

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pedologie a ochrany půd



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím
indikátorů kvality půdy**

Diplomová práce

Bc. Dana Hejná

Rozvoj venkova a zemědělství

Ing. Jaroslava Janků, CSc.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím indikátorů kvality půdy" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslavě Janků, CSc. za odborný dohled a podporu při psaní závěrečné práci. Za metodické pokyny a praktické rady děkuji konzultantovi Ing. Mgr. Danielovi Tothovi, Ph.D.

Hodnocení ekosystémových služeb půdy prostřednictvím indikátorů kvality půdy

Souhrn

Diplomová práce hodnotí vybrané ukazatele kvality půd patřící do chemických vlastností, a to půdní reakci, obsah čistých živin fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku, které jsou důležitými faktory pro hodnocení ekosystémových služeb ve spojení s půdní úrodností. Pro vybrané území byly shromážděny potřebné údaje z přehledů Agrochemických zkoušení zemědělských půd.

Údaje byly získány z Portálu farmář zpřístupněného vybraným zemědělským subjektem. Byly hodnoceny metodou „před a po“ a vyhodnocením bylo přirovnáno k vývoji těchto vlastností v České republice po roku 1990. Zjišťovala se zásoba živin v půdě a půdní reakce v rozmezí 18-let.

Výsledky mohou pomoci k rozhodování o dalším směru chování zemědělce s ohledem na budoucí organizaci rostlinné výroby v návaznosti na živočišnou výrobu podniku.

Klíčová slova: ekosystémové služby, indikátory kvality, kvalita půdy, hodnocení půdy, AZPP

Evaluation of soil ecosystem services through soil quality indicators

Summary

The diploma thesis evaluates selected indicators of soil quality belonging to chemical properties, namely soil reaction, the content of pure nutrients phosphorus, potassium, magnesium and calcium, which are important factors for the evaluation of ecosystem services in connection with soil fertility. For the selected area, the necessary data were collected from the overviews of Agrochemical testing of agricultural soils.

The data were obtained from the Farmer Portal made available by the selected agricultural entity. They were evaluated using the "before and after" method, and the evaluation was compared to the development of these properties in the Czech Republic after 1990. The supply of nutrients in the soil and the soil reaction over an 18-year period were determined.

The results can help to decide on the next direction of the farmer's behavior with regard to the future organization of crop production following the animal production of the enterprise.

Keywords: ecosystem services, quality indicators, soil quality, soil evaluation, AZZP

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Půda	10
3.1.1 Definice.....	10
3.1.2 Význam.....	11
3.1.3 Funkce.....	12
3.1.4 Držba půdy.....	13
3.2 Ekosystémové služby	14
3.2.1 Složení půdy.....	17
3.2.2 Organická hmota.....	18
3.2.3 Minerální složka.....	21
3.2.4 Chemické procesy.....	24
3.3 Úrodnost půdy	25
3.3.1 Degradace půdy.....	26
3.3.2 Ochrana půdy.....	31
3.3.3 Hodnocení půdy.....	32
3.3.4 Hospodaření na půdě.....	36
4 Metodika	40
4.1 Charakteristika území	40
4.2 Získání dat	42
Zpracování dat	42
4.3 Hodnocení parametrů šetření	44
4.3.1 Reakce půdy – hodnota pH.....	44
4.3.2 Obsahy přístupných živin v půdě.....	44
5 Výsledky	45
5.1 Obsahy živin – mapový přehled	45
5.2 Statistické šetření - Hodnocení AZZP	50
5.2.1 Fosfor – P.....	51
5.2.2 Draslík – K.....	52
5.2.3 Mg – Hořčík.....	54
5.2.4 Vápník – Ca.....	55
5.2.5 Půdní reakce – pH.....	57
6 Diskuze	58
7 Závěr	61

8 Literatura.....	63
9 Seznam použitých zkratk a symbolů.....	68
10 Seznam tabulek.....	69
11 Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Neustále se zvyšující lidská populace má za následek politický tlak na zvýšení produkce plodin. V současné době se očekává, že zemědělci budou ohleduplní k životnímu prostředí, přizpůsobí se extrémním klimatickým podmínkám a vypořádají se s finanční nestabilitou. Navzdory tomuto nedávnému vývoji potřebují zemědělci a jejich zemědělské činnosti v těchto venkovských prostředích rozvojových zemí trvale zlepšit zabezpečení potravin a příjmů domácností. Zabezpečení potravin a příjmů domácností je vzhledem ke se zvyšující počet lidí na zeměkouli důvodem neustálého zvyšování zemědělské produkce a to ne vždy správným vlivem na životní prostředí (Bouma 2014).

Půda jakožto hlavní výrobní prostředek znamená pro každého zemědělce to nejdůležitější, s čím pracuje a má pro něj nedocenitelnou hodnotu. V dnešní době, kdy se zemědělská půda stala dobrou investicí, není její degradace jen otázkou zemědělského hospodaření, ale i vlastnických vztahů. Správný hospodář si uvědomuje její zachování pro budoucnost, a tak zvažuje každou činnost pro udržení dobrého stavu půdy, ale i její ochranu.

Po roce 1990 došlo k radikálnímu snížení spotřeby fosforečných, draselných i vápenatých hnojiv z ekonomických důvodů. Bylo to velmi špatné rozhodnutí ve spojení jednostranným hnojením pouze dusíkem za předpokladu, že se zvýší výnosy. A tak v průběhu let dochází k odčerpání zásob fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Vědecká hypotéza

Vyhodnocení získaných dat půdních charakteristik v období 2000-2018 a způsobu využití území může být ukazatel ekosystémových a produkčních služeb půd. Pro účely zpracování diplomové práce byl použit párový Wilcoxonův test.

Cíl práce

Cílem práce bylo zhodnocení vývoje ukazatelů kvality půdy z dostupných údajů. Vybrané parametry souvisejí s úrodností půdy. Stav naměřených hodnot v rozmezí několika let a sledování změn v charakteristice půd a obsahu živin budou použity jako identifikátory, které by bylo možné použít pro hodnocení ekosystémových služeb půdy. Představit možné vyhodnocení těchto vlastností by mělo přispět k lepšímu hodnocení kvality půdy jak po produkční, tak i po neprodukční stránce.

3 Literární rešerše

3.1 Půda

Půda je brána jako výrobní prostředek v zemědělství a lesnictví, dále jako zdroj surovin nebo plocha pro zástavbu. Má nezpochybnitelný význam pro člověka a biosféru. V současné době narůstá potřeba ochrany všech složek životního prostředí – vodu, půdu a vzduch. Ochrana půdy je zdůvodněná její neustálou kvalitativní a kvantitativní degradací (Novák 2001).

Půdu považujeme za neobnovitelný přírodní zdroj, protože rychlost tvorby v průběhu času je obecně nízká. Její zásadní význam pro život na Zemi hraje hlavní roli v mnoha dnešních environmentálních výzvách, má vedoucí postavení v ekologii udržitelnosti, zmírňování změny klimatu, ekosystémových služeb a nesporně i v oblasti potravinové bezpečnosti (Dazzi & Lo Papa 2022).

3.1.1 Definice

Historie zaznamenala zájem o půdu od konce devatenáctého století. Výrazně se od té doby změnila definice půdy, nyní je seskupena do šesti hlavních typologií:

- materiál (organický, anorganický, jíl, písek atd.)
- složení (třífázový systém, pevné látky, kapaliny, plyn)
- původ (rozbité horniny, geologie, diluvium, naplaveniny atd.)
- chování (dynamika, změny v čase)
- médium pro vlastnosti a procesy (skladování C, filtrace vody)
- funkce (produkce biomasy, uhlíková zásobárna, stavební materiál) (Dazzi & Lo Papa 2022).

Půdy jsou nejsvrchnější částí zemské kůry, vznikající desítky a stovky let zvětráváním hornin, odumřelé organické hmoty a také její součástí jsou živé organismy. Tvoří významnou složku životního prostředí a nejsou nevyčerpatelným zdrojem a k jejímu znehodnocení dochází velmi rychle a nevratně (Lipka 2013).

Půda byla studována heterogenními skupinami vědců a má rozdílný význam pro lidi na základě jejich kulturního zázemí. Na základě této úvahy lze většinu definic půdy navržených v posledních dvou letech lze seskupit takto:

- půdy jsou přírodní tělesa;
- půdy se vyvíjejí v prostoru a čase;
- půdy se tvoří na povrchu
- půdy jsou výsledkem složitých biogeochemických a fyzikálních procesů;
- půdy jsou schopné podporovat život;
- půdy jsou živé systémy.

Z výše uvedených úvah pedology vyplývá, že půdu lze synteticky konceptualizovat třemi způsoby: biofyzikálním, společenským a ekonomickým (Dazzi & Lo Papa 2022).

Otázku přesné definice půdy v procesu zvětrávání řeší (Certinni & Ugolini 2013). Snažili se odkrýt skutečnost, zda všechny zvětralé povrchy si zasloužily označení půdy. Půda je organický nebo litický materiál na povrchu planety pozměněný biologickými, chemickými nebo fyzikálními činiteli. Chybí specifikace materiálu nezpevněné povahy: soudržná hornina, ať už je jakkoli pozměněná, není vůbec půdou. Mnoho přírodních věcí postrádá všeobecně přijímanou definici. Půda je jedním z nich. Jedním z důvodů je její multifunkčnost. Využití půdy ve skutečnosti podmínilo způsob, jakým byla půda vnímána. Zemědělci tak například získali jiný pohled na půdu než stavitelé. (Certinni & Ugolini 2013).

3.1.2 Význam

Půda má nezaměnitelný význam v prostředí pro zajištění koloběhu vody a živin, prostředí pro rostliny a živočichy. Nárůst lidské populace a sílící tlak na přírodní zdroje potvrzují důraz na strategii udržitelného rozvoje a tím zvláště na ochranu půdního fondu. Závažnost situace v případě ochrany půdního fondu, zejména v rozvojovém světě byla řešena v roce 1972, dále na zasedání výboru ministrů k přijetí Evropské charty o půdě a v roce 1981, na 21 konferenci FAO k přijetí Světové charty o půdě. Závažnost této otázky byla plně zdůrazněna na mezinárodní konferenci "Environment and Development v Rio de Janeiru v roce 1992, které se zúčastnili vedoucí představitelé 178 států (mzp 2008).

Složení půdy lze rozdělit na fyzikální, chemické i biologické. Tvoří ji látky ve skupenství pevném, kapalném i plynném. Odborníci se ohrazují proti vnímání půdy jako věci, protože se spíše jedná o velmi složitou síť vztahů. Půdu do nedávné minulosti byly vlastnosti považovány za produkt pěti přírodních faktorů: mateční horniny, klimatu, vegetace, topografie a času. A teprve poslední roky se začíná spojovat další faktor formující její vlastnosti i rozsah půdy, je to sám člověk. Lidstvo je vlastně nejdůležitějším produktem půdy, v níž začíná potravní řetězec. A přitom lidstvo půdu, na níž nenahraditelně závisí, stále více znehodnocuje (Nátr 2011).

Strukturu půdy definuje velikost a uspořádání částic a pórovitost v půdě. Reguluje velké množství ekologických funkcí včetně dynamiky vody v půdě, výměny plynů v půdě a obsahuje organickou hmotu a živiny (Francoa et al 2017).

Rostliny jsou základem výživy celé populace a tím je půda pro rostliny nenahraditelná. Půda je zdrojem i dalších látek a energie všem ostatním organismům. Půda je důležitým článkem globálního koloběhu chemických prvků jako jsou uhlík, dusík, fosforu a dalších živin. Její nenahraditelné zastoupení v koloběhu vody je především v zadržování podstatného množství srážkové vody, tím snižuje rizika záplav, pohlcuje nemalý podíl slunečního záření a podílí se na řízení klimatu (Nátr 2011).

3.1.3 Funkce

Funkce, které půda má v přírodě a které má vzhledem k potřebám člověka, je nutno rozdělit v podstatě do tří skupin.

1. Funkce přírodní, v ekosystémech:

- půda tvoří životní prostor a základ života pro všechny suchozemské organismy jak rostlinné, tak živočišné;
- půda produkuje biomasu (což souvisí s životním prostorem pro organismy, ale je to i podstatou její produkční funkce);
- je součástí a prostředím látkového koloběhu v přírodě, zvláště koloběhu vody a živin;
- je prostředím pro výměnu tepelné energie mezi zemí a ovzduším;
- je prostředím pro infiltraci, akumulaci a retenci vody, pro transportní procesy (infiltrace, dotace podzemních vod), transformační procesy (rozklad látek a syntéza jiných) a pufrovací a neutralizační procesy (odolnost vůči degradaci, acidifikaci, znečištění).

2. Funkce užitkové (z hlediska člověka):

- je výrobním prostředkem, stanovištěm zemědělských a lesnických plodin, má určitou produkční funkci a produkční potenciál;
- je plochou pro hospodářské a stavební využití, pro bydlení, infrastrukturu, rekreaci;
- je zdrojem neobnovitelných surovin (štěrků, písku, hlín, rašeliny).

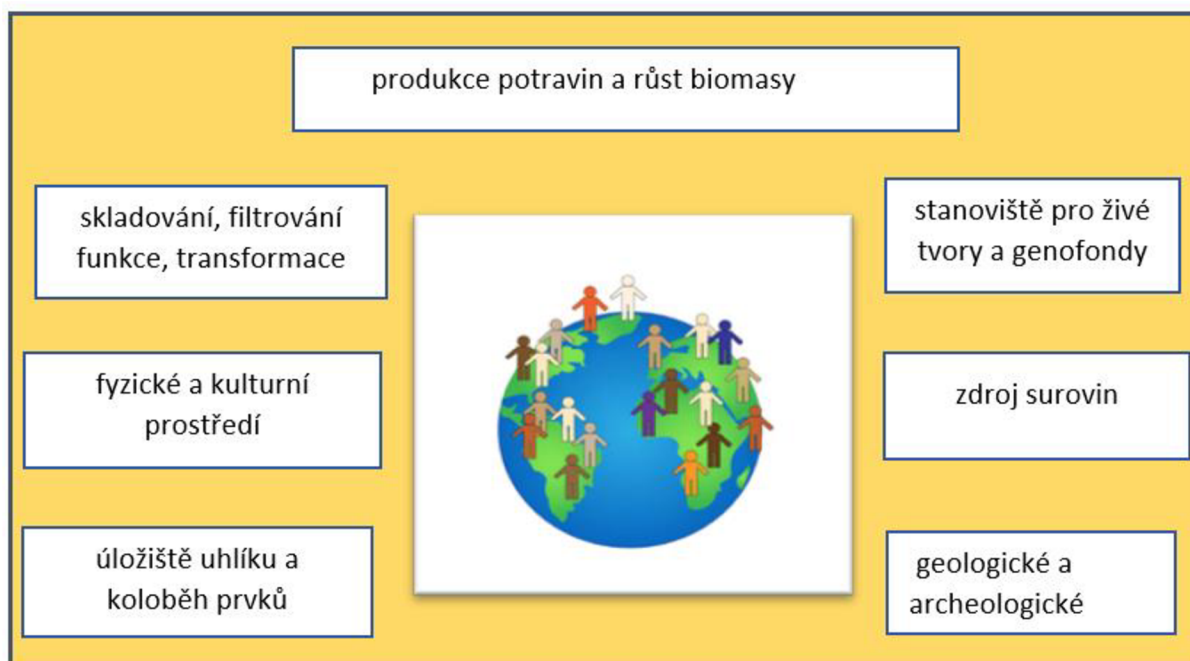
3. Funkce kulturní:

- půda je archivem dějin přírody a dějin historie lidstva, v půdě jsou zachovány a konzervovány změny klimatu, vegetace, paleontologické a archeologické nálezy.
- Všechny tyto funkce vykonává každá půda. Multifunkčnost půdy je tedy zřejmá, ale definovat, která z funkcí je pro danou půdu a pro dané stanoviště v dané době a v dané společnosti nejdůležitější více nebo méně významná, je problematické a záleží na okamžitém preferování určité funkce z hledisek potřeb člověka. Je samozřejmé, že to nemusí na jistém stanovišti nutně být funkce produkční: může to být funkce infiltrační (dotace zásob nezávadných podzemních vod) nebo funkce ochranná (chráněné povrchové vody), ale i funkce užitková, rekreační, stavební, zdroje surovin. Plnění jedné, v současné době preferované funkce neznamená, že půda nemá funkce další. V průběhu času se význam jednotlivých funkcí může velmi zásadně změnit.

Funkce půdy úzce souvisí s kvalitou půdy a kapacitou konkrétního druhu půdy k fungování v rámci ekosystémových hranic a souvisí to s multifunkčností půdy a jejich chemických, fyzikálních a biologických vlastností. Kapacita množství půd dodávat ekosystémové služby je do značné míry určena jejími funkcemi u každého druhu. Ekosystémové služby se označují jako přírodní kapitál (Greiner et al. 2017).

Bylo definováno sedm půdních funkcí ve strategii Evropské Unie a to (EK 2006): (i) výroba potravin a biomasa, (ii) skladování, filtrování a transformace sloučenin, (iii) stanoviště pro živé tvory a genofondy, (iv) fyzické a kulturní prostředí, (v) zdroj surovin, (vi) úložiště uhlíku a (vii) archiv geologického a archeologického dědictví. Bezpečnost půdy je zaměřena na udržení a optimalizace funkčnosti půdy s cílem zhodnotit přínos půdy pro environmentální a sociální přínosy. Přesto je stále náročné se pohybovat od těchto obecných teoretických rámců ke konkrétním operačním přístupům, které lze aplikovat v praxi (Greiner et al. 2017).

Funkce půdy je zde definována jako schopnost půdy plnit požadavky, které jí připisuje příroda, tedy to co půda dělá ve svém přirozeném stavu. Každá funkce půdy, která je podmožinou funkce ekosystému, je rozpoznána jako výsledek půdních procesů vznikajících z komplexu v interakcích mezi živými (biologickými) a neživými (fyzickými a chemickými) složkami půdy prostřednictvím univerzálních hnacích sil z hmotou a energií. Půdní služba je funkce půdy, kterou jednotlivec nebo společnost přímo nebo nepřímo využívá k dosažení lidského blahobytu. Půdní funkce se jako taková okamžitě změní na půdní službu, jakmile je doručena a využívána lidmi (Volcho et al. 2013).



Obrázek č. 1 Funkce půdy. Upraveno dle EK (2006).

3.1.4 Držba půdy

Držba půdy je rozhodující u různých způsobů degradace půdy (Sklenička 2016) a rozhodování zemědělce na zlepšení nebo alespoň zachování kvality půdy je důležité konání na více úrovních (Sun et al. 2020). SDG17 je mimo jiné propojen s vědním oborem pedologie a tím i zajištění funkce půdy a souvisejícími ekosystémovými službami a dále přispívá k ochraně a více možností zajistit čistou vodu pro lidstvo, území i zemědělství (Keestra et al. 2016).

Předpoklad je, že vlastník má vždy lepší motivaci chránit kvalitu půdy než uživatel – nájemce (Sklenička et al. 2015). Ale pro toto tvrzení neexistují žádné důkazy (Boardman, 2006). Vztah k půdě je prováděn pomocí nájemních smluv na dobu určitou, které nemusejí mít vždy záruku prodloužení doby nájmu (Deshpande 2003).

Tabulka č.1 Vývoj podílu pronajaté/propachtované půdy v ČR od roku 2005 do 2020 (v %) (ČSÚ 2021)

rok	2005	2007	2010	2013	2016	2018	2020
podíl vlastní půdy	14,3	16,67	22,02	25,71	26,87	28,03	27,28
podíl najaté půdy	85,7	83,33	77,98	74,29	73,13	71,97	72,72

Podle provedeného průzkumu v polském regionu Warminsko-Mazurskie byly identifikovány faktory ovlivňující provoz a rozvoj zemědělských podniků využívajících pozemky koupené nebo pronajaté ze státního zemědělského majetku. Pro fungování a rozvoj analyzovaných farem měly zásadní význam tržní faktory zaměřené na náklady a poptávku, zejména nestabilní ceny zemědělských produktů a vysoké ceny zemědělských výrobních prostředků. Velký vliv měly také faktory zaměřené na zdroje, zejména na výměru a kvalitu orné půdy i dostupné strojní zařízení. Významnou bariérou rozvoje dle názoru respondentů byl také omezený přístup k externím zdrojům financování, zejména úvěrům, a složitost postupů při podávání žádostí o dotace z Evropské unie. V případě zhoršení finanční a ekonomické situace by většina respondentů snížila výdaje a pokusila se získat podporu formou krátkodobé půjčky. Důležité je, že o prodeji prakticky nikdo neuvažoval (Mioduszewski et al. 2018).

