



Metodika AGRISAN

Metodika jednoduchého porovnání určujících fyzikálních, chemických a biologických půdních charakteristik

Projekt Interreg ATCZ272 AGRISAN
Zdravá a suchu přizpůsobená péče o půdu a krajinu



EVROPSKÁ UNIE



bioforschung
austria



Bundesamt
für Wasserwirtschaft

Publikace představuje metodiku AGRISAN s příkladem interpretace výsledků z českých a rakouských lokalit.

Metodika AGRISAN umožňuje získání včasné informace o nežádoucích změnách tří skupin půdních charakteristik – fyzikálních, chemických a biologických, a to formou dostatečně srozumitelného sdělení a z něj vyplývajícího doporučení pro praxi. Jejím cílem je porovnání zvolené půdy s půdou, pokud možno ze stejné lokality (nebo z lokality blízké se stejným historickým vývojem), která je nejlépe adaptovaná na místní podmínky.

Doporučujeme zhlédnout video AGRISAN: [youtube.com/watch?v=ZrRsIJOqZfI](https://www.youtube.com/watch?v=ZrRsIJOqZfI)

OBSAH

Úvod	1
1. Teoretický základ	2
2. Odběr a příprava vzorků	3
3. Objemová hmotnost půdy	6
4. Stabilita agregátů	7
5. Celkový organický uhlík a celkový dusík	8
6. Stanovení půdní reakce (hodnota pH)	9
7. Elektrická vodivost půdy (EC)	9
8. Bazální půdní respirace	10
9. Stanovení mineralizovatelného dusíku	11
10. Vyhodnocení získaných výsledků	13
11. Princip vyhodnocení pomocí indexu kvality půdy	13
12. Výhody indexu kvality půdy „SQI-area“	16
13. Porovnání českých a rakouských půd	17
14. Hodnocení půdní reakce (pH)	19
15. Závěr	20

Úvod

Množství nových vědeckých poznatků narůstá. Přitom se ale oblasti zemědělské vědy a praxe od sebe navzájem pozvolna vzdalují. Proč? Proč je obtížné držet krok s vědou? Příčin je více. Můžeme začít s převažujícím technicko – inženýrským přístupem k agroekosystémům. Ten vede k významnému zvýšení produkce plodin, který není založen na zvýšení biologických aktivit jednotlivých složek agroekosystému. Zvláště matoucí a pro zemědělce nepochopitelná je zdánlivá vitalita nadzemních částí plodin a postupující degradace půdy. Argumentují prostě: „Řídili jsme se doporučeními vědců. Proč tedy chřadne půda?“ Proto se postupně mění priority a vlastní zadání pro badatelské aktivity. Ověřitelné výsledky experimentů je však možno formulovat až teprve po cca 15 letech. Dnes tak doznívají vědecká doporučení, která reflektují množství produkce. Postupně jsou k dispozici i ty, které vychází z pozdějších požadavků na vyšší kvalitu produkce. V současnosti se teprve rozvíjejí výzkumy směřující k adaptaci zemědělství na klimatickou změnu. Zatím ale chybí ověření získaných hypotéz dlouhodobými pokusy. Také chybí dlouhodobé pokusy se zařazením meziplodin do osevních sledů v synergii s dlouhými letními přísušky atd. Nezanedbatelnou roli hraje i rozměňování potenciálu výzkumných kapacit hlavním hodnotícím kritériem vědeckých kolektivů – počtem impaktovaných publikací, které indukují větší specializace probíhajících výzkumů na dílčí problémy, a nikoliv na celostní výzkum ekosystému. Není výjimkou formulování protichůdných interpretací stejného jevu. Dalším problémem je přetrvávající hlavní zaměření studií na nadzemní části plodin, které lze relativně snadno měřit, zatímco podzemní část a interakce jednotlivých složek s půdou je mnohem obtížnější studovat a následně interpretovat.



Podzemní část ekosystému, konkrétně stav půdního mikrobiomu, má klíčovou roli při určování vlivu jednotlivých živých složek (rostlina, zvíře a mikroob) na stav celého agroekosystému. Výsledkem je skutečnost, že integrace nových poznatků do vnitřně provázaného funkčního celku aplikovatelného v praxi je vzácná. Proto je doporučováno iniciovat a podporovat systematické monitorování a zkoumání trendů, hrozeb a dlouhodobého vývoje půdy.

1. Teoretický základ

Na základě literární rešerše byla nalezena vědecká práce Kuzyakova a Zamaniana z roku 2019 (Agropedogenesis: Humankind as the 6th soil-forming factor and attractors of agrogenic soil degradation, *Biogeosciences Discussions*. 1-42. <https://doi.org/10.5194/bg-2019-151>), který popisuje řadu hlavních příznaků degradace půdy pod vlivem lidské činnosti. Zemědělské postupy vedou vývoj půdy ke kvaziustálenému stavu s předem definovaným rozsahem měřených vlastností – atraktorů (atraktor je minimální nebo maximální hodnota půdní vlastnosti, ke které se vlastnost vyvine z jakéhokoli přirozeného stavu při dlouhodobém intenzivním zemědělském využívání). Na základě fázových diagramů a odborných znalostí definovali oba autoři soubor „hlavních vlastností“ (objemová hmotnost půdy a stabilita makroagregátů, obsah organické hmoty, poměr C:N, pH - hodnota a elektrická vodivost - EC, mikrobiální biomasa a bazální respirace půdy) při zohlednění hloubky půdy (ornice a podorničí). Tyto hlavní vlastnosti jsou obzvláště citlivé na využití půdy a určují ostatní vlastnosti během agropedogeneze. Hlavní půdní vlastnosti pomáhají určit prahové hodnoty a stádia degradace půdy, které mohou včas varovat před negativními jevy.

Tato vědecká práce je pro projekt AGRISAN velmi cenná, protože se zabývá konkrétně těmi půdními charakteristikami, které jsou dostatečně robustní (nereagují na změny a výkyvy v předchozích měsících) a zároveň dostatečně citlivé (jsou schopny odhalit trend změn). Z navržených půdních charakteristik jsme vybrali většinu z nich a pro účely projektu je nazvali „klíčové charakteristiky“. Jedná se o skupinu charakteristik půdní úrodnosti, které mají následující výhody: (1) jsou přímo ovlivnitelné hospodařením – jsou citlivé na zemědělské využití a degradaci půdy, (2) určují stav mnoha dalších parametrů a (3) jsou na sobě minimálně závislé.

Pro projekt AGRISAN byly vybrány tyto „hlavní vlastnosti“: a) fyzikální – hustota půdy a stabilita půdních agregátů, b) chemické – celkový organický uhlík, celkový dusík, pH (H₂O), pH (KCl), vodivost EC, c) biologické – mineralizovatelný půdní dusík a bazální půdní respirace (obr. 1).



Obr. 1 Vybrané půdní charakteristiky metody AGRISAN a interpretace jejich významu.

