování stavu a obsahu organické hmoty v půdě v České republice, VURV Praha 121 s.
7. McCauley A., Jones C., Olson–Rutz K., 2017: Soil pH a Organic Matter, nutrient management Module no.8. Montana university, 4449–8.
8. Meloun M., Militký J., 2002: Kompendium statistického zpracování dat. Academia, Praha.
9. Nichols K.A. Wright S. F. (2004): Contribution of glomalin and humic acid in eight native US soils. Soil Science, 170:985–997
10. Pospíšilová L., Vlček V., 2015: Chemické, biologické a fyzikální ukazatele kvality/zdraví půdy, Folia Universitatis Agriculturae at Silviculturae Mendelianae, VIII, číslo 2, ISBN 978–80–7509–244–1.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Smatanová M., 2018: Jednotné pracovní postupy pro AZPP v České republice v období 2017 až 2022. Metodický pokyn ÚKZÚZ č.9/SZV.
15. Sotáková S. (1982): Organická hmota úrodnost půdy, Příroda Bratislava, 234 s.
16. Vlček V. et al. (2019): Glomalin-an interesting protein part of the soil organic matter Soil & Water Res., 15: 67–74.
17. 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.
18. 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.
19. 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.