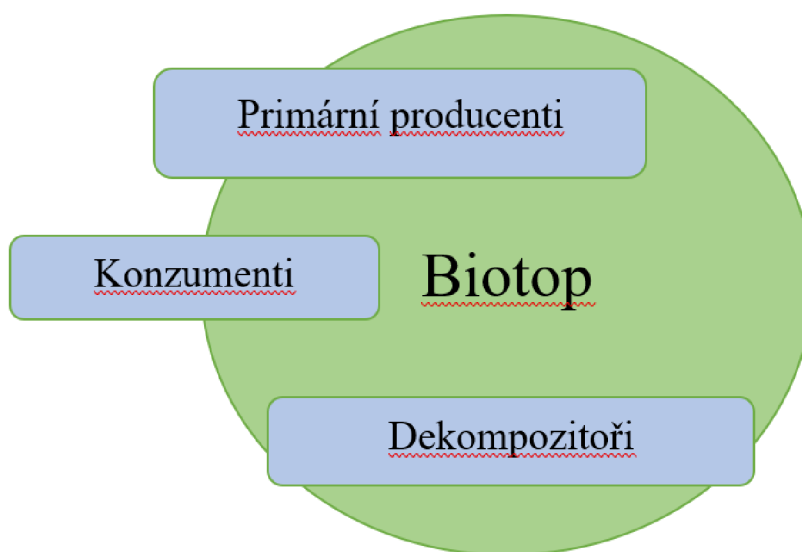
Půda je nejdůležitějším faktorem pro zemědělskou výrobu. Vývoj cen zemědělské půdy a jejich determinanty jsou proto důležitým výzkumným tématem v zemědělské ekonomice. Prudký nárůst cen půdy v Německu, ale i dalších evropských zemích motivoval k intenzivní výzkumné činnosti v této oblasti. Ceny půdy byly pozitivně ovlivněny nástroji zemědělské podpory. Po finanční krizi v roce 2008 vzbudila velkou pozornost hypotéza, že dodatečná poptávka nezemědělských investorů zrychlila růst cen. Protože však půdu lze kupovat a pronajímat, výzkum nezvažoval pouze prodejní ceny, ale také sazby za pronájem půdy (Schaak & Musshof 2022).

3.2 Ekosystémové služby

Pedosféra tvoří kontaktní prostředí geosféry, atmosféry, biosféry a hydrosféry. Odborníci poukazují na fakt, že lidstvo nevyužilo veškeré použitelné plochy pevnin k jejich přeměně na zemědělsky obdělávanou půdu. Bohužel je toto tvrzení omezeno dle následujících bodů:

- nejúrodnější plochy pevnin jsou už zemědělsky využívány, nové rozšíření bude ekonomicky náročné a výnosy budou nižší
- nové rozšiřování ploch bude na úkor přírodních ekosystémů a jejich služeb
- zvyšuje se plocha orné půdy, ohrožena degradací půdy (Nátra 2011).

Využití půdy je definováno jako opatření, činnosti a vstupy, které lidstvo podniká za účelem výroby, změny nebo udržování biofyzikálního obalu na zemského povrchu, včetně vody, vegetace, holá půda, holá skála a umělé struktury. Ekosystémové služby jsou definovány jako využívané funkce ekosystému lidstvem, ať už přímo nebo nepřímo, k dosažení lidského blahobytu. Ekosystémové služby jako takové zahrnují služby poskytované společně půdou, vzduchem, vodou a biotou. Lze tedy tvrdit, že většina půdních služeb je ve skutečnosti ekosystémovou službou, protože půda je zřídka jediným přispěvatelem ke konkrétní službě. Pojmy funkce půdy a půdní služba je výslednou ekosystémovou službou z ekosystémových procesů, kde je půda dominantní složkou a hnací silou. Rozdíl mezi půdními statky a půdními službami je zde ignorován. Pozorování platí pro organismus, ekosystém, krajinu, biom, biosféra mohou být považovány za různé úrovně pozorování v ekologickém měřítku (Volcho et al. 2013).



Obrázek č.2 Funkční složky ekosystému.

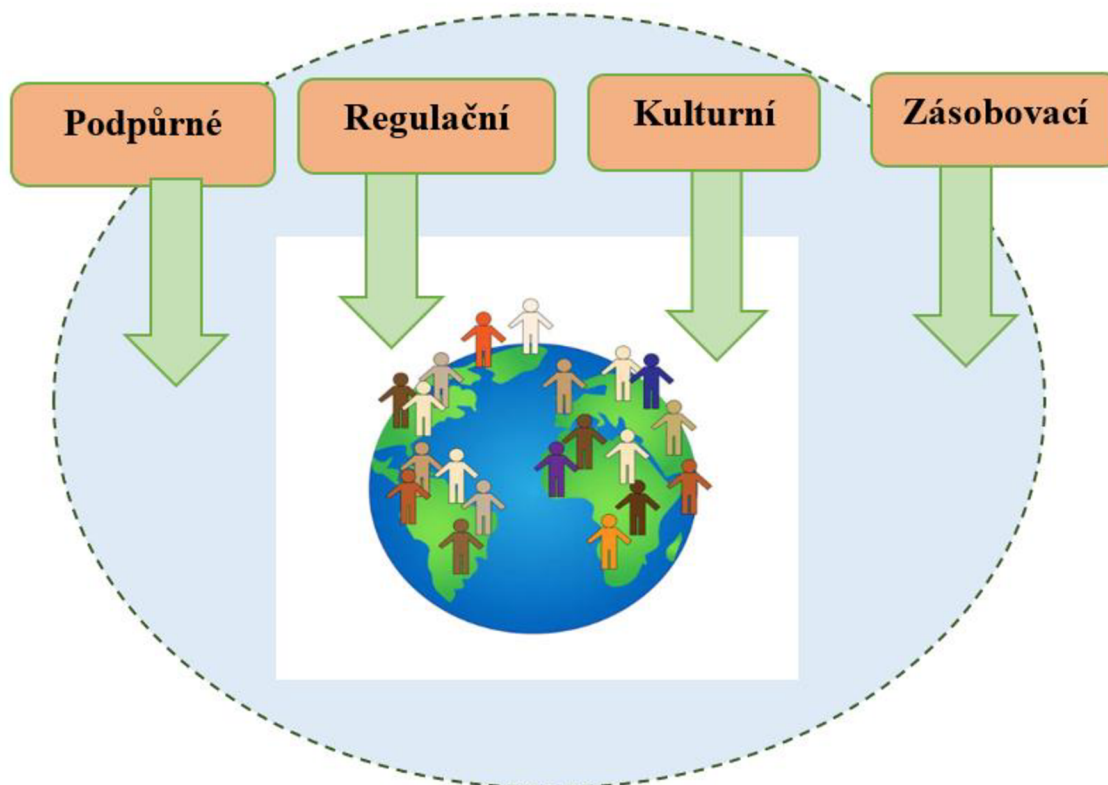
Zdraví půdy je schopnost půdy fungovat jako živý systém v rámci celého ekosystému, je nezbytný pro využití půdy a udržování produktivity pro rostliny a zvířata. Souvisí se zlepšováním kvality vody, ovzduší a podpořením zdraví rostlin i zvířat. Antropogenní snížení zdraví půdy a jednotlivých složek kvality půdy je naléhavým ekologickým problémem. Význam užitečných půdních organismů jako indikátorů kvality půdy a determinantů půdního zdraví je v současné době velmi ceněn. Půdní organismy a biotické parametry (např. abundance, diverzita, struktura potravní sítě) splňují většinu kritérií pro užitečné ukazatele kvality půdy. Půdní organismy citlivě reagují na postupy hospodaření s půdou a klima. Dobře korelují s prospěšnými funkcemi půdy v ekosystémech, včetně zásobení vody, rozkladu a cyklu živin, detoxikace toxických látek a potlačení škodlivých a patogenních organismů. Půdní organismy také ilustrují řetězec příčin a následků, který spojuje rozhodnutí o hospodaření na půdě s konečnou produktivitou a zdravím rostlin a zvířat. Indikátory musí být srozumitelné a užitečné pro správce půdy, kteří ovlivňují svou činností kvalitu a zdraví půdy. Viditelné organismy, jako jsou žížaly, hmyz a houby, toto kritérium historicky splňují (Doran & Zeiss 2000).

Navzdory skutečným rozdílům jen málo výzkumníků rozlišuje mezi kapacitou ekosystému produkovat službu, skutečnou produkcí nebo využíváním této služby, společenskou poptávkou po této službě a přírodními a antropogenními tlaky na službu (Villamagna 2013).

Aby se předešlo další degradaci půd a v důsledku toho poskytování půdních ES, věda o půdě požadovala komplexní zvážení kvality půdy při rozhodování, protože půdy jsou marginalizovány jako pouhý povrch. Přestože existuje nespočet indikátorů kvality půdy, jejich disciplinární zaměření komplikuje diskusi o protichůdných způsobech využití půdy. Představujeme nový přístup k základní kvalitě půdy nejen na hodnocení funkce půdy, ale na schopnosti půdy podporovat různé ES. Index kvality půdy SQUID (Soil Quality Indicator) spojuje sadu deseti různých funkcí půdy s různými ekosystémovými službami pomocí expertního přístupu Delphi (Drobni et al. 2018). Metoda Delphi se uplatňuje jako oblíbený nástroj ve výzkumu informačních systémů pro identifikaci a prioritizaci problémů pro

manažerské rozhodování. Metoda Delphi jako výzkumný nástroj, který má sloužit různým účelům v procesu teoretizování. Zvýšení přísnosti zvýší jistotu, se kterou mohou výzkumníci používat výsledky v následných studiích, a manažeři se mohou rozhodovat na základě informací shromážděných pomocí těchto metod (Okoli & Pawlowski 2004). Autoři došli k závěru, že index SQUID by mohl být slibným přístupem k lepšímu začlenění kvality půdy do rozhodování, protože má potenciál překonat disciplinární hranice a podpořit diskuse o kompromisech mezi různými, možná protichůdnými zájmy v oblasti využívání půdy (Drobnik et al. 2018).

Autoři uznávají, že ekosystémy jsou bohaté na vazby mezi biofyzikálními a sociálními prvky, které vytvářejí silnou vnitřní dynamiku. Na rozdíl od tradičních redukcionistických přístupů upozorňují na přijetí holistické perspektivy, která je schopna vysvětlit rostoucí rozsah vědeckých studií, které upozornily na neočekávané důsledky lidské činnosti (Haines-Young & Potschin 2018).



Obrázek č.3 Služby ekosystémů. Upraveno dle Nátra 2011.

Půdu lze považovat za ekosystém, který poskytuje cenné služby a přitom hodnota půdy, jako u většiny služeb ekosystému zdaleka neodpovídá její tržní ceně.

Jsou to především tyto služby:

- **Zásobovací.** Nezastupitelná služba v produkci potravin, dřeva paliva a mnoha surovin.

- **Podpůrné.** Vztahují se k zabezpečení dostupnosti vody i živin a podílejí se na jejich koloběhu.
- **Regulační.** Souvisí s regulací klimatu i balanci vody, včetně jejího čištění.
- **Kulturní.** Souvisí s estetickou hodnotou včetně kulturního dědictví, vztahují se k rekreačním aktivitám (Nátr 2011).

Půdy musí být odolné, aby mohly plnit funkce, které se od nich vyžadují, i když jsou vystaveny proměnlivosti v kontextu krátkodobých a dlouhodobých změn životního prostředí. Toto pochopení základu odolnosti pravděpodobně podpoří lepší hospodaření s chudšími půdami, aby se zvýšila jejich odolnost a zároveň umožňuje efektivní hospodaření se všemi půdami v dlouhodobém horizontu. Odolnost byla definovaná jako odpor, nebo také stupeň změny spojený s obnovou tedy rychlostí následného zotavení (Carstanie et al. 2015).

Zlepšení kvality půdy v systémech kontinuálního pěstování je zásadní k udržení zemědělské produktivity a kvality životního prostředí pro budoucí generace. Organický uhlík v půdě (SOC) je nejčastěji uváděným atributem v dlouhodobých studiích, jako ukazatel kvality půdy a udržitelnosti v zemědělství vzhledem k jeho dopadu na ostatní fyzikální, chemické a biologické ukazatele. Dlouhodobé studie důsledně ukázaly přínos aplikace přiměřeného hnojení a střídání plodin na udržení agronomie produktivity zvýšením vstupů uhlíku do půdy. Je to základním ukazatelem kvality půdy, který je neoddělitelně spojen s ostatními fyzikálními, chemickými a biologickými ukazateli kvality půdy. Mezi další agrotechnické opatření patří dostatečné hnojení a návrat posklizňový zbytků do půdy, a co je nejdůležitější, konvenční zpracování půdy spojené s vhodným osevnickým systémem a střídání (Reeves 1997).

3.2.1 Složení půdy

Půdní procesy nejsou stálé v čase, je to dynamicky se neustále vyvíjející systém, který reaguje na změny v okolním prostředí. Půdu je chápána jako trojrozměrné těleso, které zaujímá určitou plochu a zasahuje do určité hloubky. Závislost bývá určena charakterem přírodních podmínek, obecně je chápána jako dolní mez hloubka půdy do dvou metrů.

Půdní profil je vertikální rozměr půdy, popisuje sled jednotlivých půdních vrstev, půdních horizontů, které se liší svými znaky a jsou výsledkem přísunů, ztrát, výměny a přeměny látek a energie v půdě.

Půdní typy rozlišujeme dle skladby půdního profilu (Penížek et al. 2019).

Složení půdy odpovídá specifické pozici půdy na rozhraní horninového prostředí a atmosféry, tím je neustále v kontaktu s vodou i organismy. Půda je třífázový systém, zastoupeny jsou skupenství pevné, plynné a v kapalném.

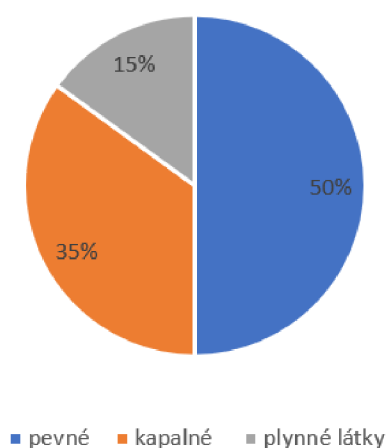
Pevná fáze obsahuje částice různě velkého složení, které podle původu a povahy dělíme na látky minerální a organické. Pevná složka tvoří přibližně polovinu objemu půdy, druhou polovinu představují půdní póry, tedy volná místa v půdě, zaplněná půdním vzduchem a půdní vodou. Jejich podíl na celkovém objemu půdy kolísá v závislosti na jejich aktuální vlhkosti.

Půdní vzduch se vyskytuje v pórech, které nejsou zaplněny půdní vodou. Od atmosférického vzduchu se liší svým složením, např. vyšším podílem vlhkosti a oxidu uhličitého, obsah kyslíku je naopak nižší. Podíl jednotlivých složek půdního vzduchu je značně variabilní.

Půdní voda je nutná pro růst rostlin a výživu půdních organismů. Lze říci, že půdní vláha je klíčovým faktorem produktivity ekosystémů včetně těch zemědělských. Pohyb půdní vody a látek v ní rozpuštěných má značných vliv na lokální a regionální zásoby vody a jejich kvalitu. Půdní voda obsahuje stovky rozpuštěných organických a anorganických látek, včetně živin nutných pro růst rostlin, proto je odborně označována jako půdní roztok (Penížek et al. 2019).

Kalina (2016) uvádí hodnotu pevné složky v rozmezí 50–85 % půdy, kapaliny nebo půdní roztok tvoří představují 10–45 % z celkového objemu půdy. Plynné látky neboli půdní vzduch vyplňují 5–40 % prostoru půdy. Graf č. 1 ukazuje optimální poměr složení je 10 : 7 : 3 (50 % : 35 % : 15 %).

Optimální zastoupení složek v půdě



Graf č.1 Optimální zastoupení složek v půdě (Kalina 2016)

3.2.2 Organická hmota

Organická hmota v půdě je zastoupena živými půdními organismy a tvoří půdní edafon. Součástí jsou i odumřelé zbytky, jednak ve formě organických látek v různém stupni rozkladu produkovaných při přeměně organických zbytků. Ačkoliv je organická hmota ve většině půd přítomna pouze v malém množství (u našich půd se pohybuje v rozmezí 1,5-3,5 %) je pro fungování ekosystémů i zemědělskou produkci zcela zásadní (Penížek 2019).

Tabulka č.2 Zastoupení organismů v půdě

Skupina	Podskupina	Biomasa [%]
mikroorganismy	bakterie, archea a houby	80
mikrofauna a mezofauna	hlístice, chvostokoci a roztoči	2
makrofauna	roupice a žížaly	14
další (např. zástupci megafauny)	–	4

Tabulka č. 2 popisuje zastoupení hlavních skupin organismů v půdě. Přibližný odhad založený na mnoha studiích o vzájemném poměru biomasy jednotlivých hlavních velikostních skupin edafonu v půdě. Roupice většinou bývají řazeny do mezofauny (viz v textu). Pomineme-li nejisté nebo nejednoznačné třídění jednotlivých skupin půdní fauny, z tab. vyplývá, že mikroorganismy tvoří zhruba 80 % biomasy edafonu, zatímco na půdní živočichy připadá asi 20 %. (Šimek et al. 2020).

Půdní organická hmota (SOM) je základním zdrojem pro lidstvo a pro mnoho ekosystémových služeb, které poskytuje. Zvýšení jeho zásob může významně přispět ke zmírnění změny klimatu a udržitelnosti zemědělské výroby. Objasnění mechanismů a hnacích sil tvorby hlavních složek SOM, částic a organických látek spojených s minerály, z rozkladu rostlinných vstupů, je proto zásadní pro navrženou podporu regenerace SOM (Cotrufo 2022).

Tabulka č. 3 Charakteristické znaky a vlastnosti skupin edafonu (Šimek et al. 2020).

Funkční skupina (hledisko)	Mikroorganismy (mikroflóra)	Mikrofauna	Mezofauna	Makrofauna
charakteristická šířka těla	0,3–20 µm	< 0,2 mm	0,2–10 mm	> 10 mm
skupina organismů	bakterie, houby	protista (prvoci), hlístice	mikroartropoda (členovci), roupice	termiti, žížaly, mnohonožky, mravenci
vztah k vodě	hydrobionti	hydrobionti	hygrobionti	hygrobionti
interakce s mikroorganismy	antibióza aj.	predace aj.	predace aj.	mutualismus aj.
schopnost měnit fyzikální prostředí	ne	ne	omezená	vysoká
rezistence vůči stresu	vysoká	vysoká	střední	nízká
intenzita metabolismu	vysoká	střední	nízká	nízká

Charakteristické znaky a velikosti jednotlivých skupin půdní fauny ukazuje tabulka č. 3. Rozdělení je podle různých autorů jde pouze o přibližné třídění. V rámci každé skupiny existují druhy, které se velikostně vymykají zařazení do ostatních druhů.

Významu půdních saprotrofních hub v agroekosystémech je věnována stále větší pozornost. Půdní houby se obecně dělí na saprotrofní houby, mykorhizní houby a patogeny, přičemž saprotrofní houby představují největší skupinu. Ascomycota, Basidiomycota a Zygomycota jsou tři hlavní houbové kmeny, které obsahují saprotrofy v agroekosystémech. Saprotrofní houby se podílejí na půdním cyklu rozkladu a tím vytváření živin. Organický materiál a růst saprotrofních hub podporuje stabilitu půdního agregátu, čímž poskytuje fyzickou ochranu organické hmoty půdy. V posledních desetiletích intenzivní zemědělské hospodaření na orné půdě, jako je obdělávání půdy a používání chemických hnojiv a pesticidů, snížilo biomasu saprotrofních hub. Bohatství a rozmanitost saprotrofních hub se však na orné půdě mění. Aplikace organických hnojiv zvýšila aktivitu, diverzitu a biomasu saprotrofních hub. Hnojení výrazně změnilo poměry C:N:P v půdě, tím diverzita půdních bakterií a hub silně korelovala s poměry uvedených prvků (Ning et al. 2021).