2. Odběr a příprava vzorků

Odběr vzorků půdy se provádí na daném místě podle kritérií, která si může zvolit zemědělec. Zemědělec může odebrat vzorky z míst, která se nacházejí na stejném poli, ale z neznámých důvodů mají odlišnou vitalitu nebo produkční vlastnosti. Další možností je porovnat parametry půdy na obdělávané ploše s půdou pod nejbližším přirozeným porostem. Takové srovnání umožňuje zemědělcům seznámit se s potenciálními parametry půdy, které jsou minimálně ovlivněny člověkem. Pro testování metody AGRISAN byly vybrány tři různě obhospodařované půdy. V optimálním případě se jednalo o půdy ze sousedních pozemků. První pozemek byl obhospodařován konvenčně, druhý ekologicky a třetí jako trvalý travní porost (obr. 2). Třetí je pro vyhodnocení získaných parametrů rozhodující. Umožňuje přímé srovnání "nejdůležitějších půdních vlastností" z konvenčního nebo ekologického obdělávání s půdním prostředím pod trvalým travním porostem, kde jsou fyzikální, chemické a biologické procesy řízeny přírodními mechanismy. Zemědělec tak může porovnat rozdíly a případné rezervy mezi obdělávanou půdou a půdou na trvalém travním porostu, aniž by potřeboval tabulkové cílové hodnoty.

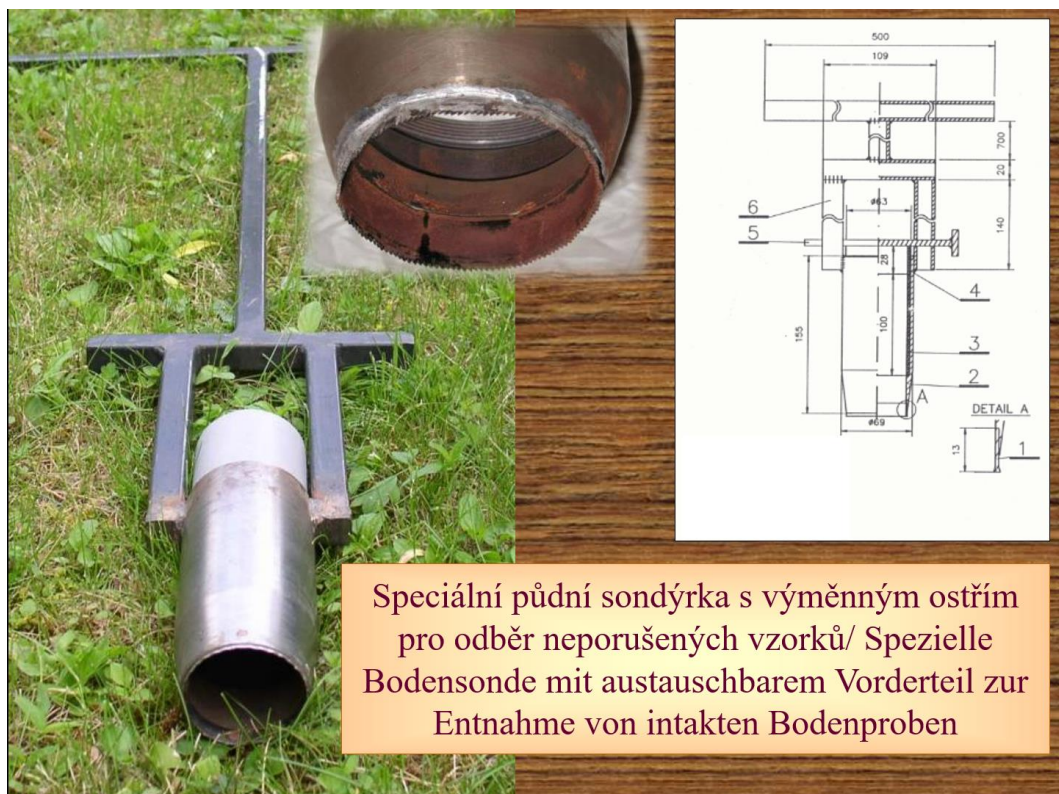


Obr. 2 Příklad odběru půdních vzorků z různě obhospodařovaných půd.

Pro metodu AGRISAN byly v podstatě odebrány dva směsné vzorky, jeden pro každý horizont (orná půda a podorničí). Půdní materiál byl odebrán z ornice do hloubky 18 cm na nejméně pěti místech pomocí speciální půdní sondy s výměnnou přední částí pro odběr neporušených půdních vzorků. Vzhledem k proměnlivé konfiguraci studované oblasti byly vzorky půdy odebírány v pravidelných rozestupech, aby byla zajištěna dostatečná reprezentativnost vzorků půdy. Půdní vzorky byly odbírány speciální sondýrkou pro odběr neporušených půdních vzorků (obr. 4, 5). Horní tři centimetry všech půdních vzorků byly po odběru odříznuty, aby nedošlo ke zkreslení hodnocení na základě výsledků vzorků z trvalých travních porostů (kde je svrchní vrstva půdy silně prokořeněná – obr. 5). Vzorky podorničí byly odebírány z prvních 10 cm pod ornici v hloubce cca (20-30 cm) a – pokud to bylo možné – na všech lokalitách z jedné lokality stejným způsobem a při zachování této hloubky (obr. 3). Doba odběru vzorků byla stanovena na jaro, krátce po rozmrznutí půdy. Důvodem byla snaha porovnávat půdní vzorky po co nejdelším období, kdy je půda v relativním klidu, aby výsledky stanovení nebyly příliš ovlivněny předchozími událostmi.



Obr. 3 Specifikace odběru vzorků půdy z ornice a podorničí.



Obr. 4 Detailní zobrazení řezné části sondýrky pro odběr intaktních půdních vzorků.



Obr. 5 Příklad praktického odběru půdních vzorků z vinohradu a jejich bezprostředního prosetí na frakce pod a nad 5 mm (foto Jana Asszonyi, Mendelu).

3. Objemová hmotnost půdy

Objemová hmotnost půdy udává hmotnost jednotky objemu půdy v neporušeném stavu.



Obr. 6 Porovnáním hmotnosti určitého objemu půdy zjistíme o kolik více prostoru pro půdní život je k dispozici.

Objemová hmotnost je dána jak pevnými částicemi, tak póry, které jsou naplněny vzduchem a vodou. V rámci současné terminologie se pojem „objemová hmotnost“ používá pro vysušenou půdu. Hlinité a jílovité půdy, mají obecně nižší objemovou hmotnost než půdy písčité. Zejména při vyšším obsahu organické hmoty, částice jílovitých půd více agregují a tvoří porézní agregáty. Průměrné hodnoty objemové hmotnosti ornice pro hlinitou půdu by měly být cca $1,4 \text{ g.cm}^{-3}$ a pro podorničí $1,51 \text{ g.cm}^{-3}$. Objemová hmotnost minerálních půd kolísá mezi $0,8 - 1,8 \text{ g.cm}^{-3}$, u organických půd většinou mezi $0,2 - 0,3 \text{ g.cm}^{-3}$.

Kromě objemové hmotnosti bylo pro stanovení dalších charakteristik v rámci projektu AGRISAN nutno získat reprezentativní směšnou frakci půdy do 5 mm. Prakticky jsme postupovali tak, že hned po odběru, v čerstvě vlhkém stavu, byl každý odebraný půdní monolit přesát přes síto o velikosti ok 5 mm (obr. 5). Obě frakce půdy nad 5 mm a pod 5 mm byly uchovávány odděleně, poté rozprostřeny v laboratoři a ponechány několik týdnů na vzduchu, dokud jejich hmotnost nebyla konstantní. Jednotková objemová hmotnost půdy odebraného vzorku se po vysušení do konstantní vlhkosti stanovila ze zvážení a sečtení hmotnosti obou frakcí vzorku.

4. Stabilita agregátů

Odolnost půdních agregátů vůči rozpadu na agregáty menší velikosti nebo na základní stavební jednotky půdy – písek, prach, jíl – působením vody je základním ukazatelem kvality půdy. Materiál uvolněný rozpadem půdních agregátů při náhlých srážkách se usazuje v půdních makropórech, čímž se snižuje jejich průchodnost pro infiltrující vodu, zvyšuje se objem vody odtékající po povrchu půdy a narůstá riziko vodní eroze.



Obr. 7 Stabilita agregátů vůči rozpadu působením vody je základním ukazatelem kvality půdy.

Kromě odběru vzorků půdní sondou byly na každém místě a v každé hloubce půdy odebrány také vzorky půdy rýčem pro stanovení stability půdních agregátů.

Stabilita agregátů byla stanovena metodou mokrého prosévání (podle ÖNORM L1072). Takto odebrané půdní vzorky byly vysušené v laboratorních podmínkách do konstantní hmotnosti a poté prosety přes síto o velikosti ok 2 mm. Půdní agregáty umístěné na sítu byly ponořeny do destilované vody do přístroje pro mokré prosévání a byly vystaveny pohybu vody ve vertikální směru. Po 5 minutách mokrého prosévání byly agregáty, které zůstaly na sítu, vysušeny při 105 °C. Dále byl stanoven obsah písčité frakce v půdních vzorcích. Pro stanovení obsahu písku byly zbývající půdní agregáty zaplaveny 0,1 molárním roztokem tetrafosforečnanu sodného, čímž se uměle navodil rozpad agregátů. Vzniklá suspenze byla po 2 h opět proseta metodou mokrého prosévání a opět vysušena. Stabilita agregátů byla poté vypočtena jako podíl stabilních agregátů bez obsahu písku z celkového vzorku.

5. Celkový organický uhlík a celkový dusík

Organický uhlík v půdě je důležitou charakteristikou půdní úrodnosti. Půdy s vysokým obsahem organického uhlíku mohou uchovávat více živin a vody. Zlepšuje strukturu půdy, umožňuje rychlejší vsakování vody a zabraňuje erozi. Poměr uhlíku a dusíku poskytuje informace o kvalitě půdní organické hmoty.

Dílčí vzorek vzorku prosetého na sítu o průměru 5 mm byl vysušen při teplotě 105 °C a jemně rozemlet pomocí planetárního kulového mlýna za účelem homogenizace. V jemně rozemletém vzorku půdy byl poté stanoven celkový uhlík a celkový dusík pomocí prvkové analýzy při teplotě 1000 °C (TruSpec, LECO Corporation). Anorganický uhlík byl stanoven jako uhličitán pomocí Scheiblerovy metody (ÖNORM L 1084). Obsah organického uhlíku byl stanoven jako rozdíl mezi uhlíkem celkovým a uhličitánovým. Obsah humusu byl vypočten jako organický uhlík x 1,72 (ÖNORM L1080).



Obr. 8 Celkový organický uhlík a celkový dusík v půdě se stanovuje pomocí speciálních přístrojů.

6. Stanovení půdní reakce (hodnota pH)

Hodnota pH udává kyselost nebo zásaditost půdního roztoku a vychází z měření koncentrace vodíkových iontů v půdním roztoku. V rámci projektu byla měřena jak skutečná kyselost, tj. suspenze půdy ve vodě, tak potenciální, výměnná kyselost. V druhém případě se vodíkové ionty sorbované na sorpčním půdním komplexu zaznamenávají po vytěsnění neutrálním roztokem soli (v roztoku KCl).

Ke stanovení byla použita na vzduchu vysušená frakce půdy pod 5 mm. Hodnota pH byla stanovena ve vodě a v jedno molárním roztoku KCl. K tomuto účelu byl k půdě přidán pětinašobek objemu destilované vody nebo roztoku chloridu draselného. Suspenze byla promíchána a ponechána zakrytá po dobu 18 hodin. Ihned po opětovném promíchání suspenze bylo změřeno pH pomocí skleněné elektrody. (podle normy ÖNORM L1083).



7. Elektrická vodivost půdy (EC)

Elektrická vodivost půdy (EC, konduktivita) se zvyšuje se zvyšující se koncentrací iontů v půdním roztoku. Díky tomu slouží jako nepřímý ukazatel stupně zasolení. V kombinaci s jinými ukazateli může indikovat stupeň využitelnosti živin pro rostliny.

Podobně jako v případě půdní reakce byla ke stanovení použita na vzduchu vysušená frakce půdy pod 5 mm. Prvním krokem bylo přidání 100 ml převařené destilované vody ke 20 g půdního vzorku. Vzorky byly poté dány na 1 hodinu do třepačky. Následovala filtrace, centrifugace vzorků (3000 otáček/minutu, po dobu 25 minut) a opětovná filtrace. Poté byla elektrická vodivost půdy (EC) změřena konduktometrem. U všech vzorků bylo provedeno trojí stanovení.

Vodivost odpovídá obsahu soli v půdě a udává se v mikrosiemensech na centimetr.

8. Bazální půdní respirace

Pro stanovení bazální půdní respirace (BPR) byla použita metoda poutání CO_2 natrokalcitem (Keith et Wong, 2006; Measurement of soil CO_2 efflux using soda lime absorption: both quantitative and reliable). BPR byla stanovena po ovlhčení vysušeného vzorku na 70 % maximální kapilární vodní kapacity (MKVK) bez přídavku jakéhokoli organického substrátu.



Obr. 9 Bazální půdní respirace je vždy doprovázena ztrátou vnitřní půdní energie, proto je nutno na ni nahlížet i z hlediska efektivní mikrobiální kontroly půdních zdrojů.



Obr.10 Stanovení maximální kapilární vodní kapacity u směsných vzorků (Foto J. Asszonyi).

Ke stanovení MKVK byly vzorky půdy v nádobkách syceny po dobu 1 hod zesodu přes filtrační papír destilovanou vodou (obr. 10). Po nasáknutí byly nádobky přemístěny na suchý filtrační papír a přebytečná voda byla po dobu 10 minut odsáta. Po odsátí bylo stanoveno MKVK zvážením.

Půdní respirace – předinkubovaná půda ovlhčená na 70 % MKVK byla vložena do vzduchotěsné nádoby se sorbentem k jímání vydýchaného CO₂ / **Bodenatmung** - vorinkubierter Boden wurden auf 70 % MKWK angefeuchtet und in einen luftdichten Behälter mit einem Sorptionsmittel zum Auffangen des ausgeatmeten CO₂ gegeben.