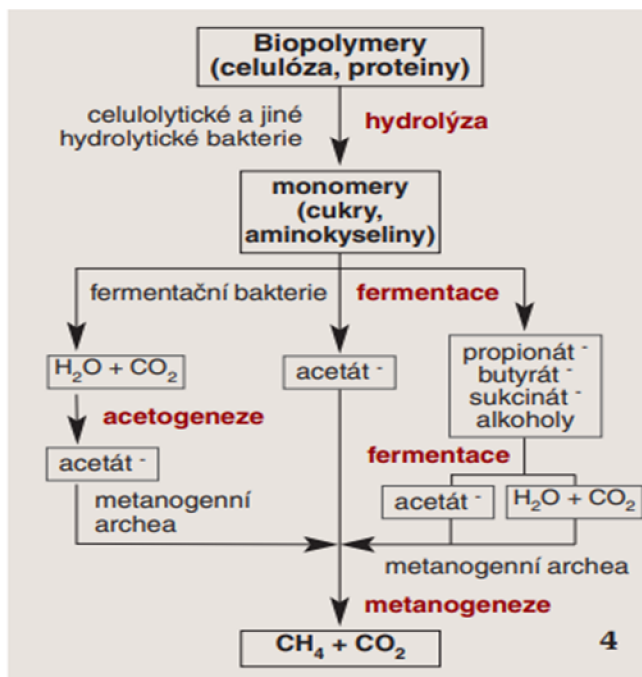
Vědecká studie posuzovala základní postupy ke zmírnění emisí N₂O v klimatických, půdních a zemědělských podmínkách Polska. Návrhem pro běžnou praxi bylo udržování optimálního (tj. blízkého neutrálnímu) pH půdy snižování emisí N₂O v Polsku s ohledem na zvyšování acidifikace půd, které naznačují zvýšené emise N₂O z kyselých půd. Za účinný postup snižování emisí N₂O lze považovat aplikaci inhibitorů ureázy a nitrifikace spolu s hnojením dusíkem. Z ekonomických důvodů je použití dusíkatých hnojiv s takovými přísadami v současnosti omezeno na nezemědělské segmenty rostlinné výroby. Zalesňování málo produkčních půd nabízí atraktivní příležitost ke snížení emisí N₂O (Sosulski et al. 2017).

Rozhraní mezi rozkládajícími se rostlinnými zbytky a půdními minerály představuje základní půdní mikroprostředí, ve kterém se tvoří půdní organická hmota. Vysoké množství mikrobiálních produktů a zbytků v místě mikrobiální aktivity podporuje tvorbu organické hmoty spojené s minerály. Kromě klasických kvantitativních analýz naše chápání procesů řídících tvorbu organické hmoty v půdě velmi těží z mikroskopických pozorování a měření, která poskytují prostorově rozlišené informace ve smysluplném měřítku pro mikrobiální procesy a pro spojení mezi organickými a minerálními částicemi. Byl studován přenos uhlíku a dusíku z čerstvých rostlinných zbytků do minerální půdy prostřednictvím pokusu s rozkladem steliva v umělé půdní směsi. Jehličí smrku ztepilého (*Picea abies* L.) byly umístěny do mikrodávkových nádob naplněných umělou půdní směsí bez půdní organické hmoty. Nádoby byly ponořeny v čerstvém materiálu organické vrstvy z porostu smrku ztepilého a inkubovány po dobu 14 a 42 dnů. Použita byla hmotnostní spektroskopie sekundárních iontů v nanoměřítku (NanoSIMS) ke zkoumání prostorové distribuce minerálních a organických sloučenin v blízkosti jehličí do minerální půdy (0–550 μm od jehličí). Po 14 dnech byla zobrazena vzniklá organická hmota spojené s minerály v okolí rozkládajícího se jehličí. Po 42 dnech jsme pozorovali podstatnou kolonizaci jehlic a detritusféry saprotrofní houby. Hyfy hub se rozšířily do minerální matrice umělé půdy a působily jako vektory pro přenos uhlíku a dusíku pocházejícího z podestýlky do objemné půdy. To vedlo ke zvětšení plochy pokryté organickou hmotou v detritusféře, přičemž až 10 % z celkové zkoumané plochy bylo klasifikováno jako organická hmota úzce spojená s minerálními povrchy. Výsledky poskytly důkaz, že uhlík a dusík pocházející z rozkladu steliva byly transformovány mikroorganismy a tím byla organická hmota spojená s minerály, heterogenně distribuovaná ze zdroje podestýlky a stále detekována 550 μm od zdroje podestýlky. Úzká asociace nově vytvořené půdní organické hmoty a jemných minerálů naznačuje, že tvorba byla přímo řízena mikrobiální aktivitou (Vidal et al. 2021).

Tvorba organické hmoty

Půda „účinkuje“ jako jemné rozhraní mezi biosférou, hydrosférou, atmosférou a litosférou. Jde o dynamický a hierarchicky organizovaný systém různých organických a anorganických složek a organismů, jejichž prostorová struktura vymezuje velké, složité a heterogenní rozhraní. Biogeochemické procesy na půdních rozhráních jsou zásadní pro celkový vývoj půdy a jsou primární hnací silou klíčových funkcí ekosystému, jako je produktivita rostlin a kvalita vody. V konečném důsledku tyto procesy řídí osud a transport kontaminantů a živin do vadózní zóny a jako takový jejich biogeochemický cyklus. Cílem výzkumu biogeochemických rozhraní je získat mechanické porozumění architektuře těchto

biogeochemických rozhraní v půdách a komplexní souhře a vzájemných závislostech fyzikálních, chemických a biologických procesů působících na těchto dynamických rozhraních v půdě a v jejich rámci. Do praxe, je nezbytná integrace půdních fyzikálních, chemických a biologických disciplín. Vyžaduje přizpůsobení a vývoj charakterizačních a sondovacích technik přizpůsobených ze sousedních oblastí molekulární biologie, analytické a výpočetní chemie, jakož i materiálů a nanověd (Totsche e. al 2010).



Obrázek č.3 Rozklad organických látek

Na obrázku je zoprázen průběh rozkladu organických látek, fermentace a tvorba metanu za účasti půdních anaerobních prokaryot. Nejprve za působení enzymů v půdním prostředí byly biopolymery byly rozloženy na jednodušší látky, které již mohou být přijaty do buněk prokaryot. Činností bakterií i archeí jsou buď rozloženy na vodu (H₂O) a oxid uhličitý (CO₂), nebo fermentací přeměněny na jiné jednoduché sloučeniny a dále také na CO₂ a H₂O. Metanogenní archea mohou v anaerobních podmínkách produkovat i metan (CH₄). Konečným produktem rozkladu nemusí být metan neboť může být metanotrofními mikro - organismy využit a přeměněn na CO₂ (tento krok již na obr. není znázorněn). Minus (-) u sloučenin označuje meziprodukty metabolismu (Ehottová et al. 2020).

3.2.3 Minerální složka

Minerální složka půdy je tvořena zrny různé velikosti, která pocházejí přímo z horniny nebo vznikla specifickými procesy v půdním prostředí. Součástí jsou i částice větší velikosti (štěrk, kameny), které souhrnně nazýváme půdní skelet (Penížek 2019).

Minerální živiny

Minerální živiny jsou uvolňovány do půdního roztoku rozkladem organických látek, zvětráváním půdotvorných minerálů a hornin, oba tyto procesy jsou zabezpečovány půdními

organismy. Rostliny pak hojně využívají služby poskytované půdními organismy především příjem minerálních živin z půdy. Hlavní biogenní prvek je **uhlík**. Půdu jim zásobuje převážně autotrofní rostliny, které ve fotosyntéze přeměňují oxid uhličitý z ovzduší na organické sloučeniny, které pak z velké části poskytují společenstvo, z nichž je většina heterotrofních a odkázaná na příjem organických látek vytvořených autotrofními organismy. Interakce mezi rostlinami a půdními organismy není jednosměrná, ale oboustranně výhodná spolupráce. Ústředním prvkem veškeré biomasy na Zemi je uhlík, ten je však doprovázen řadou dalších prvků. Pro tvorbu biomasy a zajištění životních funkcí potřebují organismy nejméně 16 chemických prvků.

Živiny z biomasy se podle koncentrace rozdělují na makroživiny neboli makroprvky, jejichž obsah obvykle přesahuje 1 g/kg (suché biomasy). Patří k nim C, H, O, N, P, S, Ca, Mg, K a Cl. Obsah mikroživin neboli mikroprvků je zpravidla menší 0,1 g/Kg (suché biomasy), a řadí se mezi ně Fe, Mn, Zn, Cu B a Mo.

Živiny v suchozemském ekosystému „kolují“ mezi třemi hlavními rezervoáry:

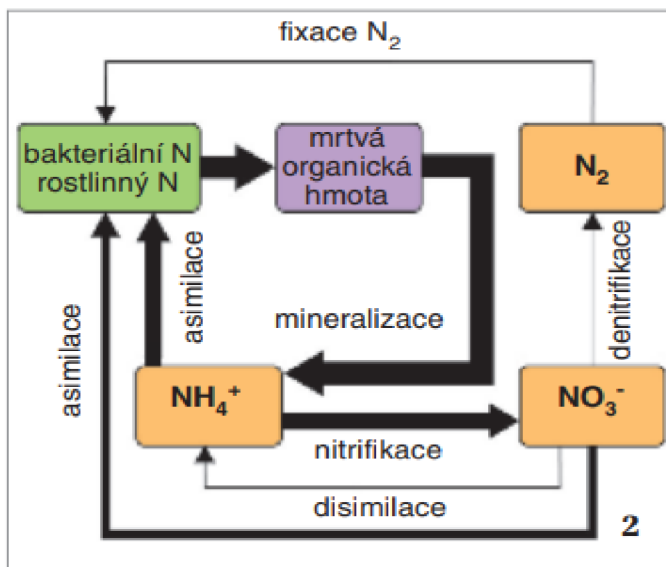
- anorganický zásobník (půdní roztok a vzduch, minerály v půdě),
- organismy (rostliny, živočichové a mikroorganismy),
- organické zbytky a humusové látky.

Dusík a jeho cykly v ekosystémech

Dusík je důležitý prvek při tvorbě biomasy a životních funkcí všech buněk. Je součástí většiny důležitých biomolekul, z těch hlavních to jsou: bílkovin, nukleových kyselin, chlorofylu, chitinu a peptidoglykanů tvořících buněčné stěny.

Globální cyklus dusíku představuje pronikání mezi litosférou, pedosférou, hydrosférou a atmosférou. Přes 98 % veškerého dusíku na Zemi je obsažen v litosféře, ale jeho většina se globálního cyklu neúčastní. Zásobou dusíku je atmosféra, vyskytuje se ve formě oxidů NO, N₂O, NO₂ a hlavně molekula N₂. V suchozemském ekosystému je plynný N₂ fixován redukován na amoniak (amonný ion NH₄⁺). Amonná forma je v různých sloučeninách začleněna do biomasy, po odumření je z organických vazeb uvolněn. Znovu může být jako živina, vázán v sorpčních komplexech, fixován v jílových minerálech, uvolněn do atmosféry (volatilizován) nebo nitrifikací převeden na nitrátovou formu (NO₃⁻). Půdy obsahují 0,02 – 0,50 hmotnostních % sušiny. Většina je ve vazbě R-NH₂. Významná fixace N₂ pro rostliny je bakteriemi rodu *Rhizobium* + leguminózy, rostliny čeledi bobovitých (*Fabacea*).

Míneralizace organických látek je nazývána amonifikace, hlavním produktem tohoto procesu je amonná forma dusíku. Síla čar na obr. č. znázorňuje velikost přenosů dusíku.

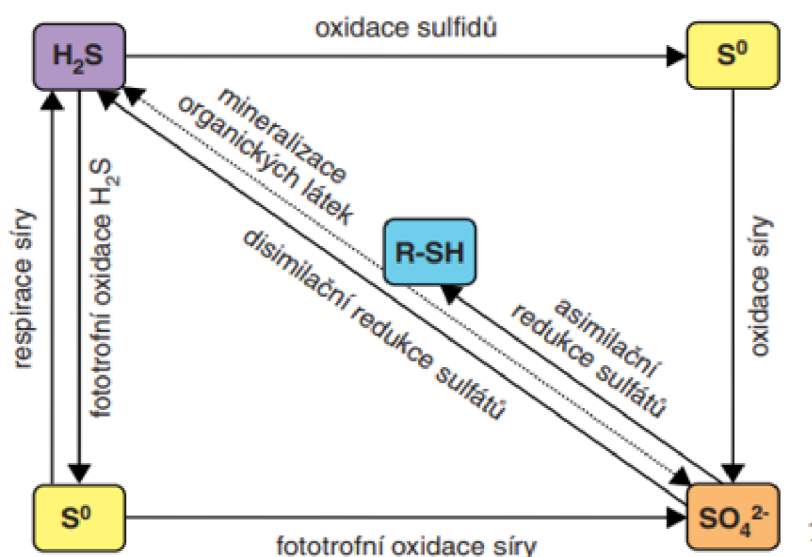


Obrázek č. 4 Proces přeměny dusíku v ekosystému (Šimek et al. 2021).

Síra

Síra patří mezi další nezbytné prvky pro všechny organismy. Nepostradatelná pro syntézu aminokyselin, cysteinu a metioninu. Vyskytuje se v důležitých biologických látkách v hormonech, vitamínech, enzymech. Globální cyklus síry je podobný jako dusíku, nachází se v mnoha sloučeninách v různých oxidačních stavech. Většina síry je obsažena v horninách zemské kůry a také v atmosféře. Síra je z atmosféry ve formě suchých i mokrých depozic transportována do suchozemských i vodních ekosystémů. Od konce 19. století na globální cyklus síry silně působí antropogenní vliv. V půdě se síra vyskytuje v anorganických formách, především jako sulfát, sulfidy, prvková síra a thiosulfáty. V organických sloučeninách je síra ve více než 90 % veškeré síry v půdě.

Mikroorganismy jsou hlavní hybnou silou cyklu síry, jejím vnitřním zdrojem je rozklad organické hmoty. V půdě síra prochází řadou mikrobiálních přeměn, zahrnují mineralizační a imobilizační reakce, oxidační a redukční reakce a přeměnu dle obrázku č.

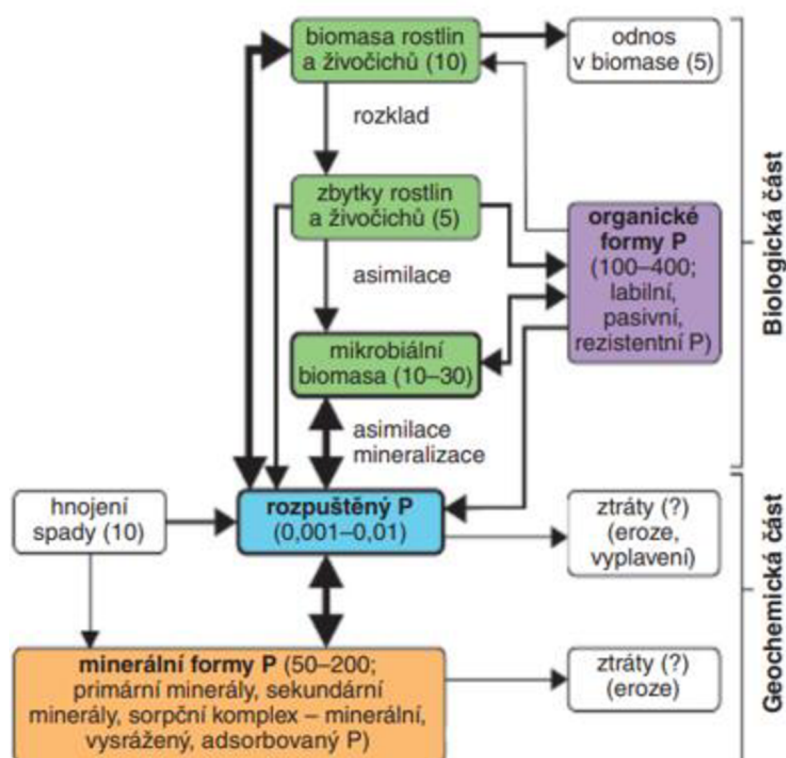


Obrázek č. 5 Hlavní procesy přeměny síry v půdě (Šimek et al. 2021).

Fosfor

Cyklus fosforu, biokritického prvku, kterého je v přírodě nedostatek, je důležitým procesem zemského systému. V minulosti docházelo ke změnám v cyklu fosforu. Například rychlé vyzdvižení himálajsko-tibetské plošiny zvýšilo chemické zvětrávání, což vedlo ke zvýšenému přísunu fosforu do oceánů. To způsobilo pozdní miocén „biogenní rozkvět“. Fosfor je navíc redistribuován na glaciálních časových úsecích, což je důsledkem ztráty podstatného kontinentálního propadu pro reaktivní P během ledovcových nížin na hladině moře.

Modernímu zemskému cyklu fosforu dominuje zemědělství a lidská činnost. Přírozené říční zatížení fosforem se zdvojnásobilo kvůli zvýšenému používání hnojiv, odlesňování a ztrátě půdy a zdrojům odpadních vod. To vedlo k eutrofizaci jezer a pobřežních oblastí (Fappelli 2008).



Obrázek č.6 Cyklus fosforu (Šimek et al.2021).

Cyklus fosforu v půdě a suchozemském ekosystému. Cyklus se dělí na biologickou a geochemickou část. Čísla v závorkách udávají průměrné množství P (kg/ha, vrstva půdy 0–10 cm) nebo přenosy P (u odnosu v biomase a u hnojení a spadů; kg/ha/rok) (Šimek et al.2021).

3.2.4 Chemické procesy

Minerály, organická hmota a mikroorganismy mají v suchozemských ekosystémech významné interakce vyššího řádu. Tyto interakce mají silnou kontrolu nad půdními fyzikálními, chemickými a biologickými procesy. Rovnováha mezi procesy rozpadu a obnovy řídí dostupnost N, P a S a je citlivá na hospodaření s půdou. Stabilita organické hmoty (SOM) může být ovlivněna kultivací, protože fyzické narušení, jako je orba, působí na půdní makroagregáty.

Povrch půdy, jako prostředí minerální složky hrají zásadní roli v katalýze abiotické tvorby huminových látek. Půdní minerály, zejména nekystalické minerály, mají schopnost chemicky stabilizovat SOM. Organické látky také působí jako pojiva pro podporu a stabilizaci agregace. Proto nekystalické minerály zpomalují mikrobiální degradaci SOM, což zase inhibuje transformaci nekystalických minerálních fází na krystaličtější minerály. Mezi půdními minerály, organickou hmotou a mikroby tedy existují odlišné interaktivní mechanismy, které by měly mít přímý vliv na stabilitu prvků C, N, P (Huang et al. 2005).

Zásoby půdní organické hmoty (SOM) s různou stabilitou hrají různé role v zemědělských a environmentálních procesech, např. v globálním uhlíkovém cyklu. Ve studii bylo měřeno pyrolýzou pro stanovení četnosti, kvality a hlavních biologických zdrojů SOM, jakož i pro hodnocení relativního podílu labilních (čerstvé rostliny a podestýlka), a rezistentní (lignin a celulóza) biomakromolekuly, nezralé (huminové látky) a zralé žáruvzdorné (přirozeně stabilní biologické sloučeniny, organická hmota stabilizovaná fyzikálně-chemickými procesy a černý uhlík) geomakromolekuly. Vzorky byly odebrány z horizontů Leptosol, Luvisol a Acrisol vytvořených za různých půdních podmínek (minerální složení, pH a vyluhování). Výsledky ukázaly, že zbytky rostlin jako prekurzory SOM pro všechny tři vzorky. Porovnání výsledků naměřených a vypočítaných na celých vzorcích půdy a jejich makromolekulárních frakcích ukázaly, že stabilizace SOM byla řízena hlavně organo-minerální asociací v Leptosolu a Luvisolu (Czirbus et al. 2016).

Byla zkoumána závislost mezi pH půdy a smáčivostí půdy. Zvyšující se smáčivost se zvyšujícím se pH byla přičítána vyluhování huminových (a fulvových) kyselin (zejména při vysokém pH), čímž byly vystaveny hydrofilní minerální povrchy. Zvýšení smáčivosti může vzniknout v důsledku zvýšení proměnlivé hustoty náboje mnoha půdních složek (oxid křemičitý, oxidy železa a hliníku, povrchy minerálních okrajů, organická hmota) se zvyšujícím se pH v důsledku vysoké hydratace výměnných kationtů. Nebyly zjištěny žádné závislosti mezi parametry povrchové smáčivosti a obsahem organické hmoty v půdě, pH a částicovými charakteristikami. V literatuře byly uvedeny spíše zvláštní jevy pro velmi podobné půdy a neposkytují spolehlivé předpovědi smáčivosti půdy obecně (Hajnos et al. 2013).