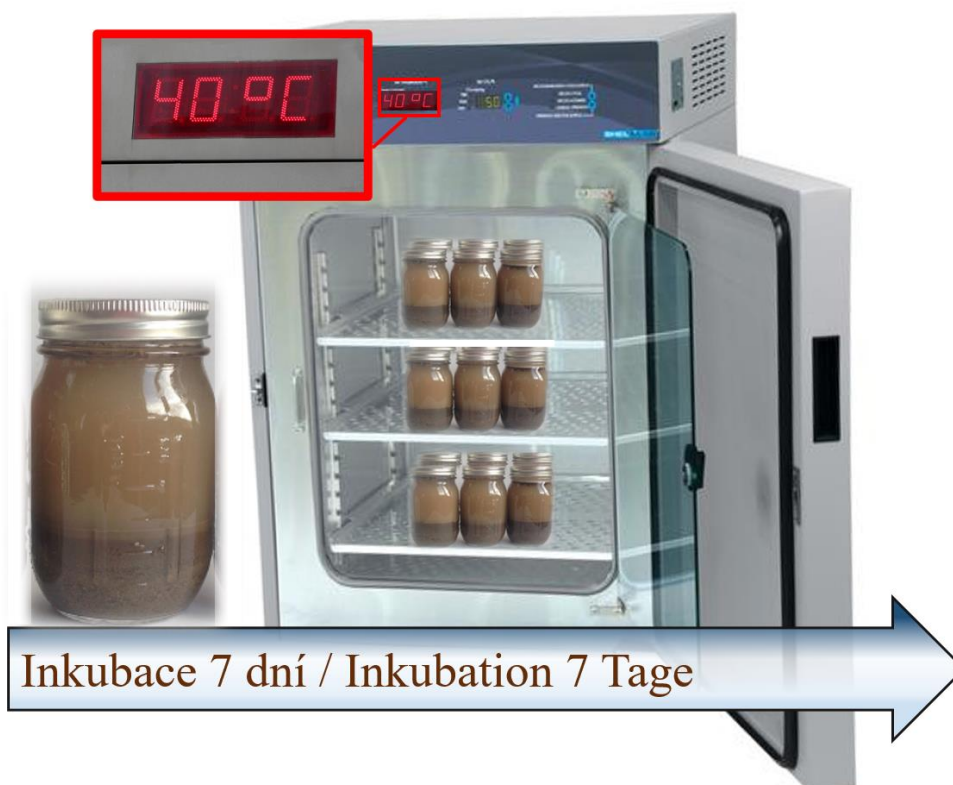
Obr. 11 Inkubační nádoby, ve kterých byla inkubována půda ke stanovení půdní respirace.

Bazální půdní respirace byla stanovena ve vzorcích o hmotnosti 60 g půdy. Ty byly umístěny do skleněných nádob a ovlhčeny na 70 % MKVK, poté byly uzavřeny skleněným víčkem a po dobu 7 dní předinkubovány, aby došlo k určité stabilizaci poměrů v uměle sestaveném prostředí. Po 7 dnech byl připraven alkalický sorbent, natrokalcit (sušení 4,5 h při 105 °C, poté vážení), který byl v otevřené plastové nádobce umístěn do skleněných nádob se vzorky. Následovalo stanovení vlastní basální respirace, kdy byly nádoby se vzorky a natrokalciem hermeticky uzavřeny. Tento proces trval 72 h a po uplynutí této doby byl natrokalcit v plastových nádobkách vysušen (4,5h při 105 °C) a opět zvážen. Rozdíl hmotností natrokalciitu byl poté přepočten na hmotnost transformovaného uhlíku z 1kg sušiny půdy. Stanovení basální respirace bylo provedeno ve třech opakováních pro každý směsný vzorek.

9. Stanovení mineralizovatelného dusíku

Posouzení míry a rychlosti přeměn dusíkatých látek v půdě by mělo být posouzeno takovou metodou, která je jednoduchá a dobře reprodukovatelná. Měla by rovněž dodat zemědělcům dostatečně užitečnou informaci o mineralizovatelných zásobách půdního dusíku, které mohou být uvolnitelné v průběhu relativně krátké doby několika týdnů. Vzhledem ke značné složitosti a komplexnosti procesů, které se promítají do koloběhu dusíkatých látek, byla zvolena metoda vyhodnocení indexu dostupnosti dusíku (sensu KEENEY 1982). Metoda je založená na

produkci amonných iontů v průběhu sedmidenní anaerobní inkubace půdních vzorků při teplotě 40 °C (obr. 12). Principem metody je měření mineralizace snadno rozložitelných organických dusíkatých látek přežívajícími termofilními anaerobními mikroorganismy. Zdroje dusíkatých látek jsou původně obsažené zejména ve strukturních složkách a v živých buňkách společenstev aerobních psychrofilních a mezofilních mikroorganismů, které za daných inkubačních podmínek spontánně odumírají a jsou následně amonifikovány. Mineralizovatelný půdní dusík proto velmi dobře koreluje s mírou mikrobiálního oživení půdy.



Obr. 12 Stanovení mineralizovatelného dusíku z půdních vzorků zaplavených vodou.

Aby mohl být určen nárůst množství amonného dusíku po popisované anaerobní inkubaci při zvýšené teplotě, musí být nejprve stanoveno aktuální množství amonného dusíku v půdě. Provádí se následujícím způsobem – do skleněných uzavíratelných lahvíček na reagentie se naváží 20 g půdy a přidá 100 ml 2M KCl. Poté se vzorky dají na 1 hod na třepačku. Následuje filtrace a destilace. Amonný dusík se stanovuje destilačně titrační metodou (Peoples et al., 1989). Pro inkubaci se naváží 20 g stejné půdy do identických skleněných reagenčních lahvíček, přidá se 50 ml destilované vody, uzavře a po dobu jedné hodiny třepe. Poté se vloží do inkubačního termostatu a ponechá 7 dní při teplotě 40 °C. Po uplynutí inkubace se k inkubovanému vodnímu výluhu přidá 50 ml 4M KCl, po dobu jedné hodiny třepe. Dále se postupuje stejně jako u neinkubovaných vzorků – jsou zfiltrvány a zdestilovány. Stanovení mineralizovatelného půdního dusíku bylo rovněž provedeno ve třech opakováních pro každý směsný vzorek.

10. Vyhodnocení získaných výsledků

Posouzení stavu půdy vyžaduje komplexní zhodnocení určujících půdních charakteristik, které jsme si v úvodu označili jako „hlavní půdní vlastnosti“ a které jsou zodpovědné za širokou škálu ekosystémových služeb. Historicky bylo pro hodnocení specifických skupin funkcí půdy navrženo mnoho indexů kvality půdy. Jejich nedostatkem je obtížné porovnání různých indexů navzájem, protože jsou založeny na kombinaci specifických vlastností půdy. Abychom se tomuto problému vyhnuli, použijeme přístup, který je založený na porovnávání ploch v paprskovém grafu a který kombinuje vybrané fyzikální, chemické a biologické vlastnosti. Nový přístup, který je detailně představen v práci Kuzyakov et al., (2020) („New approaches for evaluation of soil health, sensitivity and resistance to degradation. “Front. Agric. Sci. Eng 7: 282-288.), umožňuje rychlé a jednoduché porovnání skupin parametrů a půd. Kuzyakov a ostatní jej označují jako SQI-area (Soil Quality Index – area).

Tab.1 Označení zvolených „hlavních půdních vlastností“ a jejich interpretace pro AGRISAN.

Půdní vlastnost	Zkratka	Interpretace
Objemová hmotnost	ρ	
Stabilita agregátů	Agr. St.	
Celkový organický C	C_{org}	
Celkový dusík	N_{tot}	
EC – el. vodivost	EC	
pH (H ₂ O)	pH (H₂O)	*
pH (KCl)	pH (KCl)	*
Bazální půdní respirace	Resp.	
Mineralizovatelný N	N_{min}	
* <i>Vzhledem k tomu, že hodnoty pH odpovídají záporně vzatému dekadickému logaritmu koncentrace vodíkových iontů a k tomu, že by po převedení na absolutní hodnoty maskovaly grafická vyjádření ostatních vlastností, budou porovnávány zvlášť.</i>		

11. Princip vyhodnocení pomocí indexu kvality půdy

Přístup využívající index kvality půdy „SQI-area“ je založen na porovnání plochy uvnitř paprskového grafu vytvořeného ze skupiny jednotlivých půdních parametrů, které přispívají s libovolnou váhou (ve většině případů bez přisuzování určité vyšší nebo nižší váhy jednotlivým parametrům) k SQI (obr. 13). Každý jednotlivý půdní parametr by měl být standardizován vzhledem k půdě nejméně ovlivněné člověkem. V případě metody AGRISAN je za takovou půdu považován trvalý travní porost (100 %). Použijeme-li pro standardizaci citovanou práci, pak pro parametry Agr.St., C_{org}, N_{tot} a N_{min} postupujeme podle následující rovnice:

$$stP_i = \frac{P_x}{P_n} 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde stP_i je standardizovaný parametr i , P_x jsou hodnoty parametru v orné půdě obhospodařované konvenčně, resp. ekologicky a P_n hodnoty parametru v půdě trvalého travního porostu. Půdní vlastnosti, které při zvětšování své hodnoty představují riziko degradace půdy, standardizujeme pro potřeby projektu AGRISAN jinak. Pro EC a Resp. použijeme:

$$stP_i = 100 - \left(\frac{P_x}{P_n} 100 - 100 \right) \quad [\%] \quad (2)$$

Konečně pro klíčový parametr, objemovou hmotnost (ρ) použijeme při standardizaci dvojnásobnou váhu:

$$stP_i = 100 - 2 \left(\frac{P_x}{P_n} 100 - 100 \right) \quad [\%] \quad (3)$$

Taková standardizace zajišťuje porovnání libovolného indexu kvality půdy (SQI) složeného z libovolného počtu parametrů. Na základě standardizovaných parametrů lze sestavit paprskový graf jak pro přírodě blízkou půdu (všechny hodnoty jsou považovány za 100 %, obr. 13), tak pro půdu různě intenzivně obhospodařovanou. Srovnání plochy pokryté oběma takto vytvořenými mnohoúhelníky odráží celkovou míru zhoršení kvality půdy. Příslušná plocha se bude rovnat součtu jednotlivých trojúhelníků tvořících celý obrázek: kde n je počet parametrů použitých pro SQI a π (3.14).

$$Area_{SQI} = 50 \sum_i^n stP_i^2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right) \quad (4)$$

K testování metody AGRISAN byly vybrány tři různé režimy obhospodařování (konvenční, ekologický a režim trvalého zatravnění) ve dvou různých hloubkách (v ornici a podorničí). Optimální podmínky pro objektivní porovnání získaných hodnot „nejdůležitějších půdních vlastností“ (např. sousedství pozemků, osevní postupy atd.) byly vyhovující u 6 lokalit na straně rakouských partnerů projektu a u 12 lokalit na straně českých partnerů (tab. 2). Zúžení výběru jsme v rámci projektu považovali za důležité proto, aby bylo možno objektivně využít hlavní smysl metody AGRISAN – tj. srovnání půdy na jakékoliv zájmové lokalitě s půdním prostředím pod trvalým travním porostem, kde jsou fyzikální, chemické a biologické procesy řízeny dominantně přírodními mechanismy.

Pro vzorovou ukázkou přístupu SQI-area jsme vybrali data ze dvou datových řad, z konvenčně obhospodařované ornice v ČR (CZ-C-T) a z trvalého travního porostu (CZ-N-T) – viz tab. 2. Přestože celková plocha mnohoúhelníku závisí částečně na počtu parametrů zapojených do výpočtu, poměr ploch mezi porovnávanými půdami zůstává nezávislý. Poměr mezi součtem ploch všech trojúhelníků v půdě konvenčně obhospodařované a plochou vymezenou všemi parametry pro téměř nenarušenou půdu trvalého travního porostu bude odrážet celkovou

intenzitu posunu vybraných nejdůležitějších půdních vlastností (obr. 13). I proto by se měla nejbližší lokalita minimálně narušené půdy s trvalou vegetací vybírat s maximální pozorností.

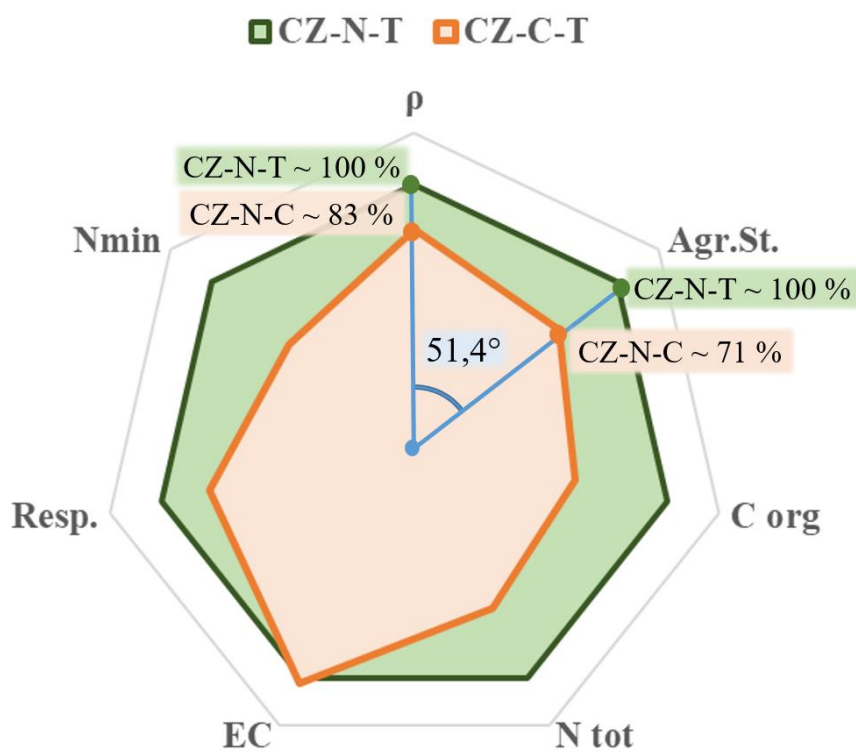
Tab. 2 Průměrné hodnoty z vybraných českých a rakouských lokalit (CZ, celkem 12; AT, celkem 6). Použité symboly a možnosti jejich interpretace jsou popsány v tabulce č. 1. Symbol T označuje ornici, S podorničí, C – konvenční, O - ekologický a N - režim trvalého zatravnění.