3.3 Úrodnost půdy

Fenomén úrodnosti půdy se vědomě jeví jako samostatný orgán s vlastními mentálními a materiálními kvalitami, na které se odkazuje v tradiční kultuře. Hlavní rysy kultivace půdní úrodnosti jsou sjednocení čtyř prvků, religio vůči duchovní stránce přírody, oběti a erosu. Přehodnocení fenoménu úrodnosti půdy v moderních termínech by bylo inovativním a perspektivním výzkumným programem. Praktická a vědecká práce o půdní úrodnosti by měla znovu objevit a oživit cit a vnímání fenoménu půdní úrodnosti v jeho mentální i materiální stránce (Patzel et al. 2000).

Úrodnost půdy závisí do značné míry na interakcích mezi půdou, rostlinami a půdními organismy v rhizosféře. Toto je oblast aktivní výměny mezi rostlinami a půdními bakteriemi,

kde fotosyntéza podporuje růst a aktivitu rhizosférických mikroorganismů. V takovém extrémně heterogenním prostředí působí bakteriální populace kooperativně. Jestliže jsou živiny v jejich okolí vyčerpány mikroorganismy, reagují produkcí extracelulárních enzymů pro mineralizaci nedostatkových živin z mineralizovatelných částic půdní organické hmoty. Zvýšené množství mikrobiální biomasy přitahuje predátory, zejména prvoky, pro které je elementární složení bakteriálních buněk stechiometricky velmi podobné a snáze stravitelné než zbytky rostlinné biomasy. V důsledku toho byly příznivé účinky bakteriovorů na růst rostlin připisovány živinám uvolněným ze spotřebované bakteriální biomasy. Přes počáteční příjem živin mikroorganismy vede jejich mnohem kratší životní cyklus ve srovnání s kořeny rostlin k uvolňování získaných živin zpět do půdy, tyto živiny jsou pak k dispozici pro příjem kořenem ve větším množství než na začátku (Zahora et al. 2015).

Tabulka č.4

Příklad dynamických prvků půdní úrodnosti (Balík, 2009).

Základní charakteristika	Prvek půdní úrodnosti
Zásoba živin	množství přístupných živin (makro + mikroelementy)
Lehce rozložitelné organické frakce	minerální dusík + dusík mineralizovatelný; mineralizovatelná síra
Sorpční vlastnosti	KVK
Půdní reakce	hodnota pH

Pokles půdní úrodnosti úzce souvisí s degradací půdy, především s erozními jevy, poklesem obsahu organické hmoty, změnou klimatu, snížením půdní biodiverzity a v neposlední řadě s nevhodnou zemědělskou praxí. Ačkoliv lidská populace z globálního hlediska roste, tak potenciální půdní úrodnost a rozloha zemědělské půdy klesá (Balík 2010).

3.3.1 Degradace půdy

Posun od sběru potravin k řízené rostlinné výrobě zavedla kulturní revoluce, která nahradila mnoh druhový, vyvážený ekosystém jednodruhovou plodinou. Tato změna vyžadovala:

- eliminaci ostatních druhů z pole

- vyšší stupeň kontroly podmínek půdního prostředí
- jednotný výsev a zrání úrody

Ke splnění těchto požadavků se používá různé zpracování půdy zemědělskými postupy. Strukturální stav půdy vyvolaný obděláváním půdy je kombinovaným výsledkem různých procesů, které určují půdní podmínky ovlivňující růst plodin, např. příjem vody a zadržování vody; optimální provzdušňování a výměna plynů, nízká odolnost půdy proti pronikání kořenů a proliferaci; odolnost proti erozi, stabilní půdní struktura, dobrá biologická aktivita. Tyto faktory se shodují s cíli správné praxe při zpracování půdy, jmenovitě zlepšení a udržení vzdušného, vodního a tepelného režimu v půdě; správná příprava seťového lůžka; nakládání s organickými zbytky a hnojem, zapravování a ukládání hnojiv; hubení plevelů; drčení tvrdých pánví, podrážek pluhu a zhutněné vrstvy; a tvarování vhodného reliéfu povrchu půdy a usnadnění mechanizace polní operace (Hadas 1997).

V současné době představují pro půdy nejvyšší riziko tyto následující jevy: eroze větrem nebo vodou, pokles obsahu organických látek, kontaminace půd, utužení půdy, pokles půdní biodiverzity, zasolení, záplavy a sesuv půdy (Nátr 2011).

Odolnost půdních mikrobiálních populací a procesů vůči narušení životního prostředí je stále předmětem zájmu. Odolnost je složkou stability a je definována jako zotavení v průběhu času po namáhání, zatímco další složkou stability je okamžitý účinek stresu na půdu definovaný jako odpor. V této studii aplikujeme tyto koncepty na funkci půdy (krátkodobý rozklad), což ji odlišuje od jiných studií, které se zabývaly odolností a odolností populací. Průzkum 26 různých půd z celého Skotska ukázal, že funkční odolnost a odolnost půdní mikrobiální komunity vůči experimentálně aplikovaným stresům se značně lišila, od 24 do 106 % funkce nezatížené půdy. Odolnost vůči přetrvávajícímu stresu mědi korelovala s obsahem organické hmoty v půdě a pH půdy způsobem zcela konzistentním s jejich účinky na biologickou dostupnost mědi v půdním roztoku. Neexistovaly žádné takové korelace mezi odolností nebo odolností vůči přechodnému tepelnému stresu a základními vlastnostmi půdy, jako je pH, textura a obsah uhlíku a dusíku (Griffiths et al. 2008).

Účinky zhutnění na biologické procesy jsou komplexní. Bylo prozkoumáno, že obecně zhutnění půdy snižuje biotickou činnost zejména v případě růstu kořenů, rozšíření žížal a jiné fauny. V případě mikrobiálních aktivit se měnila aktivita z aerobní na anaerobní. Další biologických interakce byly tak složité, že autoři uvedli jen několik příkladů. Příkladem bylo vnoření kořenů. Příklad zvýšené aktivity hád'átek kolem kořenů v zhutněné půdě byla také zajímavým pozorováním. Z literatury je zřejmé, že proces strojního zpracování půdy je často rušivý a škodlivý pro ekosystémy, které se tvoří v půdě. Proto je třeba se zamyslet a přesně určit, jaké jsou cíle zpracování půdy a čeho od něj očekáváme, vyhnout se mít škodlivým následkům. Je důležité pojmout systémy řízení, které využít schopnosti kořenů tvořit strukturu a pronikat silnými vrstvami a které podporovat blahodárné účinky žížal. Tyto systémy by měly být přednostně nízké náklady, nízké energetické náklady, udržitelné a ekologicky nezávadné (Whalley et al. 1995).

Zhutňování je celosvětovým problémem životního prostředí rostoucí význam vyskytující se na orné půdě a pastvinách v lesních půdách. Je to způsobeno použitím těžkých strojů, ale také hospodářskými zvířaty a lidské volnočasové aktivity. Zhutnění půdy většinou znamená úpravu půdy struktura a geometrie půdního systému pórů na sypké půdě a profilová škála a mění objem půdního agregátu. Obvykle, zhutnění půdy ovlivňuje fyzikální vlastnosti půdy

tím, že zvětšuje půdu objemové hmotnosti a změnou distribuce velikostí a také tortuozita a konektivita půdních). Jako výsledek makropórové funkce, jako je infiltrace vody, hydraulická vodivost, propustnost jsou zvláště sníženy, což vede ke zvýšenému potenciálu povrchového odtoku vody, půdy eroze a nepříznivé účinky na růst rostlin (Beylich 2010).

Lidský blahobyt silně závisí na půdních zdrojích, proto by půda měla být lépe začleněna do hodnocení ES. Kromě jiných environmentálních problémů hraje klíčovou roli půda v zásobování ES, je nezbytné podporovat udržitelného využití. Půda má však více funkcí, lze je rozdělit do dílčích funkcí, pokud jde o regulaci, stanoviště a produkci, takže musí být více funkcí půdy, spíše než jedna obecná funkce půdy. Jde o multifunkcionalitu půd. Pokud je studie ES zamýšlena tak, aby zahrnovala multifunkčnost půdy, seznam zde uvedených zjednodušených metod SFA by mohl být a užitečný výchozí bod. Popsané jednoduché metody statického posouzení zde lze snadno použít pomocí dostupných databází půd a jsou zvláště vhodné pro studie ES v kontextu územního plánování. Pro charakterizaci různých regulací existují schválené metody SFA a produkční funkce půd, ale další snahy o zavedení použitelných metod, které spojují půdní biologii a biologickou rozmanitost půdy s ES, jsou požadované (Greiner et al. 2017).

Zhutnění znamená zvýšení objemové hmotnosti půdy a s tím souvisí zvýšení pevnosti půdy a snížení propustnosti vzduchu a vody, případně půdního roztoku. Účinek zhutnění na danou půdu závisí na historii jejího hospodaření. Výzkum je zaměřen na rozvoj systémů zemědělství, které jsou udržitelné a ekologicky zdravé, protože účinky zpracování půdy a zhutňování na biologické procesy v půdě jsou známy obecně. Pouze v případě, že půda obsahuje agregáty a celková struktura půdy je dostatečně pevná, zůstanou fyzikální vlastnosti půdy nezměněny. Proto zatížení půdy by měla být omezeno v souladu s vnitřní pevností nejslabšího horizontu půdního profilu. (Whalley et al. 1995).

Zvýšená objemová hmotnost i homogenizace způsobují snížené provzdušňování a zvýšenou penetraci odolnost, což má za následek zpomalený vývoj kořenů. Snížená propustnost vody může mít za následek půdní eroze s vážnými negativními dopady na životní prostředí. K tomu může přispět i zhutněná půda globální oteplování atmosféry v důsledku zvýšených emisí CO₂, CH₄ a N. Antropogenní změny ve struktuře půdy a funkcích půdy zůstávají konstantní po dlouhou dobu čas a úsilí o obnovu narušené struktury půdy velmi často selhávají kvůli nadměrnému kypření a homogenizace, kultivace příliš vlhké půdy nebo následně špatně přizpůsobené postupy hospodaření s půdou, což má za následek ještě horší vlastnosti půdy (Horn et al. 1995).

Cílem příspěvku je konstrukce modelu pro predikci vývoje rozsahu a struktury zemědělství při státním fondu v ČR. Pomocí pokročilých statistických metod z oblasti adaptivních přístupů analýzy časových řad byly popsány dlouhodobé tendence vývoje struktury zemědělského fondu v letech 1999-2015, jak je uvažováno v kontextu historických dat z let 1920-2015, a prognóz budoucího vývoje. Byly postaveny. V prognózách pro nesezónní časové řady s lokálním lineárním trendem byly použity dvě metody exponenciálního vyhlazování (Holtova metoda) a dvojité exponenciální vyhlazování (Brownova metoda). Řešení vychází z identifikace a analýzy relevantních faktorů způsobujících zmenšení plochy a degradaci zemědělských pozemků, zejména úbytek orné půdy. Primárně jsou vývoj území, vodní a větrná eroze, zhutňování půdy, acidifikace, dehumifikace a kontaminace půdy. Ve většině případů způsobí degradační proces řetězovou

reakci a degradační faktory na sebe navazují. Vzhledem k 80% soběstačnosti ve výrobě základních potravin je nutné zachovat produkční schopnosti půdy nejen její ochranou, ale i ekonomicky únosnou strukturou. Pozice České republiky ve vývoji zemědělského půdního fondu byla porovnána s vybranými zeměmi EU z hlediska struktury zemědělského půdního fondu a podílu na obyvatele orné půdy (Procházková et al. 2017).

Zhoršováním stavu půdy nazýváme Degradace půdy může být způsobena jak jejím nevhodným obhospodařováním, tak i vlivem negativních faktorů z okolí. Degradace půdy může být způsobena jak jejím nevhodným obhospodařováním, tak i vlivem negativních faktorů z okolí. Degradace půdy vede k zhoršování úrodnosti půdy, snižování kvality zemědělských produktů, nebo k přímé ztrátě půdy, na které je možné hospodařit. Jde o nežádoucí procesy.

Půdní eroze

Je nejvýznamnější degradační proces u nás i ve světě, jde o odnos půdy, způsobený smyvem vody, větru, ale i kultivací.

vodní eroze se projevuje nejvýrazněji. Rozsah vodní eroze je podmíněn jak vnitřními, tak vnějšími faktory. Každá půda má různou odlišnou rezistenci k odnosu vody, tj. erodovatelnost, která je podmíněna především její strukturou, množstvím humusu v půdě a zrnitostí půdy (Penížek). Působení větru anebo vody jsou odváty jemné půdní částice, které jsou nejvíce důležité pro kvalitu horní vrstvy půdy (Nátr 2011).

Zasolení dochází při hromadění rozpustných chemických sloučenin v půdě. ohroženy jsou oblasti s dlouhodobým zavlažováním nebo v místech, kde výpar z půdy a transpirace rostlin vypařuje většinu srážkové vody do atmosféry, na promývání vrstev půdy je využito jen malé množství vody. Ohroženy jsou i přímořské oblasti, kde dochází k odčerpání sladkovodní podzemní vody a nahrazuje se pronikáním slané vody (Nátr 2011).

Zábor půdy

ochrana proti záborům půdy plošná ochrana půd se zamezením zastavování půd s nejlepší bonitou. Zemědělské půdy jsou rozděleny na základě bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ) do pěti tříd ochrany. Nejbonitnější půdy I. třídy mohou být zastavovány jen za účelem budování liniových staveb, jako jsou dálnice, silnice nebo železnice zásadního významu. Vyjímá pro stavby je bez omezení možné půdy III. až V. třídy, které jsou průměrně produkční až podprůměrné.

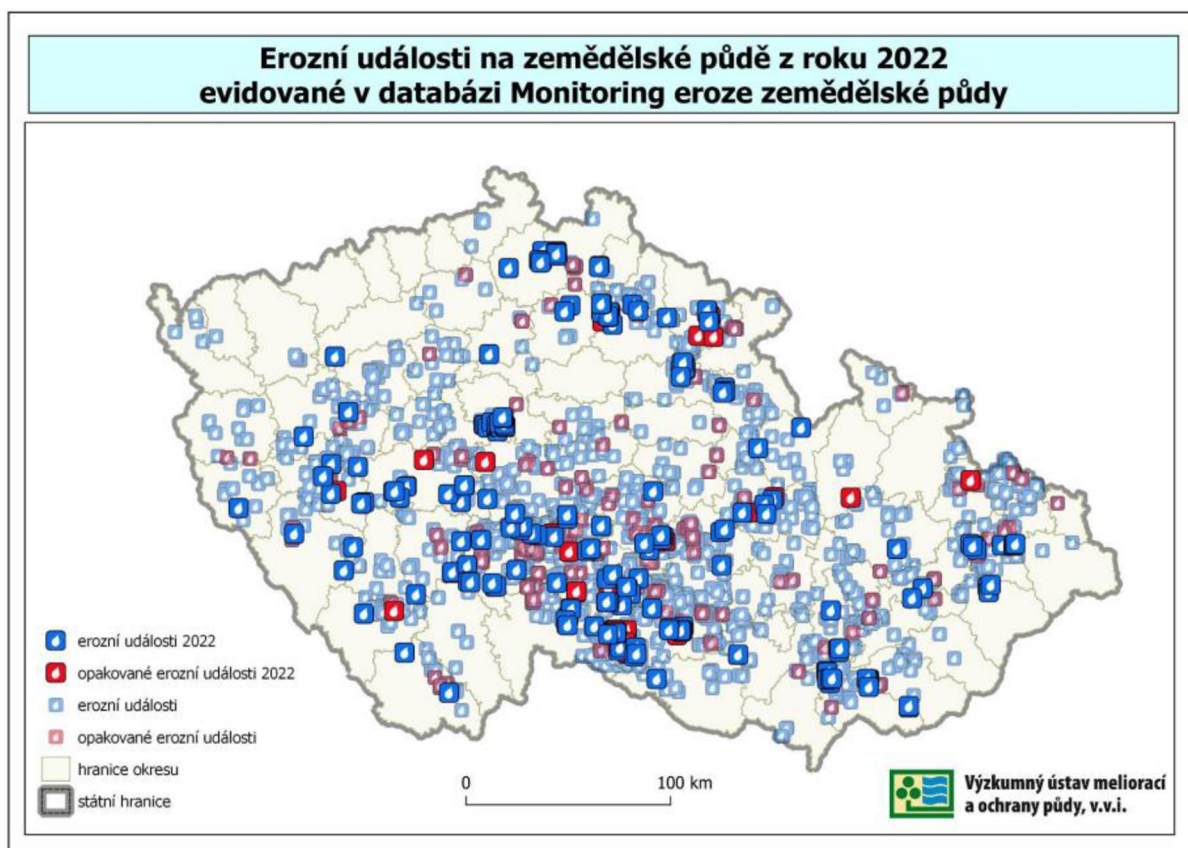
Celková výměra zemědělského půdního fondu (ZPF) České republiky k 31. 12. 2020 činí 4 200 204 ha, což je 53,25 % celkové rozlohy půdního fondu ČR (7 887 101 ha). Orná půda zaujímá 2 931 713 ha (tj. 37,17 % z celkové výměry půdního fondu), chmelnice 9 548 ha, vinice 20 179 ha, zahrady 172 056 ha, ovocné sady 44 022 ha a trvalé travní porosty (louky a pastviny) 1 022 686 ha. Lesní půdy zaujímají 2 677 329 ha (tj. 33,95 % z celkové výměry půdního fondu), vodní plochy 167 248 ha, zastavěné plochy a nádvoří 133 277 ha a ostatní plochy 709 044 ha. Vývoj půdního fondu lze sledovat v tabulce (tabulka č.5). Celkový úbytek zemědělské půdy od roku 1999 do roku 2020 činil 82 242 ha. Rozsah lesní půdy vykazuje v období 1999–2020 nárůst o 42 856 ha (převážně se jednalo o zalesňování málo produkčních ploch a enkláv nevyužívané zemědělské půdy (Mze 2021).

Tabulka č. 5 Vývoj půdního fondu od roku 1999 do roku 2020. Hodnoty jsou uvedeny v hektarech. Upraveno dle Mze 2021.

Rok	Orná půda	zemědělská půda
2020	2931912	4200204
2019	2940927	4202112
2018	2951395	4203726
2017	2958603	4205288
2016	2965606	4208374
2015	2971957	4311935
2014	2978989	4215621
2013	2985792	4219867
2012	2993236	4224389
2011	3000390	4229167
2010	3008090	4233501
2009	3016858	4238975
2008	3025597	4244081
2007	3032448	4249177
2006	3039669	4254403
2005	3047249	4259480
2004	3054654	4264573
2003	3063009	4269218
2002	3068239	4272801
2001	3075178	4277435
2000	3082383	4279446
1999	3095960	4282446

Kontaminace

Pro zamezení kontaminace půdy probíhá na zemědělských půdách monitoring, při kterém se v šestiletých cyklech sledují hodnoty vybraných rizikových prvků i perzistentních organických polutantů. Výsledky dlouhodobého sledování ukazují, že půdy u nás překračují stanovené limity jen ve výjimečných případech. Problematika znečištění je vázaná na aplikaci čistírenských kalů, ty mohou být zdrojem rizikových prvků. Značnou roli hrají rezidua a meziprodukty rozkladu látek používaných v ochraně rostlin (Penížek 2019). Dále pak okyselování půd acidifikace, zasolení půd, eroze půdy.



Obrázek 10: Přehled monitorovaných erozních událostí v roce 2022

Obrázek č.7 Erozní události

Půdy v ČR jsou více než z poloviny ohroženy vodní erozí, nejrozšířenějším typem degradace půd u nás. Během jedné erozní události může být spláchnuto až několik cm půdy a dojít tak k její nenávratné ztrátě. V případě eroze se k degradaci půdy přidávají ještě další negativní efekty způsobené přenosem půdního materiálu a dochází tak k ohrožování obecního a soukromého majetku, zanášení vodních toků a nádrží a zhoršování jakosti povrchových vod. Vážné projevy degradace půdy erozí jsou každoročně mapovány při aktualizacích bonitovaných půdně ekologických jednotek, což se projevuje i výrazným snížením průměrné ceny pozemků. (vumop 2022).

3.3.2 Ochrana půdy

Klíčový zákon pro ochranu půdy je zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně půdy zemědělského půdního fondu (ZPF). V obecné rovině se dotýká i problematiky eroze. Zákon je dále zpracován ve formě prováděcích předpisů – vyhlášek (č. 13/1994 Sb., č. 48/2011 Sb., č.257/2009 Sb.), které udávají podrobné postupy při ochraně ZPF.

Standard Dobrého zemědělského a environmentálního stavu půdy (DZES) nástroj vedoucí k ochraně půdy. Jeho dodržováním subjekty hospodařící na zemědělské půdě, aby mohli čerpat dotační tituly. V rámci DZES je řešena problematika omezení eroze s ohledem na charakter pozemků (svažitost) a možnost výsevu různých plodin, tak aby nebyla překročena únosná

míra smyvu půdy. Dále je řešena i problematika udržení dostatečné úrovně obsahu humusu v půdě. Oproti minulosti se upustilo od požadavků ve vztahu k potenciálnímu utužení půdy.

Evidence půdy

Vlastnická práva k půdě jsou evidována v rámci Katastru nemovitostí České republiky. Katastr nemovitostí obsahuje část mapovou, kde jsou na katastrálních mapách zobrazeny hranice jednotlivých pozemků, a část popisnou, v níž jsou informace, které se vztahují k jednotlivým pozemkům, vlastníkům a další. Vzhledem k tomu, že řada zemědělských podniků hospodaří na pronajatých pozemcích, je důležité evidovat také uživatelské vztahy k půdě. K tomu slouží systém LPIS (Land Parcel Information System), který eviduje jednotlivé půdní bloky podle toho, jak jsou skutečně obhospodařovány. LPIS je podkladem k žádostem o dotace na zemědělské hospodaření, kromě evidence uživatelů půdy obsahuje i řadu dalších informací, například o erozním ohrožení, zařazení do zvláště chráněných území nebo méně příznivých oblastí (Penížek et al. 2019).

3.3.3 Hodnocení půdy

KPP

Komplexní průzkum půd (KPP) byl prvním moderním soustavným průzkumem půd na území tehdejší ČSSR. Proběhl v letech 1961–1970 na základě usnesení vlády ČSSR č. 11 ze dne 4. ledna 1961 jako celostátní, centrálně koordinovaná akce zaměřená na systematický sběr údajů o půdě. Účelem KPP bylo zabezpečení dostatečně podrobných a kvalitních informací o půdním pokryvu pro potřeby systematického zvyšování půdní úrodnosti (www.VUMOP.CZ). Byl to projekt ojedinělý, náročný a na tehdejší dobu velmi propracovaný.

AZZP

Kontrolu úrodnosti půd, tzv. Agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZPP), ÚKZÚZ provádí již od roku 1961. Tuto činnost jiný členský stát ve střední Evropě neaplikuje, jak pro svoji dlouhodobost, tak sledováním hodnocených parametrů. Výsledky zkoušení poskytují vlastníkům půdy a hospodařícím subjektům informace nezbytné pro racionální hnojení. V zemědělských půdách ČR sleduje ÚKZÚZ řadu parametrů. Hodnotí se půdní reakce, obsah přístupných živin včetně mikroelementů, organická hmota, a dále se posuzuje obsah a vstup rizikových prvků a látek. Cílem je především napomoci k udržení půdní úrodnosti, která je ovlivněna obsahem organických látek, živin a půdní reakcí, ale i ochranou potravního řetězce před kontaminací.

ÚKZÚZ během opakovaného šestiletého odběrového cyklu prozkouší téměř celou výměru zemědělské půdy v ČR. V půdních vzorcích, které jsou analyzovány výhradně v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ, je stanovována výměnná půdní reakce (pH) a pro obsah přístupného P, K, Ca, Mg se používá extrakce metodou Mehlich III. Tato metoda spolu v moderní instrumentaci je rovněž vhodná pro simultánní stanovení vybraných mikroelementů B, Cu, Zn, Mn, Fe a navíc i rizikového prvku Cd v jednom extraktu. Výsledky jsou zveřejněny na webových stránkách a zároveň zemědělským subjektům poskytuje informace prostřednictvím registru zemědělské půdy (LPIS). Výstupem zkoušení ÚKZÚZ je také

výpočet potřeby hnojení a vápnění, a základní statistické zpracování zastoupení pozemků v jednotlivých kategoriích. Tento moderní státem garantovaný systém sledování parametrů půdní úrodnosti je významnou součástí systému potravinové bezpečnosti v ČR. AZZP v současném a dále rozvíjeném rozsahu odpovídá nejen na otázky týkající se optimální výživy rostlin, ale i na důležité otázky spojené s ochranou životního prostředí a omezení klimatických změn (Mze 2023).

Hodnocení úrodnosti půdy a produktivity se stalo trvalým tématem výzkumu po celém světě. Přírozená úrodnost půdy je definována fyzikálními vlastnostmi půdy spolu s klimatem. Naproti tomu produktivita půdy může být modelována pomocí stejných fyzikálních charakteristik spolu s hodnocením těch antropogenních postupů navržených ke zvýšení přírozené úrodnosti půdy. Nejdůležitější z nich se týkají kvality a objemu vstupů potřebných k výrobě další biomasy. Významné jsou však i další technologické procesy, které vedou k intenzifikaci. Tento článek zkoumá různé funkce rostlinné produkce s cílem lépe definovat úrodnost půdy a produktivitu půdy v České republice (Voltr 2012).

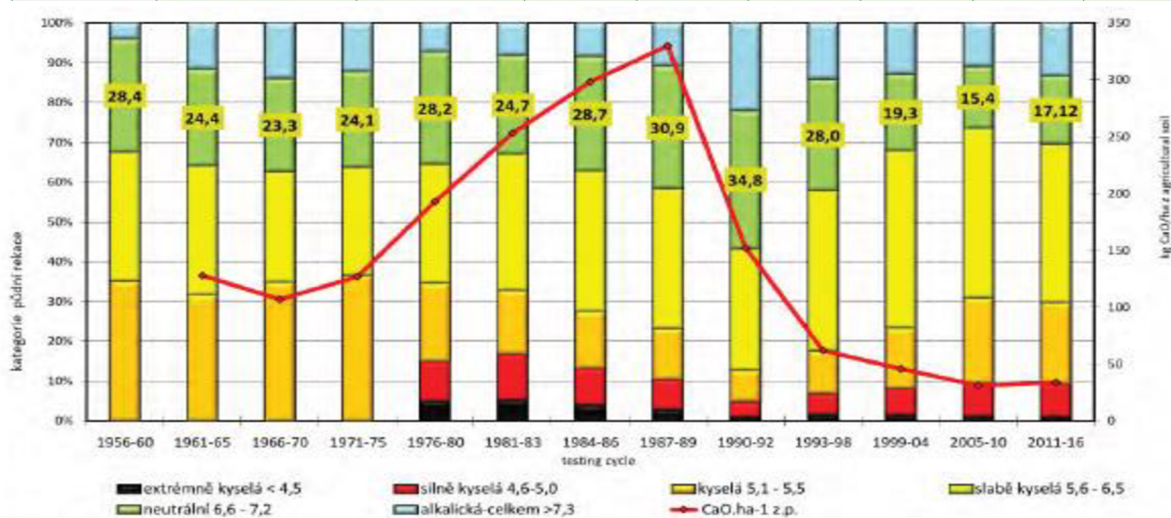
Z této studie byly vyvozeny následující hlavní závěry: Hodnocení půdní výkonnosti je dosaženo v různém měřítku pomocí ukazatelů kvality půdy (tj. fyzikálních, chemických a biologických vlastností půdy), které odrážejí účinky na funkce půdy na úrovni lokality. A dále ukazatele půdní služby (tj. měření související s hodnotou), které odrážejí účinky na výsledné služby. od funkcí půdy napříč všemi úrovněmi prostorového měřítka (Volcho et al. 2013).

Pravidelné sledování úrodnosti půdy je prováděno v rámci agrochemického zkoušení zemědělské půdy v České republice v šestiletých cyklech odběru půdních vzorků ornice. Od 90. let vývoj půdních vlastností naznačoval nárůst rozlohy silně kyselých (7 %) a kyselých půd (61 %) v důsledku prudkého snížení používání vápnitých materiálů. Spotřeba fosforečných hnojiv od roku 1990 klesla z 67 kg P₂O₅/ha na 18,4 kg P₂O₅/ha. Tento úbytek je doprovázen postupným nárůstem ploch s nízkým a dostatečným obsahem fosforu; tyto oblasti představují 56 % orné půdy a měly by být přednostně hnojeny. Pokles obsahu draslíku (nutno hnojit 35 % orné půdy) koresponduje se sníženou dlouhodobou zásobou draselných hnojiv. Od roku 1990 činí pokles ze 47 kg K₂O/ha na současných 9 kg K₂O/ha, což je neudržitelný stav. Vývoj obsahu vápníku v půdě vykazuje po celou dobu sledování mírně se zhoršující trend úzce korelující s pH. Téměř 17 % orné půdy s neutrální reakcí se změnilo na mírně až silně kyselé půdy, přičemž podíl alkalických půd stagnuje (Smetanová et al. 2015).

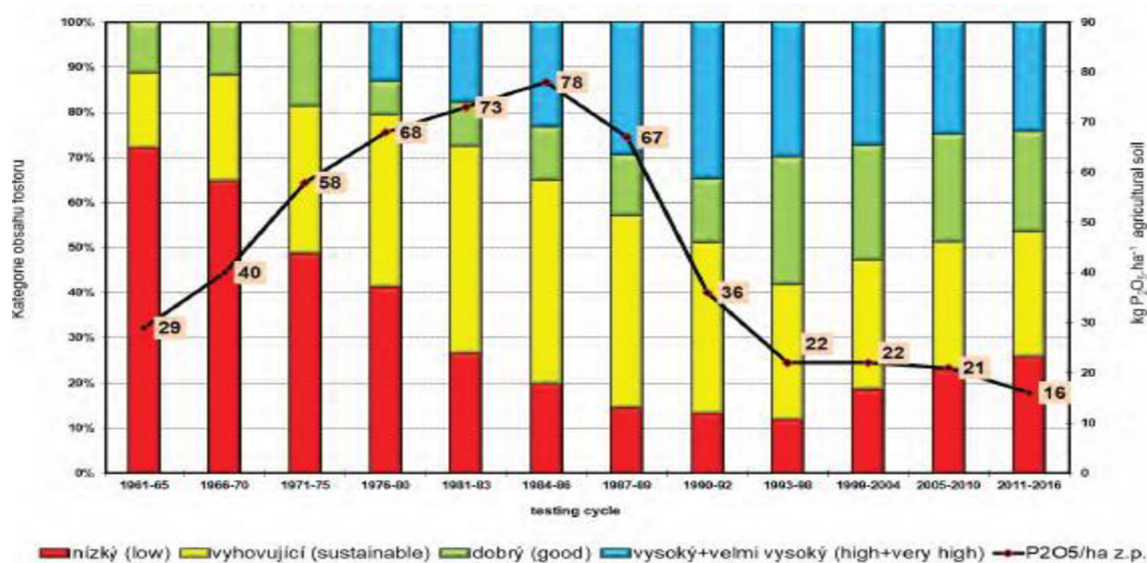
Po každém skončení cyklů AZZP jsou vypracovány závěrečné zprávy, které porovnají změny a trendy z předešlým odběrům (Zbořil et al. 2019). Jak ukazují následující tabulky č.6 až 9 dochází po roce 1990 ke snížení aplikace vápněných hmot, fosforečných a draselných hnojiv na zemědělskou půdu a to má zapříčinění snížení pH a obsahy živin v půdě.

Tabulka č. 6 Vývoj půdního fondu od roku 1999 do roku 2020. Hodnoty jsou uvedeny v hektarech

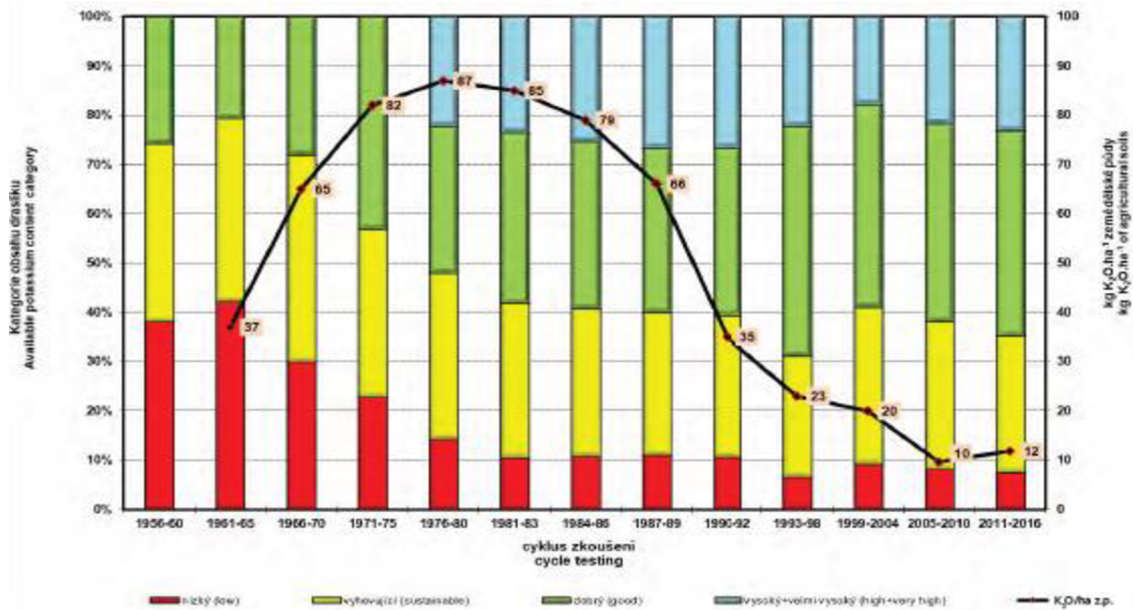
Druh pozemku	Cyklus zkoušení	Přezkoušená výměra [ha]	pH	P	K	Mg	Ca	Poměr K:Mg
				mg/kg				
Orná půda	A: 1990-1992	2 727 315	6,4	108	279	178	3216	1,57
	B: 1993-1998	2 240 430	6,4	101	253	186	3235	1,36
	C: 1999-2004	1 754 529	6,3	97	223	184	3016	1,21
	D: 2005-2010	2 696 398	6,2	90	239	185	2999	1,29
	E: 2011-2016	2 489 765	6,1	89	253	193	2956	1,31
	rozdíl A - E	237 550	0,3	19,0	26,0	-15,0	260,0	0,3



Graf č.2 - Změny půdní reakce v zemědělských půdách a spotřeby vápenných hmot od roku 1961 do roku 2016 (Zbořil et al. 2019)



Graf č.3 - Změny obsahu přístupného fosforu v zemědělských půdách a spotřeby fosforečných hnojiv od roku 1961 do roku 2016 (Zbořil et al. 2019)

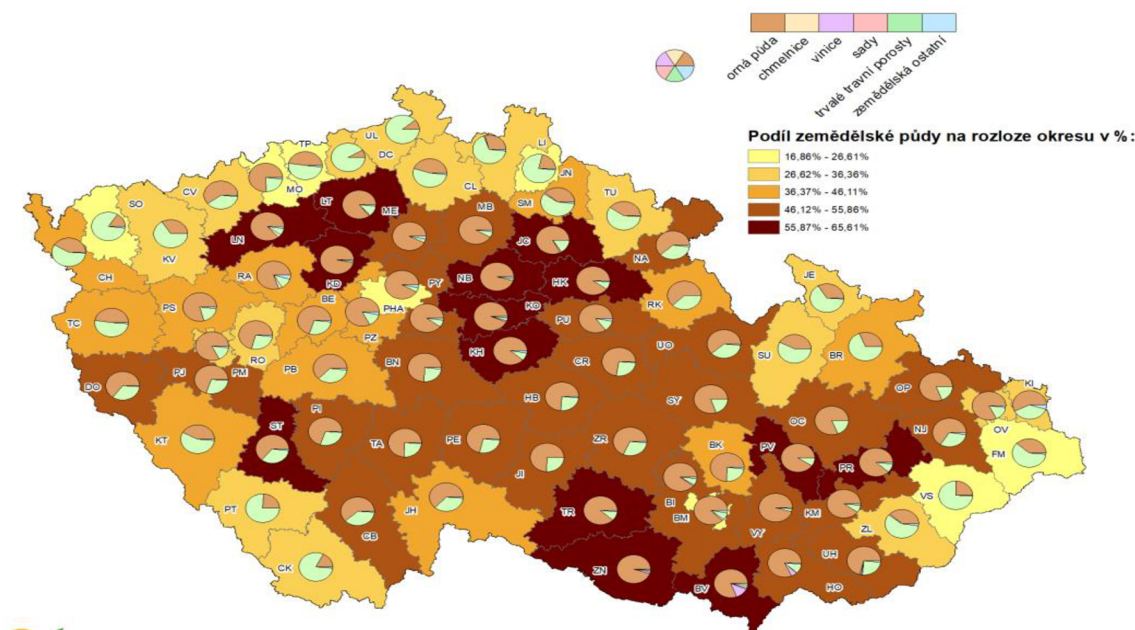


Graf č. 4 - Změny obsahu přístupného draslíku v zemědělských půdách a spotřeby draselných hnojiv od roku 1961 do roku 2016 (Zbořil et al. 2019)

Corine

Mezi nové technologie patří Monitoring krajinného pokryvu (LC), který poskytuje důležité informace o aktuálním využití půdy (LU) a dynamice krajiny. Výsledky výzkumu LC závisí na velikosti oblasti, účelu a použité metodologii. Data CORINE Land Cover (CLC) jsou jedním z nejdůležitějších zdrojů dat LU z evropské perspektivy. Náš výzkum porovnává oficiální data CLC (třetí hierarchická úroveň nomenklatury v měřítku 1:100 000) a národní statistiky (NS) LU na Slovensku v letech 2000 až 2018 na národní, krajské a místní úrovni. Nejvýraznější rozdíly nastaly u orné půdy a trvalých travních porostů, s čímž souvisí i způsob evidence a vývoj hospodaření na zemědělské půdě. Kvůli opuštění zemědělských oblastí, skutečný zaznamenaný nárůst lesnatosti v důsledku sukcese lesů nebyl v úřední evidenci katastru nemovitostí uveden. Nová modifikace metodiky CLC pro identifikaci tříd LC v měřítku 1:10 000 a páté hierarchické úrovni CLC je nejprve aplikována na lokální případové studie reprezentující nížinnou, kotlinovou a horskou krajinu. Velikost nejméně identifikované a současně zaznamenané plochy byla stanovena na 0,1 ha, minimální šířka polygonu byla stanovena na 10 m, minimální zaznamenaná šířka liniových prvků, jako jsou komunikace, byla stanovena na 2 m. Použití páté úrovně CLC v oblastech případových studií vytvořilo průměrnou hraniční hustotu 17,2 km/km 000 a pátá hierarchická úroveň CLC je nejprve aplikována na místní případové studie reprezentující nížinnou, kotlinovou a horskou krajinu. Velikost nejméně identifikované a současně zaznamenané plochy byla stanovena na 0,1 ha, minimální šířka polygonu byla stanovena na 10 m, minimální zaznamenaná šířka liniových prvků, jako jsou komunikace, byla stanovena na 2 m. Použití páté úrovně CLC v oblastech případových studií vytvořilo průměrnou hraniční hustotu 17,2 km/km 000 a pátá hierarchická úroveň CLC je nejprve aplikována na místní případové studie reprezentující nížinnou, kotlinovou a horskou krajinu. Velikost nejméně identifikované a současně zaznamenané

plochy byla stanovena na 0,1 ha, minimální šířka polygonu byla stanovena na 10 m, minimální zaznamenaná šířka liniových prvků, jako jsou komunikace, byla stanovena na 2 m. Použití páté úrovně CLC v oblastech případových studií vytvořilo průměrnou hraniční hustotu 17,2 km/km², ve srovnání s 2,6 km/km² třetí úrovně. Proto při měření hustoty prostorové informace délkami hranice polygonu nese pátá úroveň 6,6krát více informací než třetí úroveň. Podrobné šetření LU umožňuje lepší ověření údajů národních statistik na místní úrovni. Tato studie rovněž přispívá k podrobnějšímu zachycení současného stavu středoevropské krajiny a jejích proměn (Falt'an et al. 2020).