Lokality v České republice / Lokalitäten in der Tschechischen Republik							
	ρ	Agr. St.	C org	N tot	EC	Resp.	Nmin
n=12	[g/cm ³]	(%)	(%)	(%)	(μ S/cm)	(g C/ kg)	(kgN/ha)
CZ-C-T	1,40	50,7	1,44	0,14	75	0,14	327
CZ-C-S	1,55	39,4	1,08	0,11	67	0,12	162
CZ-O-T	1,43	48,8	1,41	0,15	79	0,09	445
CZ-O-S	1,57	38,8	1,06	0,12	76	0,10	179
CZ-N-T	1,29	71,6	2,27	0,20	76	0,11	534
CZ-N-S	1,48	57,0	1,43	0,13	73	0,10	217
Lokality v Rakousku / Lokalitäten in Österreich							
	ρ	Agr. St.	C org	N tot	EC	Resp.	Nmin
n=6	[g/cm ³]	(%)	(%)	(%)	(μ S/cm)	(g C/ kg)	(kgN/ha)
AT-C-T	1,49	22,7	2,31	0,20	132	0,15	319
AT-C-S	1,52	32,4	1,97	0,17	138	0,14	99
AT-O-T	1,40	32,6	2,27	0,20	127	0,16	420
AT-O-S	1,47	34,6	1,83	0,16	135	0,15	103
AT-N-T	1,46	60,2	2,50	0,23	150	0,12	604
AT-N-S	1,48	39,2	1,92	0,17	122	0,14	140

Vzhledem k tomu, že většina půdních parametrů s degradací klesá, je jednoduché vypočítat jejich standardizované hodnoty na základě nenarušené půdy a poté porovnat relativní pokles parametrů v půdě intenzivně využívané nebo degradované (podle zásady: čím více tím lépe) viz: rovnice (1). V případě metody AGRISAN jde o parametry Agr.St., C_{org}, N_{tot} a N_{min}. U těch parametrů, které s degradací půdy rostou (např. objemová hmotnost), by se měl použít opak, tj. minimální hodnota by měla být přiřazena nenarušené přírodní půdě (méně je lépe) a standardizace se provede podle rovnice (2). V případě metody AGRISAN jde o parametry EC (odpovídá míře zasolení) a Resp (stanovení bazální půdní respirace při metodickém postupu, který byl popsán v kap. 8, odpovídá snížené schopnosti půdy jako celku ochránit si vnitřní zdroje energie před mikrobiální degradací). V jediném případě, při standardizaci objemové hmotnosti půdy (ρ), se vzhledem k empirickým zjištěním minimálních posunů absolutních hodnot způsobených degradací půdy a rovněž vzhledem ke klíčové důležitosti tohoto parametru zdvojnásobí váha parametru výpočtem podle rovnice (3).

U charakteristik půdní acidity (pH (H₂O) a pH (KCl)) nelze provést standardizaci podle navrhovaných výpočtů. Hodnoty pH totiž odpovídají záporně vzatému dekadickému logaritmu koncentrace vodíkových iontů a jejich nárůst není lineární jako v případě ostatních parametrů.

V případě metody AGRISAN se pH posuzovalo individuálně s opatrným přihlédnutím k doporučeným, optimálním hodnotám.



Obr. 13 Index kvality půdy označený jako „SQI-area“ je vhodný pro sjednocení hodnocení libovolného počtu půdních parametrů a k porovnání půd z různých prostředí. Jeho podstatou je kvantifikace zmenšení plochy mnohoúhelníku v paprskovém grafu mezi měřitelnými vlastnostmi půdy se zhoršenými vlastnostmi a půdou s minimálním vlivem člověka. Podstata matematického vyjádření v rovnici (4) je založena na součtu ploch trojúhelníků, jejichž strany mají relativní velikost po standardizaci daného parametru (podle rovnic (1), (2), (3)) a úhel, který svírají, má velikost podílu 360° počtem posuzovaných parametrů, v našem případě sedmi. Poměr ploch konvenčně obhospodařované půdy a půdy trvale zatravněné je v tomto příkladu 59 %, což odráží míru degradace vlastností půd konvenčním obhospodařováním.

12. Výhody indexu kvality půdy „SQI-area“

1. Nezávislost výsledků hodnocení na počtu půdních parametrů zahrnutých do výpočtu SQI. Přestože jsou jednotlivé plochy částečně závislé na počtu parametrů, poměr mezi plochami poškozených a nepoškozených půd je nezávislý. Různé SQI (vypočtené podle různých principů a zohledňující různý počet parametrů) lze proto mezi jednotlivými studii snadno porovnávat.

2. Je nutné srovnání s nepoškozenou půdou. To dává jasný přehled o tom, jak silně působí vliv určitého obhospodařování.

3. Plošný přístup SQI umožňuje jednoduché grafické porovnání efektivity různých způsobů nápravných opatření a změn využívání půdy.

4. Přístup zjednodušuje hodnocení relativní citlivosti a odolnosti jednotlivých půdních parametrů vůči degradaci a informuje o tom, na které půdní vlastnosti bychom si měli dávat pozor především při nových způsobech hospodaření. Podle příkladu na obr. 13 jsou tedy stabilita agregátů, celkový obsah organického uhlíku, celkový obsah dusíku a mineralizovatelný dusík vlastnosti zvláště citlivé (maximální pokles) na degradaci půdy. Naopak hodnota půdní vodivosti EC je vůči degradaci odolná.

5. Je jednoduché porovnat pokles mezi skupinami půdních vlastností (tj. fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi půdy).

6. Je irelevantní, v jakých jednotkách byly parametry změřeny, protože všechny parametry jsou standardizovány stejným parametrem vůči nepoškozené půdě.

7. Pokud jsou známy prahové hodnoty úplné degradace, je snadné rozpoznat, jak blízko je půda úplné, nevratné degradaci. To umožňuje definovat třídy degradace, prahů mezi nimi a limitů, po jejichž dosažení nelze půdu obnovit.

8. Lze snadno vyhodnotit účinky revitalizačních postupů na jednotlivé vlastnosti. Lze tedy hodnotit zlepšení vlastností (degradační zvrát).