Obrázek č.8: Evidovaná zemědělská půda v LPIS dle okresů za rok 2021 (Mze 2021).

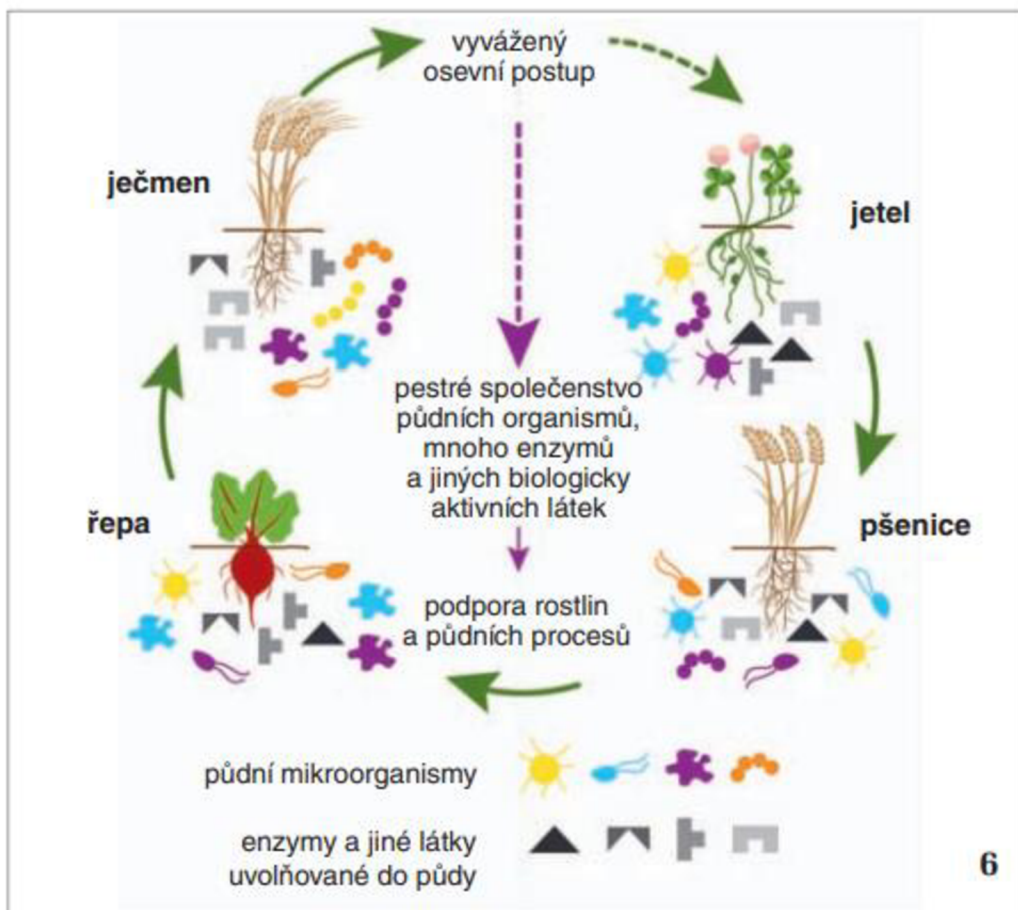
3.3.4 Hospodaření na půdě

Agrotechnické hospodaření souvisí se zpracováním půdy to, představuje mechanické zásahy do půdy, které výrazně ovlivňují fyzikální a druhotně i biologické a chemické pochody důležité z hlediska její úrodnosti. Zpracování půdy slouží v prvé řadě k managementu posklizňových zbytků při sklizni předplodiny, buď k jejich zapravení do půdního profilu, nebo rozptýlení v povrchových vrstvách půdy při půdoochranných technologiích, jsou to především tyto činnosti :

- základní zpracování půdy
- příprava půdy před setím a sázením
- kultivace půdy během vegetace
- minimalizace zpracování půdy
- půdoochranné systémy
- mulčování, pásové zpracování půdy, setí do hrůbků, setí do nezpracované půdy (Holec et al. 2021).

Nepřetržitě používání vstupů souvisejících se zemědělstvím, jako jsou fosfátová hnojiva a další antropogenní činnosti (např. ocelářský průmysl), může zvýšit hladinu PTE v půdách.

Autoři zkoumali výskyt prvků znečišťujících As, Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Mn a Cd. Koncentrace As v ornici, lze přičíst zemědělským činnostem, některá fosforečná hnojiva obsahují As a používají se jako základní pesticidní složky, které mají tendenci zvyšovat As v zemědělských půdách. Vysoký obsah Cd v půdě lze přičíst mnoha zdrojům, patří k nim kovodilny a odpady ocelářského průmyslu, které se vyluhovaly do podloží, bylo prokázáno, že na konec přispívá k akumulaci Cd v okolní půdě. Prostorového rozložení Cu v ornici bylo spíše geogenního původu s podporou automobilové dopravy, výfukové plyny vozidel ukládají velké obsahy Cu na ornici. Znečištění ve zkoumané oblasti v podloží bylo spíše zemědělské znečištění v důsledku mobility a vyplavování. Obohacení olova v podloží lze přičíst vyplavování pesticidů a hnojiv na bázi Pb (např. arzeničnanu olovnatého) použitých v zemědělské půdě. aplikace hnojiv a pesticidů zvyšuje koncentraci Pb v zemědělské půdě. Obohacení ornice zinkem lze přičíst průmyslu neželezných kovů a zemědělským postupům. Antropogenní zdroje Zn se týkají kovoprůmyslu, ocelářského průmyslu a zemědělství (Agyeman et al. 2021).
osevní postupy



Obrázek č. 9 Interakce mezi plodinami a půdou

Promyšlený osevní postup zajišťuje pestré složení látek uvolňovaných rostlinnými kořeny, pestré společenstvo půdních organismů, vyváženou minerální výživu plodin a vysoký stupeň jejich ochrany před fytoparazitickými organismy a chorobami (Ehottová et al. 2020).

Tabulka č.7 Množství spotřeby hnojiv v kg na hektar orné půdy (FAND 2020)

Spotřeba hnojiv v polní výrobě

	Dusík	Fosfor	Draslík
Česká republika	116,2	32,7	25,3
EU-27 celkem	120,6	41,3	47,0
Francie	133,2	31,0	26,5
Itálie	87,3	40,2	32,0
Maďarsko	82,6	31,7	32,5
Německo	112,5	23,6	36,4
Polsko	126,9	44,7	65,6
Rakousko	57,1	16,9	22,1
Slovensko	105,6	22,9	24,0
Španělsko	64,2	39,6	29,3

Hospodaření s živinami dusíku, fosforu a draslíku prošlo šetřením FADN. V tabulce je uvedena naturální spotřeba hnojiv v přepočtu na ornou půdu u podniku polní výroby ve vybraných státech EU v roce 2020.

Smart farming

Nové technologie mají potenciál transformovat zemědělství a snížit dopad na životní prostředí prostřednictvím platformy IoT. Data jsou zpracovávána v systému založeném na učení se predikčních pravidel ve spojení s modulem pravidel Drools. Multimediální platformu lze ovládat na dálku a nabízí pro smart farming otevřenou datovou síť se sdílenými úrovněmi omezení pro výměnu informací orientovaná na zemědělce, dodavatele hnojiv a zemědělské techniky, která by měla zemědělcům poskytnout přidanou hodnotu v podobě lepšího rozhodování nebo efektivnějšího využívání a řízení (Baseca et al. 2019).

Internet věcí (IoT) a příslušné technologie mají významný vliv na smart farming hlavní subdoménu v oblasti zemědělství. Moderní technologie podporuje sběr dat ze zařízení IoT prostřednictvím několika zemědělských procesů. Rozsáhlé množství shromážděných dat při smart farming lze využít pro každodenní rozhodování a analýzu, jako je predikce výnosů, analýza růstu, udržování kvality, chov zvířat a akvakultury a také řízení farmy. A právě různými typy velkých vygenerovaných dat je nutné správně kategorizovat. A to je současnou výzvou na analýzy velkých dat a diskusi o potenciálních cestách k efektivnějším smart farming (De Alwis et al. 2022).

V dnešní době došlo u hospodářských zvířat k jasným změnám v průmyslových a poloprůmyslových výrobních organizacích. Přijetí technologie chovu hospodářských zvířat se smart farming je nesmírně důležité pro zvýšení kvality a množství produktů živočišné výroby. Tato technologie může pomoci zemědělcům zvýšit jejich zisk a chránit zdraví zákazníků a životního prostředí. Smart farming byly široce používány chovateli hospodářských zvířat, jako je správa dat, technologie internetu věcí, přesnost zemědělství, zemědělské drony a tak dále. Tyto pokročilé technologie mohou vytvořit skvělý systém chovu hospodářských zvířat, jako je uzavřená živočišná výroba od chovu po zpracování a spotřebu. Navíc při použití smart farming zemědělci mohou lépe sledovat nebo pozorovat potřebu jednotlivých zvířat a odpovídajícím způsobem upravit jejich výživu, a tím předcházet chorobám a zlepšovat zdraví rostlin (Gontoro et al. 2019).

Precizní zemědělství

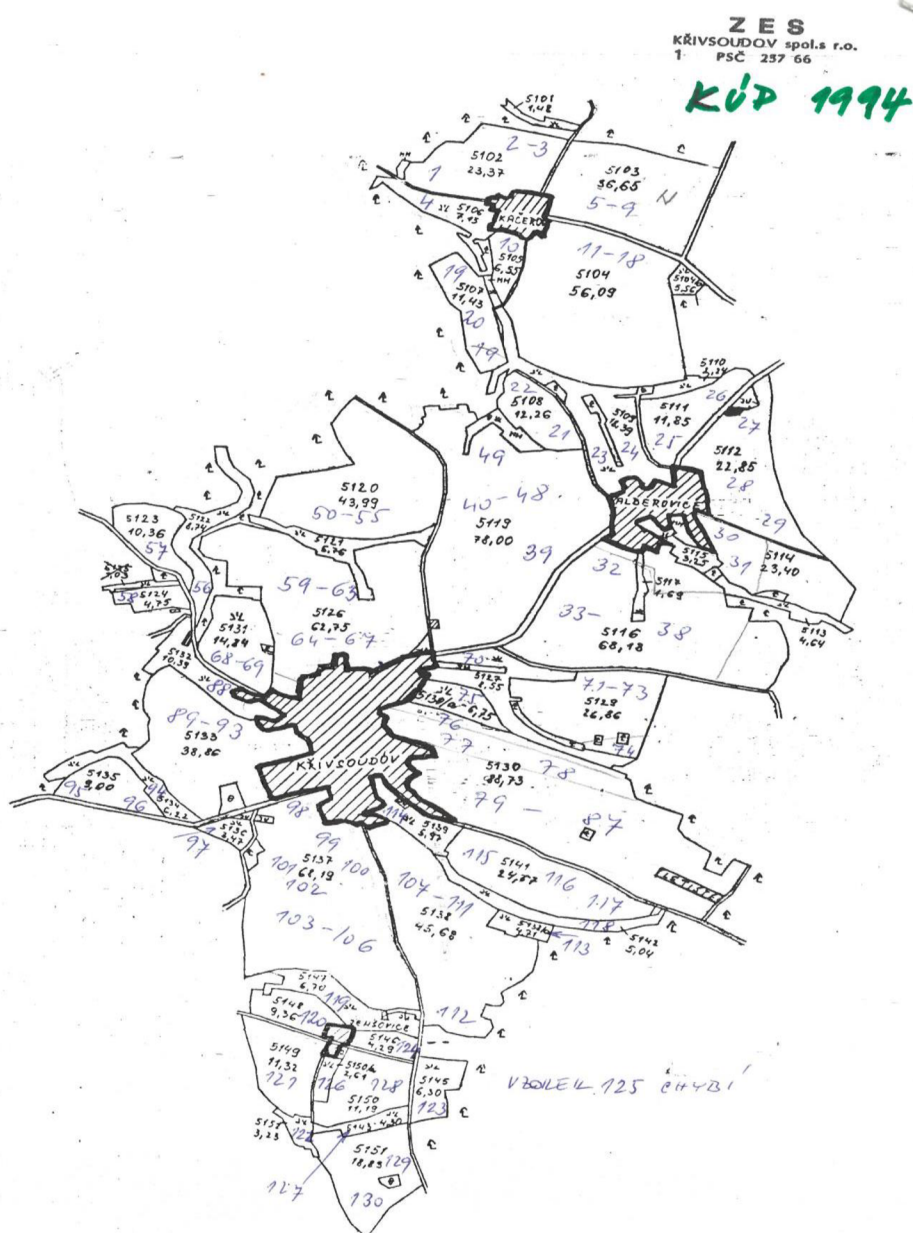
Zemědělská produkce vysoce závisí na vodních a půdních faktorech, které je stále více nutné efektivně využívat. Precizní zemědělství, prostřednictvím souboru informačních technologií, které využívá, umožňuje efektivně řídit tyto zdroje. Tato práce si klade za cíl shromáždit dosavadní poznatky o technologiích používaných v přesnost zemědělství a způsoby, jak rozpoznat ten nejvhodnější pro různé kontexty v zemědělských procesech (Cisternas et al. 2020).

Ve srovnání s konvenčními metodami může oblast použití pesticidů jako metody precizního zemědělství snížit aplikované objemy fungicidů asi o 20 procent a herbicidů až o 50 procent. Může tedy přispět ke snížení používání pesticidů, které je v současnosti na vysoké úrovni stabilní, a pomoci dosáhnout dalších cílů ekologické udržitelnosti. K vyčerpání tohoto redukčního potenciálu však bude nutné zintenzivnit výzkum a vývoj a podporovat šíření. Z metodických důvodů a nedostatku dat je obtížné posoudit, zda by metody precizního zemědělství byly výhodné i z ekonomického a sociálního hlediska, a měly by být tedy podporovány státem. Je však třeba předpokládat, že tato kapitálově náročná technologie posílí strukturální změny v zemědělství a tendenci ke specializaci a outsourcingu určitých úkolů na společnosti poskytující služby. Na druhé straně technologický náskok v precizním zemědělství může otevřít exportní trhy a vytvořit nová pracovní místa v technologickém sektoru (Rosch & Dusseldorp 2007).

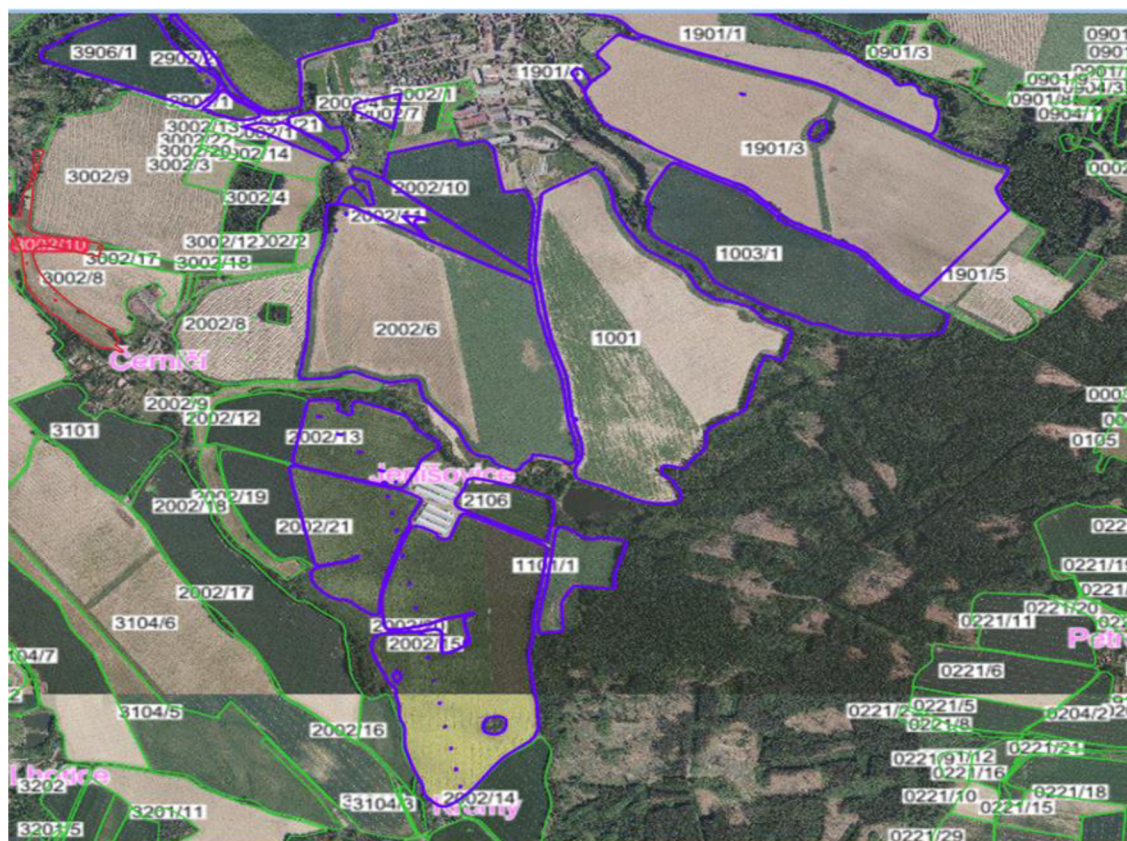
4 Metodika

4.1 Charakteristika území

Zkoumání bylo prováděno v rámci zemědělskou společností v okrese Benešov v jižní části Středočeského kraje. Podle evidence LPIS zemědělský podnik obdělává 744 ha orné půdy a 109 ha travních porostů v katastrálních území Křivsoudov 62 %, Alberovice 17 %, Kačerov 11 % dále jsou to Čechtice, Černiči, Brzotice, Loket u Dolních Kralovic a Dolní Kralovice. (eagri.cz 2022) Region se nachází v bramborářské výrobní oblasti s převažujícím středním druhem půdy. Do zkoumání byly zařazeny pozemky s kulturou orná půda a s výsledky agrochemických zkoušení půd prováděné v letech 2000 a 2018. Také byly k dispozici výsledky z roku 1994, ale změnou metodiky hodnocení obsahů nebyly použity.



Obrázek č. 9 Mapa z roku 1994 vybraného území s poznámkami odběrů AZZP



Obrázek č. 12 Aktuální mapa LPIS – jižní část

4.2 Získání dat

K vypracování diplomové práce byly získány data z výsledků agrochemických zkoušení půd (AZZP) zemědělské firmy ZES Křivsoudov s.r.o. Údaje a mapy byly získány prostřednictvím Portálu farmář v rámci webových stránek Ministerstva zemědělství ČR – www.eagri.cz.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský provádí Agrochemické zkoušení půd v 6letých intervalech. Z důvodu změny od roku 1999 metody zjišťování z Mehlich II. na Mehlich III., při kterém dochází přesnějším stanovení obsahů prvků v půdním sorpčním komplexu, byly pro porovnání vybrány data z roku 2000 a 2018.

V této oblasti se provádí odběry 30 vpichy pomocí sondovací tyče na jeden vzorek půdy do hloubky maximálně 30 cm půdního profilu a z výměry 7 ha. Termíny odběrů jsou jaro a podzim (Zbiral et al. 2019).

Zpracování dat

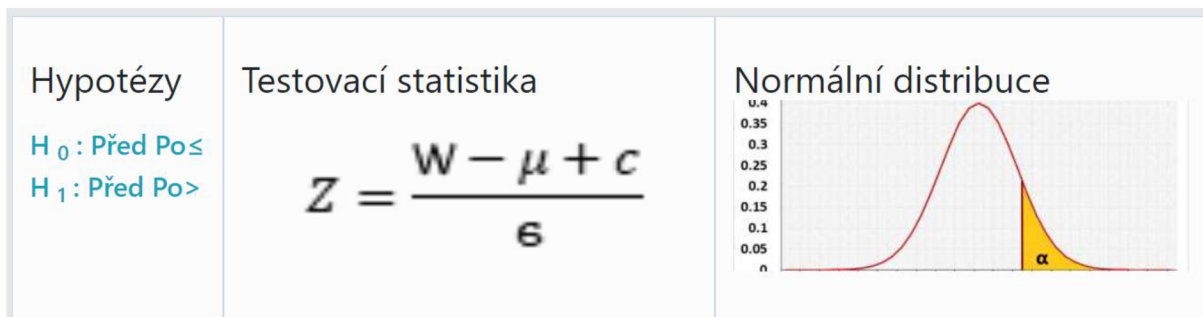
Data z výsledků AZZP z let 2000 a 2018 budou použita pro porovnání faktorů půdní úrodnosti a tím její kvality. K hodnocení byl použit webový portál <https://www.statskingdom.com>, který pomocí statistické metody „Wilcoxonův test“ – neparametrický test, který se používá pro hodnocení párových pokusů. Byl vybrán z důvodu malého množství měřených hodnot. Výpočet testu zpracuje dvě měření – dvě období provedená na jednom produkčním bloku (tzv. měření před a po sledovaném období). Vykáže stabilitu nebo změnu za vybrané období. Hodnoceny jsou údaje na stejných pozemcích. Data budou zpracovány s vyloučením odlehle hodnoty a přezkoušeny zkoušený Tukeyho testem. Kritéria

testu budou nastaveny podle vývoje v ČR po roce 1990 a to klesající obsahy živin a snížení pH půdy.