9. V neposlední řadě přístup SQI-area poskytuje užitečnou vizualizaci a odhad poklesu jednotlivých parametrů.

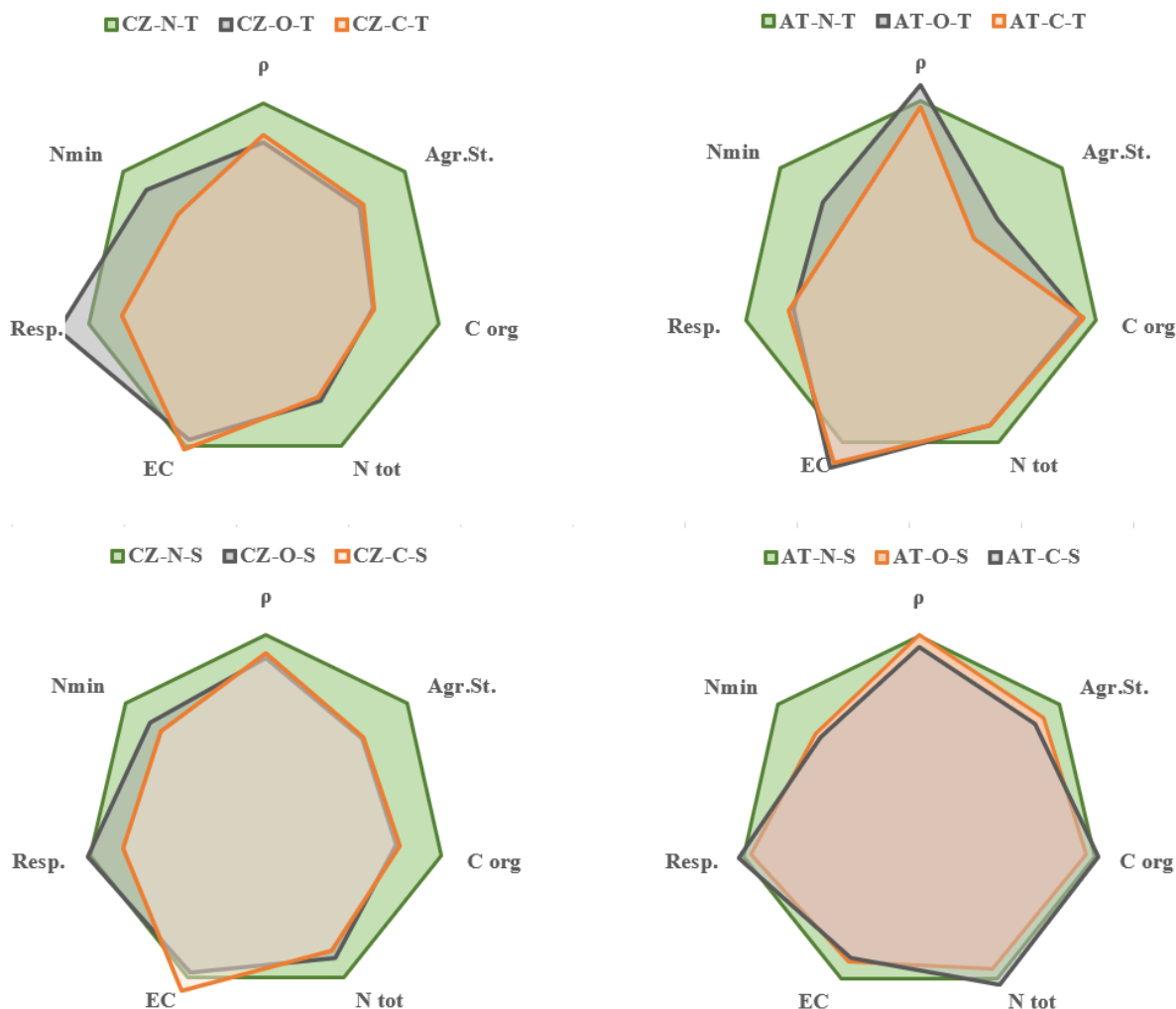
10. I v případě významných rozdílů mezi absolutními hodnotami jednotlivých parametrů (např. zhruba dvojnásobně vyšší hodnoty elektrické vodivosti EC v rakouských půdách) je možno přístup SQI-area bez problémů využít.

13. Porovnání českých a rakouských půd

Při pohledu na souhrnnou tabulku průměrných hodnot „hlavních půdních vlastností“ z vybraných českých a rakouských lokalit je zřejmé, že už i na základě konkrétních naměřených veličin lze konstatovat, že např.:

- Stabilita agregátů v ornici je u českých lokalit více než dvojnásobná v porovnání s rakouskými (50,7 % a 22,7 %, resp.)
- Obsah organického uhlíku a dusíku v ornici rakouských půd je přibližně o polovinu vyšší než u českých ornic.
- Již zmíněná dvojnásobně vyšší hodnota elektrické vodivosti EC v rakouských půdách.
- Rozmezí naměřených hodnot některých parametrů se příliš neliší (ρ , bazální půdní respirace a mineralizovatelný dusík).

Pro formulaci nějakých konkrétních kvalifikovaných doporučení je však hodnocení na základě absolutních hodnot nedostačující. Pro taková doporučení bychom měli naměřené hodnoty dávat do vztahu s místně nejlépe adaptovaným systémem půda – živá půdní složka a rostlina.



Obr.14 Grafické porovnání vybraných českých a rakouských lokalit pomocí indexu kvality půdy „SQI-area“ (CZ, celkem 12; AT, celkem 6). Symbol T označuje ornici, S podorníčí, C – konvenční, O - ekologický a N - režim trvalého zatravnění. Horní dvojice grafů představuje porovnání indexu kvality půdy mezi českou (vlevo) a rakouskou (vpravo) ornicí. Dolní dvojice grafů prezentuje analogicky stav podorníčí.

Index kvality půdy „SQI-area“ umožňuje interpretovat získané výsledky takto:

- Obhospodařování půdy, ať už konvenční nebo ekologické, v ČR významněji zvyšuje zhutnění orniční půdy a snižuje celkový obsah organického uhlíku a celkového půdního dusíku ve srovnání s obhospodařováním půdy v Rakousku.

- V ekologicky obhospodařovaných půdách v ČR se zlepšují biologické charakteristiky půdy, bazální půdní respirace a mineralizovatelný dusík, ostatní charakteristiky zůstávají neměnné.
- V půdách rakouských ornice je proti českým obecně nižší stabilita půdních agregátů, zlepšuje se ale v ekologicky obhospodařovaných půdách.
- Index kvality půdy SQI-area se v podorničí více blíží neporušeným půdám.
- Nicméně u českých i u rakouských půd se způsob obhospodařování ornice promítá do stavu měřených charakteristik v podorničí. U českých půd ale více kopíruje stav ornice.
- Zajímá situace je u parametru elektrické vodivosti EC v ornici a podorničí u rakouských půd, což by si do budoucna zasloužilo zvýšené pozornosti.

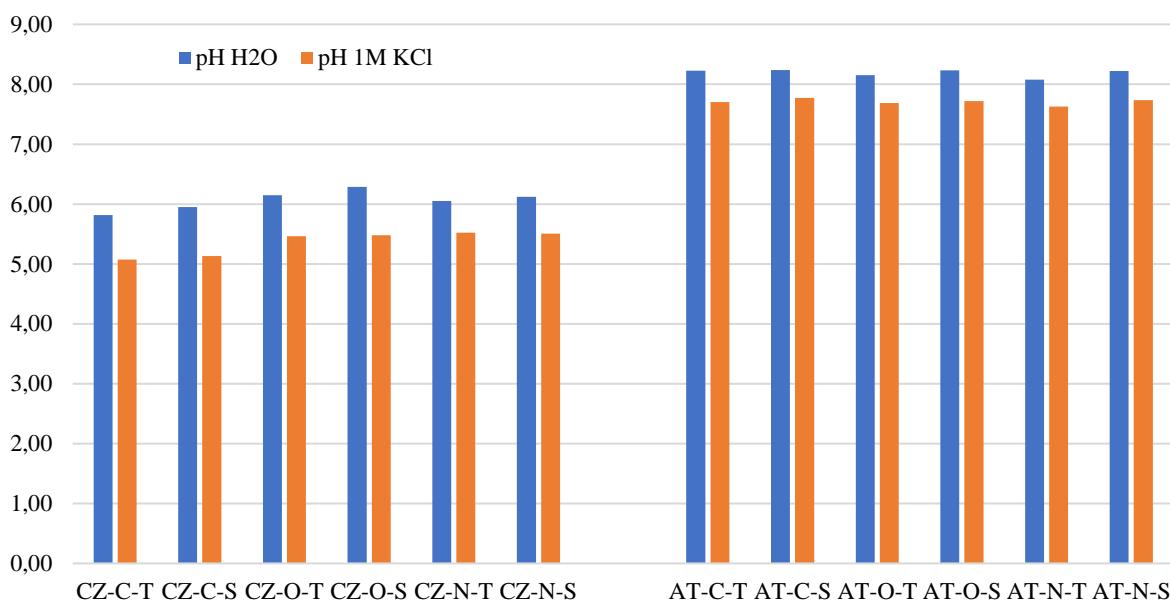
Tab. 3 Porovnání vybraných českých a rakouských lokalit pomocí indexu kvality půdy „SQI-area“ (vypočtený pomocí rovnice (4)).

Způsob obhospodařování	Půdy CZ		Půdy AT	
	Ornice	Podorničí	Ornice	Podorničí
Konvenční	59 %	71 %	69 %	86 %
Ekologické	71 %	74 %	78 %	83 %

Hodnoty indexu kvality půdy SQI-area v tabulce č. 3 ilustrují konkrétními čísly významnost rozdílů mezi porovnávanými lokalitami na českém a rakouském území. Největší rozdíl je mezi kvalitou půdy v konvenčním režimu obhospodařování v podorniční hloubce, který činí 15 % (v ornici 10 %) v neprospěch půd v ČR. Z porovnání charakteristik vyplývá i relativně jednoduchý návod na to, jak tento stav změnit. S vědomím toho, že vše bylo porovnáváno s nejbližšími zatravněnými lokalitami, a že potenciál ke zlepšení v ČR je na dosah, lze doporučit zaměření pozornosti na toky a zásobníky organických látek v půdě. Jde o oblast péče o půdu, která je v ČR dlouhodobě podceňovaná. Zlepšená péče o dynamiku organických látek v půdě se pozitivně promítne i do zvýšení stability agregátů a snížení objemové hmotnosti půdy stejně tak jako do biologických charakteristik.

14. Hodnocení půdní reakce (pH)

V případě metody AGRISAN nebylo možno půdní aciditu vzhledem k nelineárnímu nárůstu hodnot se zvyšujícím se pH standardizovat a tím ani zahrnout do grafického hodnocení. Proto posuzujeme půdní reakci zvlášť. Průměrná hodnota pH se u hodnocených půd v ČR pohybuje od 5,82 (CZ-T-T) do 6,28 (CZ-O-S), v Rakousku od 8,08 (AT-N-T) do 8,24 (AT-C-S).

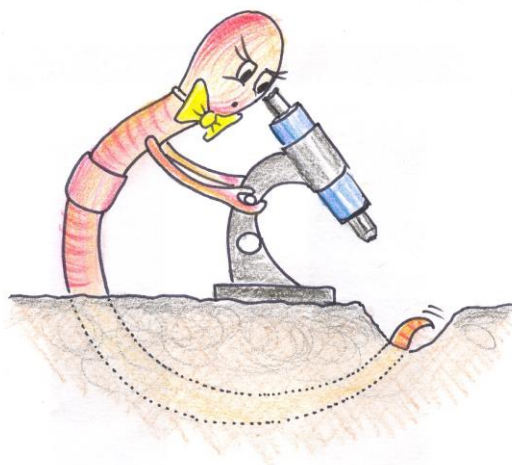


Obr. 15 Průměrná půdní acidita aktivní (pH (H₂O)) a výměnná (pH (KCl)) demonstruje zásadní rozdíl mezi půdami v ČR a půdami v Rakousku.

Pro růst rostlin a pro živou složku půd se nacházíme na opačných hranicích doporučeného rozmezí pro pěstování rostlin a je otázkou, do jaké míry se mnohem vyšší aktivita vodíkových iontů v půdách českých lokalit promítá do hodnocených charakteristik. Běžnou praxí v ČR je přeceňování významu půdní acidity a bez chápání souvislostí s minerálním hnojením a chemismem atmosféry je půdní reakce ornice upravována pravidelným vápněním. Na mnoha lokalitách byl proto zaznamenán rozdíl mezi půdami trvalých travních porostů a ornici obhospodařovanými konvenčním a ekologickým způsobem vyšší než jedna. Lze proto předpokládat oscilaci půdní reakce. I z těchto důvodů doporučují projektoví partneři hodnotit pH na jednotlivých pozemcích odděleně od ostatních parametrů s přihlédnutím na předcházející úpravy pH.

15. Závěr

Půda je hierarchický, sama sebe generující a organizující systém, který zajišťuje existenci rostlin a živočichů, poskytuje stanoviště pro mikroorganismy, umožňuje ukládání (sekvestraci) uhlíku a realizuje toky vody, látek a energií. Půdu nelze redukovat na nějaký jednodušší systém s předpokládatelným vývojem. Lze se ale učit od půdy v sousedství, která má lepší vlastnosti. S tímto záměrem byla připravována metodika AGRISAN. Aby umožnila získat včasné informace o nežádoucích změnách fyzikálních, chemických a biologických půdních charakteristik, a to formou dostatečně srozumitelného sdělení a z něj vyplývajícího doporučení pro praxi. Jejím cílem je porovnání zvolené půdy s půdou, pokud možno ze stejné lokality (nebo z lokality blízké se stejným historickým vývojem), která je nejlépe adaptovaná na místní podmínky.



Metodika AGRISAN

Vydala Mendelova univerzita v Brně, se sídlem Zemědělská 1, 613 00 Brno v rámci projektu
ATCZ272 Zdravá a suchu přizpůsobená péče o půdu a krajinu

Autoři: Jaroslav Záhora, Jana Vavříková (Mendelova univerzita v Brně), Eva Erhart, Marion
Bonell (Bioforschung Austria), Květuše Hejátková (ZERA), Alexander Eder, Andrea Schmid
(Bundesamt für Wasserwirtschaft)

Fotografie a obrázky: Jaroslav Záhora, Jana Asszonyi

Grafický návrh a sazba: Mendelova univerzita v Brně

Vytiskla Mendelova univerzita v Brně, se sídlem Zemědělská 1, 613 00 Brno

v nákladu 200 kusů

1. vydání

Brno, 2022

Publikace neprošla stylistickou korekturou.

© Mendelova univerzita v Brně, Brno 2022



Metodika AGRISAN (ATCZ272)

Vydala Mendelova univerzita v Brně,
Zemědělská 1, 613 00 Brno

© Mendelova univerzita v Brně, Brno 2022