Hypotéza H_1 – výsledky měření hodnot budou v roce 2000 vyšší v roce 2018 – dojde k odčerpání živin a tím i zhoršení kvality půd

rok 2000 > rok 2018

Hypotéza H_0 – výsledky v období 2018 budou vyrovnané nebo zvýšené oproti roku 2000



Obrázek č. 13– Statistický způsob hodnocení (www.statskingdom.com)

Postup testování:

- Zadájí se pozorovaná data za rok 2000 a za rok 2018
- zjistí se rozdíly (kladné, záporné, nulové – ty se potom vyřazují)
- rozdílům se přiřadí pořadí
- vypočte se W_+ a W_-
- porovnání p-hodnoty a α

Popis veličin

n – velikost vzorku (počet zkoumaných párů)

Z – rozdíly mezi párovanými hodnotami (některé jsou kladné, je záporné a nebo nulové pokud jsou údaje shodné - rozdíl před a po)

α – úroveň významnosti, v tomto hodnocení zadána v hodnotě **0,05** (hranice mezi tvrzeními)

H_0 – nulová hypotéza – mezi daty není rozdíl

H_1 – alternativní hypotéza – je rozdíl, statisticky významný

p – hodnota – ukazatel, který udává pravděpodobnost, že rozdíl pozorovaný mezi dvěma obdobími mohl vzniknout náhodou. Má velikost mezi 0 a 1 (menší hodnota znamená větší pravděpodobnost vyvrácení H_0 – mezi skupinami není žádný rozdíl. pokud je p-hodnota menší než 0,05 - α , výsledek se považuje za statisticky významný a H_0 se zamítá. (čím větší je, tím více podporuje H_0 (nulovou hypotézu) a čím je menší, tím více podporuje H_1

Q1 – první kvartil - 25. percentilu dat – oddělí nejmenších 25% dat od nejvyšších 75%

Q2 - druhý) kvartil také medián - 50. percentilu dat - rozdělí seřazená data na poloviny

Q2 - třetí kvartil - 75. percentilu dat - oddělí nejmenších 75% dat od nejvyšších 25%

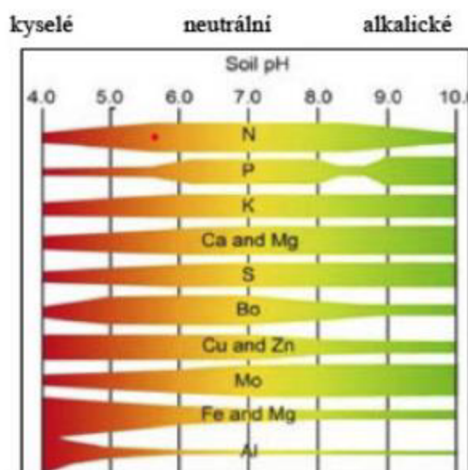
W_+ - součet pořadí odpovídajících kladným rozdílům

W_- - součet pořadí odpovídajících záporným rozdílům

4.3 Hodnocení parametrů šetření

4.3.1 Reakce půdy – hodnota pH

Půdní reakce patří mezi nejdůležitější faktory pro kvalitu půdy. Je charakterizována koncentrací vodíkových iontů v půdním roztoku. Ovlivňuje jak chemické, fyzikálně-chemické i biologické, působí na koncentraci a zastoupení iontů v půdě, sorpci živin, rozpustnost sloučenin a látek v půdě (Zbiral et al. 2019)



Obrázek č.14 – vliv pH na přístupnost živin v půdě (www.eagri.cz)

Tabulka č.8 – hodnocení pH (Zbořil et al. 2019)

Hodnota pH	Půdní reakce
do 4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 - 5,5	kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6 - 7,2	neutrální
7,3 - 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

4.3.2 Obsahy přístupných živin v půdě

Zásoba živin (Fosfor-P, Draslík-K, Hořčík -Mg, Vápník-Ca) v půdě je původem z matečné horniny, hnojiv, atmosféry, zbytků rostlin, odumřelých těl živočichů, mikroorganismů apod., ale využitelný podíl rostlinami je pouze asi 5 %. Těmi to prvky, které jsou zjišťovány v čisté formě, hnojíme půdy ne rostliny.

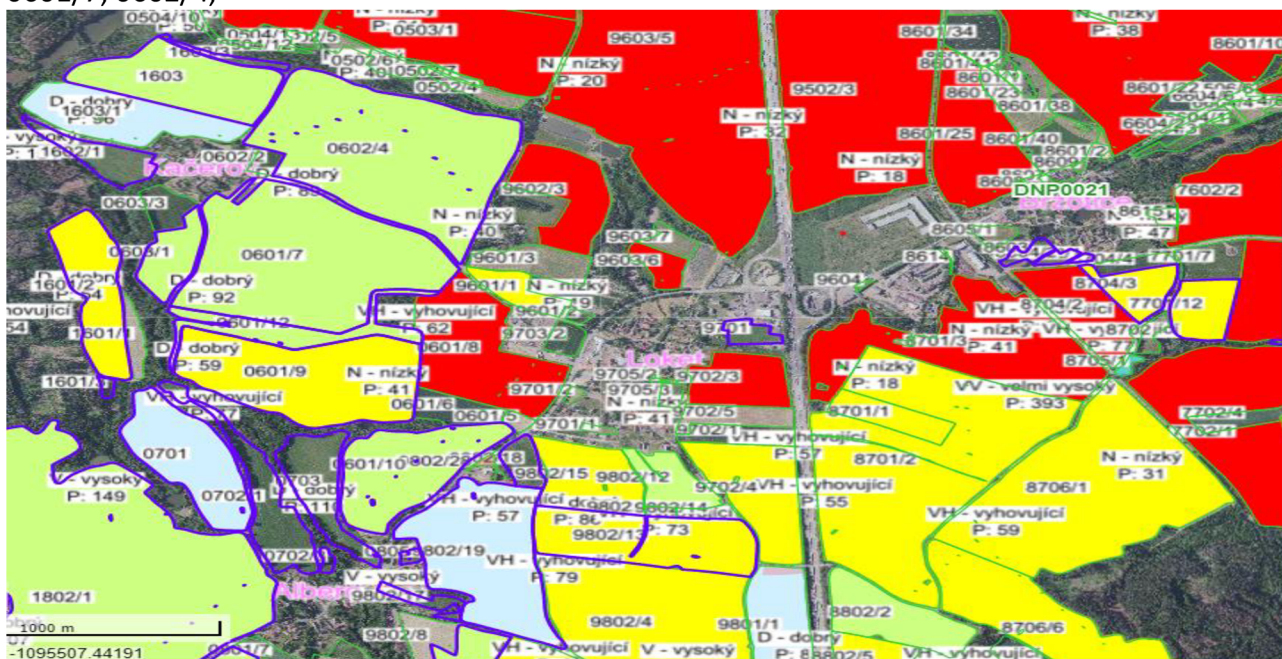
Tabulka č. 9– Kritéria hodnocení výsledků rozborů – orná půda (Zbořil et al. 2019)

Obsah	FOSFOR (mg kg ⁻¹)	DRASLÍK (mg kg ⁻¹)			HOŘČÍK (mg kg ⁻¹)			VÁPŇÍK (mg kg ⁻¹)		
		půda			půda			půda		
		lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká	lehká	střední	těžká
nizký	do 50	do 100	do 105	do 170	do 80	do 105	do 120	do 1000	do 1100	do 1700
vyhovující	51 - 80	101-160	106-170	171-260	81-135	106-160	121-220	1001-1800	1101-2000	1701-3000
dobrý	81 - 115	161-275	171-310	261-350	136-200	161-265	221-330	1801-2800	2001-3300	3001-4200
vyšoký	116 - 185	276-380	311-420	351-510	201-285	266-330	331-460	2801-3700	3301-5400	4201-6600
velmi vyšoký	nad 185	nad 380	nad 420	nad 510	nad 285	nad 330	nad 460	nad 3700	nad 5400	nad 6600

5 Výsledky

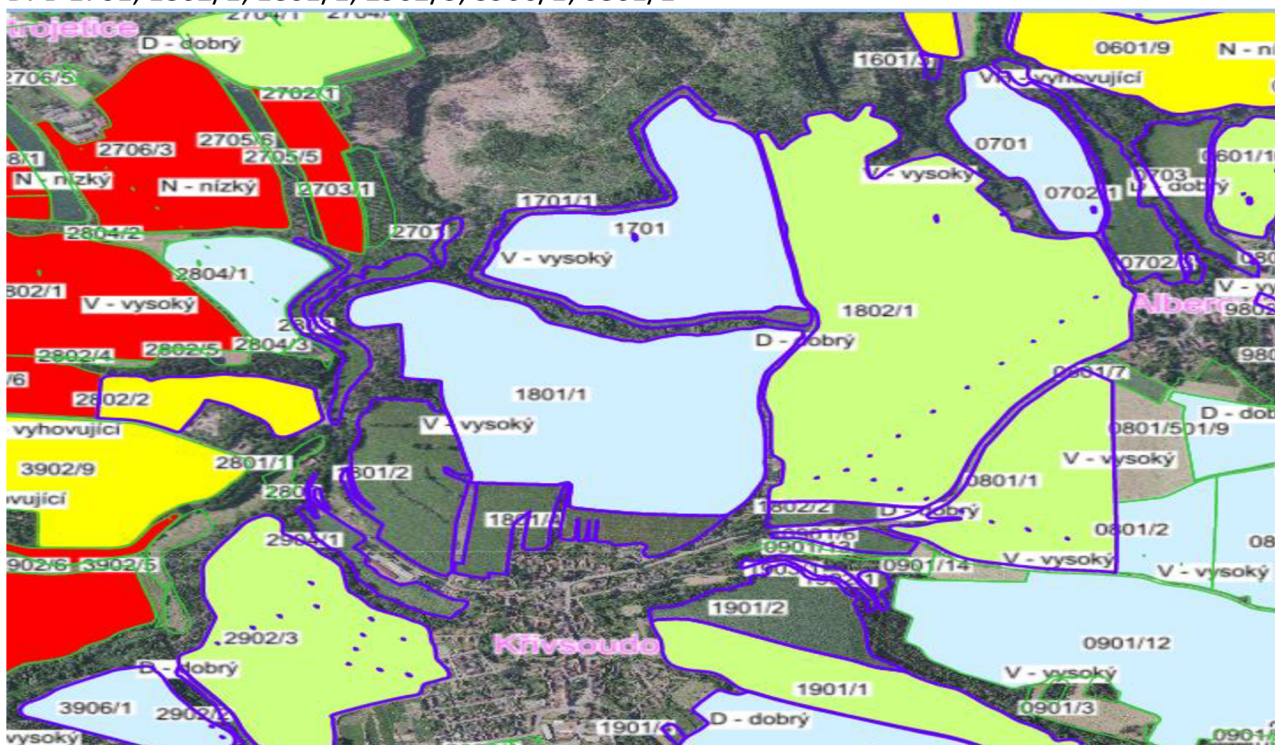
5.1 Obsahy živin – mapový přehled

Mapa na obrázku č. 15 je vyobrazení barevné vyhodnocení obsahů fosforů nízký na DPB 0601/9, 1601/1, 9802/13, vyhovující na DPB 0701, 9802/19, dobrý na DPB 1603, 0602/4, 0601/7, 0602/4,



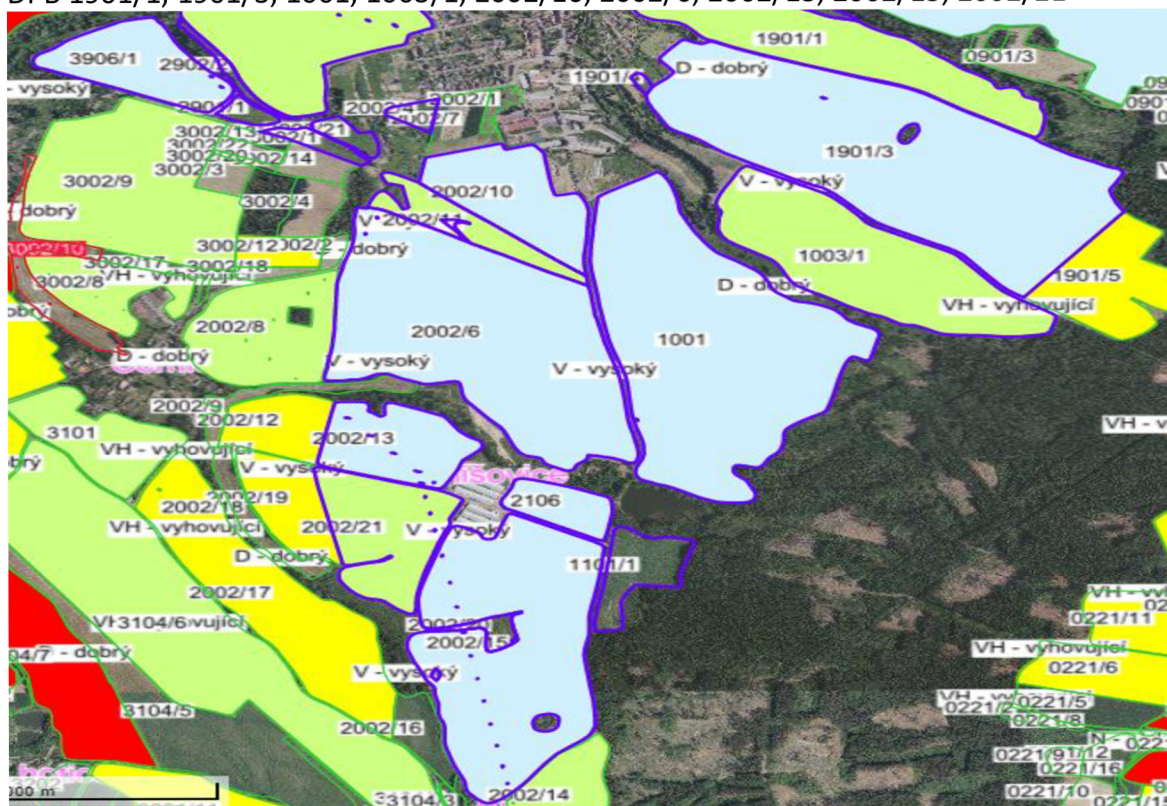
Obrázek č.15 Mapa LPIS – severní část obsah P (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č. 16 je vyobrazení barevné vyhodnocení obsahů fosforů dobrý – vysoký na DPB 1701, 1802/1, 1801/1, 2902/3, 3906/1, 0801/1



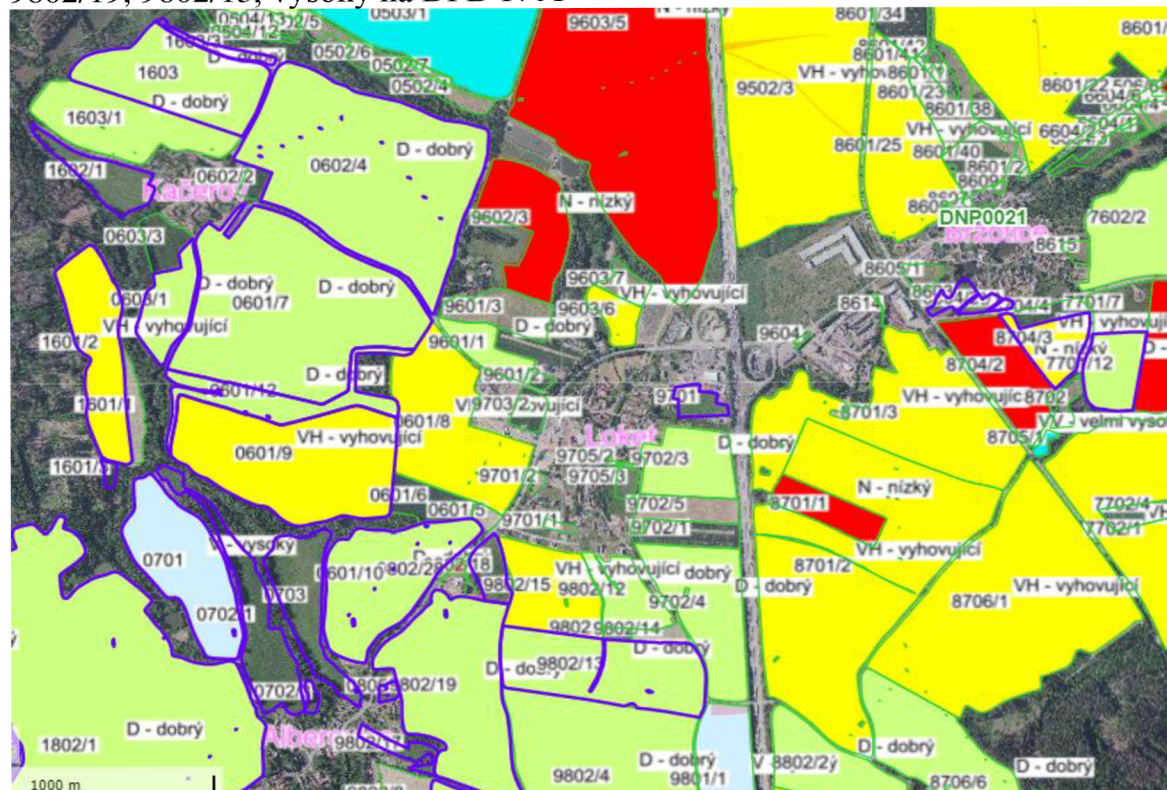
Obrázek č.16 Mapa LPIS – střední část obsah P (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č. 17 je barevné vyobrazení vyhodnocení obsahů fosforů: dobrý -vysoký na DPB 1901/1, 1901/3, 1001, 1003/1, 2002/10, 2002/6, 2002/13, 2002/15, 2002/21



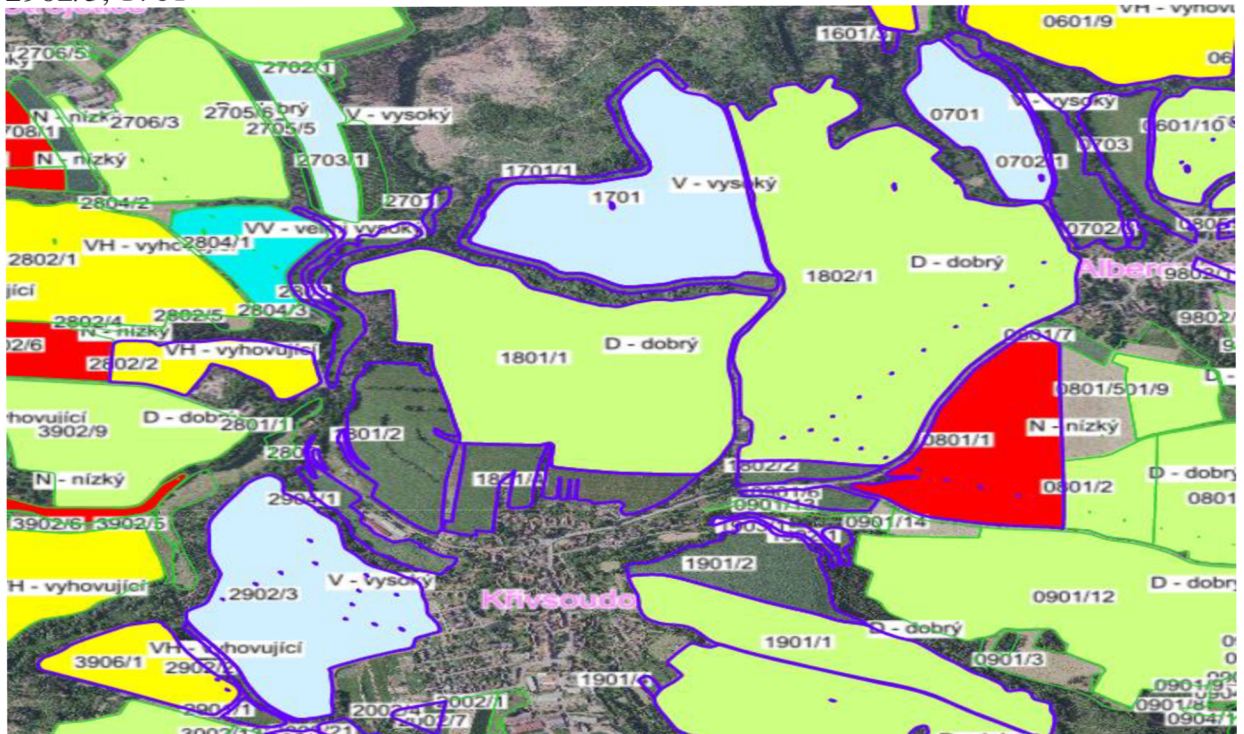
Obrázek č.17 Mapa LPIS – jižní část obsah P (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č. 18 je vyobrazení barevné vyhodnocení obsahů draslíku vyhovující na DPB 8704/3, 0601/9,1601/1,dobrý na DPB 1603, 0602/4, 0601/7, 0602/4,0601/10, 9802/19, 9802/13, vysoký na DPB 1701



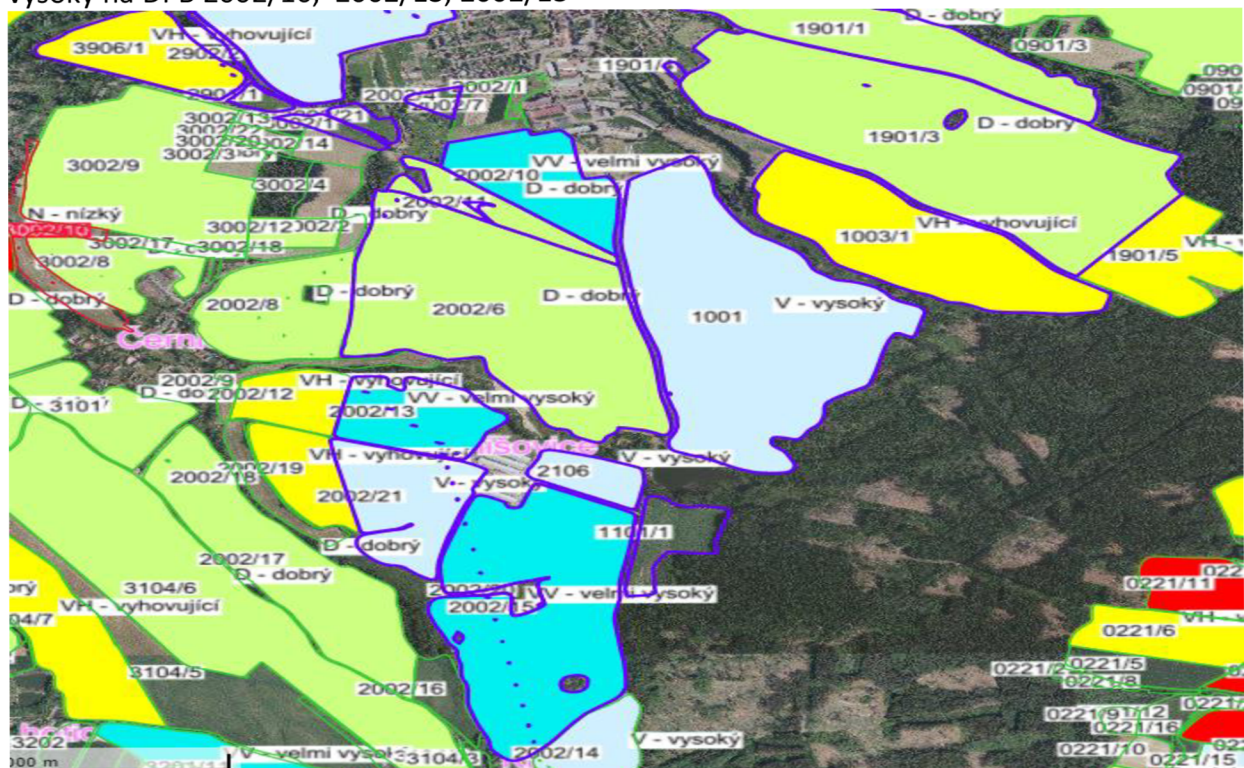
Obrázek č.18. Mapa LPIS obsah K severní část (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č.19 je vyobrazení barevné vyhodnocení obsahů draslíku nízký na DPB 0801/1, vyhovující 3906/1, dobrý na DPB 1802/1, 1801/1, vysoký na DPB 2902/3, 1701



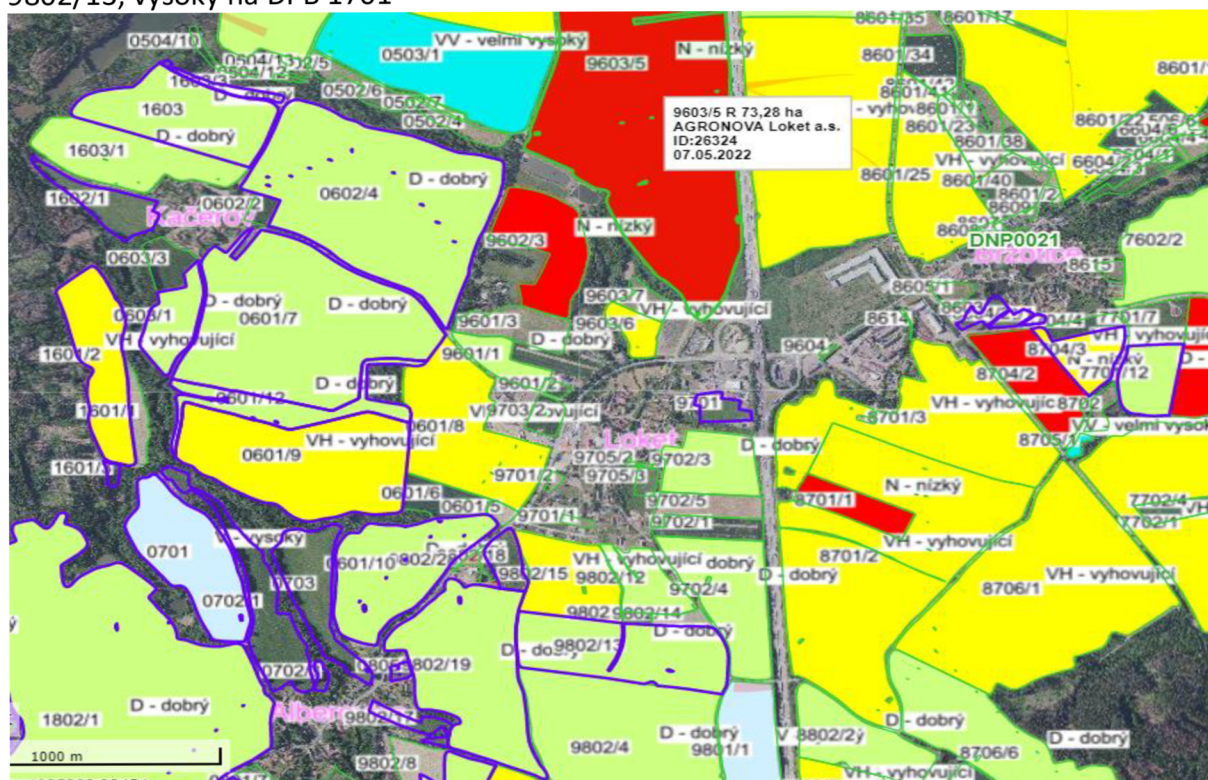
Obrázek č.19. Mapa LPIS obsah K střední část (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č. 20 je barevné vyobrazení vyhodnocení obsahů draslíku: vyhovující na DPB 1003/1, dobrý na DPB 1901/1, 1901/3, 2002/6, vysoký na DPB 1001, 2002/21, velmi vysoký na DPB 2002/10, 2002/13, 2002/15



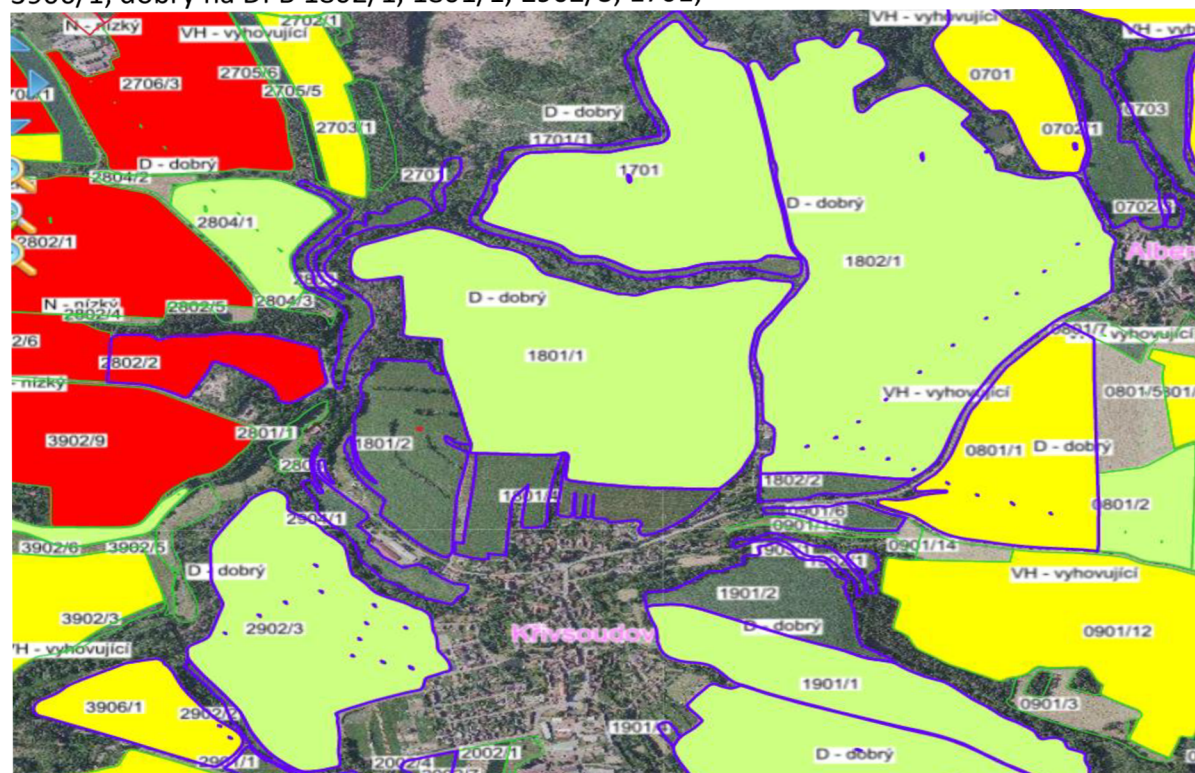
Obrázek č.20. Mapa LPIS obsah K jižní část (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č. 21 je vyobrazení barevné vyhodnocení obsahů hořčíku vyhovující na DPB 8704/3, 0601/9,1601/1,dobry na DPB 1603, 0602/4, 0601/7, 0602/4,0601/10, 9802/19, 9802/13, vysoký na DPB 1701



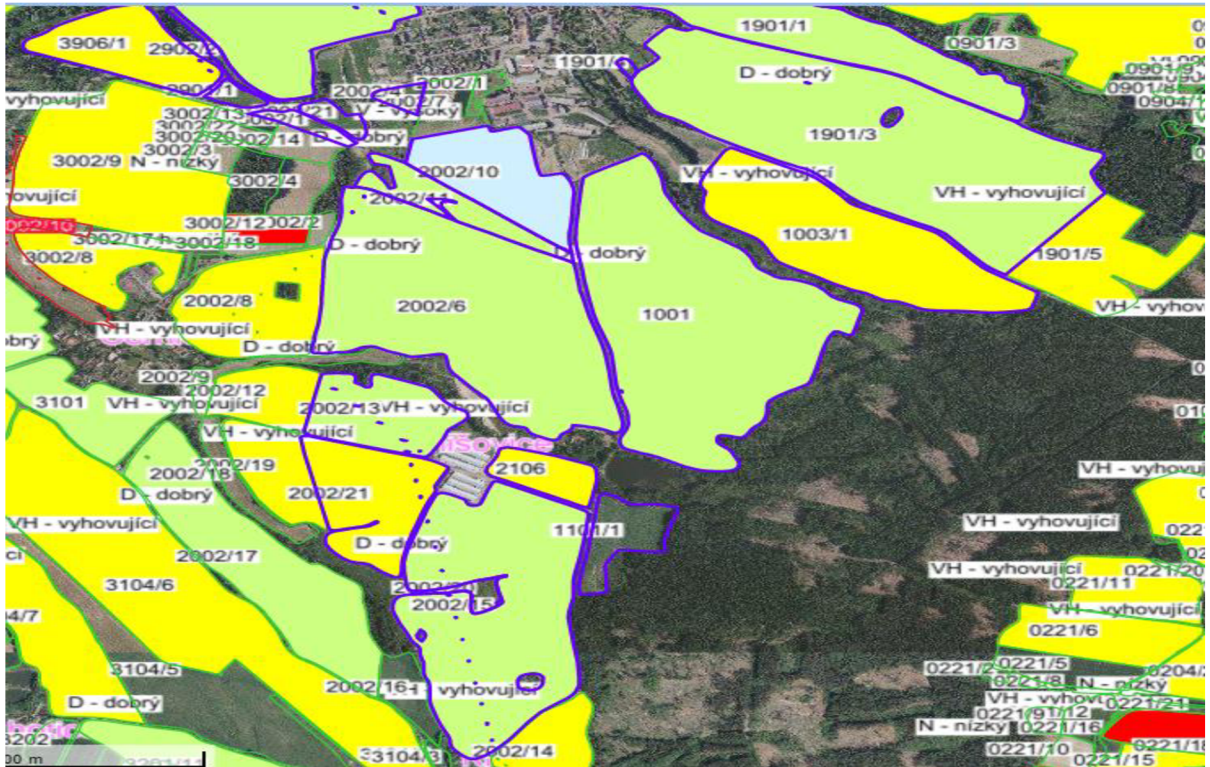
Obrázek č.21. Mapa LPIS obsah Mg severní část (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č.22 je vyobrazení barevné vyhodnocení obsahů hořčíku vyhovující 0801/1, 3906/1, dobrý na DPB 1802/1, 1801/1, 2902/3, 1701,



Obrázek č.22. Mapa LPIS obsah Mg střední část (www.eagri.cz)

Mapa na obrázku č.23 je barevné vyobrazení vyhodnocení obsahů draslíku: vyhovující na DPB 1003/1, 2002/21, dobrý na DPB 1901/1, 1901/3, 1001, 2002/6, 2002/13 vysoký na DPB 2002/10



Obrázek č.23. Mapa LPIS obsah Mg (www.eagri.cz)

Legenda k obrázkům č. 14.-19. – Mapy obsahy živin

	nízký
	vyhovující
	dobrý
	vysoký
	velmi vysoký

5.2 Statistické šetření - Hodnocení AZZP

Souhrnná data z AZZP zpracovaná ÚKZUZ byly naměřeny v rámci obhospodařovaných pozemků firmou ZES Křivsoudov s.r.o. Pro srovnání byly vybrány údaje 2000 a 2018.

Tabulka č. 10– přehled sledovaných DPB (vlastní zpracování)

Poř. č.	Čtverec	Kód DPB	Katastrální území	Kul.	Výměra [ha]	Druh půdy	Půdní reakce pH		Fosfor P		Draslík K		Hořčík Mg		Vápník Ca	
							2000	2018	2000	2018	2000	2018	2000	2018	2000	2018
1.	700-1090	0601/10	Alberovice	R	12,86	střední	6,1	6,2	203	110	200	190	77	156	1520	1485
2.	700-1090	0601/7	Kačerov	R	32,80	lehká	6,4	5,8	196	92	717	315	87	169	1237	1270
3.	700-1090	0601/9	Alberovice	R	21,21	střední	6	5,7	148	77	210	199	84	128	1270	1029
4.	700-1090	0602/4	Kačerov	R	35,08	střední	6,4	6,1	162	113	152	206	67	161	1705	1536
5.	700-1090	0701	Alberovice	R	11,44	střední	6	6,1	231	149	331	342	85	157	1444	1340
6.	700-1090	0801/1	Křivsoudov	R	22,86	střední	6,2	6,1	133	95	257	144	123	161	1591	1788
7.	700-1100	1001	Křivsoudov	R	48,72	střední	5,8	6,1	162	137	296	420	115	207	1685	1634
8.	700-1100	1003/1	Křivsoudov	R	24,24	střední	6	5,8	154	94	278	217	87	173	1470	1167
9.	700-1090	1601/2	Alberovice	R	9,30	střední	6	5,3	143	54	193	188	73	98	1442	1260
11.	700-1090	1603	Kačerov	R	12,19	střední	5,6	5,8	126	96	197	234	49	146	1158	1130
12.	700-1090	1701	Křivsoudov	R	33,20	lehká	5,5	5,9	139	183	202	377	93	174	1441	1527
13.	700-1090	1801/1	Křivsoudov	R	54,55	střední	6,2	6	132	119	202	244	96	187	1645	1588
14.	700-1090	1802/1	Křivsoudov	R	80,45	střední	5,9	5,7	154	107	240	302	96	174	1603	1436
15.	700-1090	1901/1	Křivsoudov	R	19,16	střední	5,9	5,8	147	105	182	211	78	164	1574	1310
16.	700-1090	1901/3	Křivsoudov	R	52,98	střední	6,2	6,2	128	119	212	217	86	178	1652	1371
17.	700-1100	2002/10	Křivsoudov	R	11,04	střední	6,2	6,2	101	117	226	495	120	289	1842	1980
18.	700-1100	2002/13	Křivsoudov	R	9,26	střední	6,3	6	201	157	383	533	120	203	1836	1890
19.	700-1100	2002/15	Křivsoudov	R	36,24	střední	5,5	6	157	158	171	510	84	182	1478	1494
20.	700-1100	2002/21	Křivsoudov	R	12,22	střední	5,4	6,3	89	105	206	419	86	189	1094	1920
21.	700-1100	2002/6	Křivsoudov	R	44,79	střední	5,8	6	158	138	236	297	93	201	1601	1694
22.	700-1100	2106	Křivsoudov	R	3,92	střední	6	6,4	173	157	399	354	130	187	1690	1550
23.	700-1090	2802/2	Čechtice	R	8,15	těžká	5,8	6,2	87	58	113	238	128	119	1556	1610
24.	700-1090	2902/3	Křivsoudov	R	32,14	střední	6,4	6,2	89	95	162	328	119	209	2010	1660
25.	700-1090	3906/1	Křivsoudov	R	9,39	střední	6,1	5,9	128	125	191	245	191	175	1991	1550
29.	690-1090	8704/3	Brzotice	R	3,65	těžká	5,6	6,1	142	52	340	218	78	311	1588	1555
30.	690-1090	9802/13	Loket u D.Kralovic	R	13,33	střední	5,1	5,9	164	79	222	222	53	240	883	1533
31.	690-1090	9802/19	Alberovice	R	19,14	střední	5,8	6,3	217	127	312	240	65	150	1422	1607
32.	690-1090	9802/7	Alberovice	R	4,40	střední	6	5,7	237	109	526	240	101	161	1441	1460

Pro vyhodnocení porovnání získaných dat byla vybrána statistická metoda – **Wilcoxonův test**. Dále bude zpracován **Tukeyho test** na odlehlé hodnoty, v případě významných odchylek budou tyto údaje vyloučeny. Bude vytvořen **krabicový graf** krabicového grafu, který znázorňuje schématické rozložení dat – Minimum, Q1, Medián, Q3, Maximum. (čára spojí minimum a maximum, nakreslený rámeček mezi Q1 a Q3, vyznačený medián v rámečku, tečkou jsou označeny nevyjmuté odlehlé hodnoty)

Parametry hodnocení

$$\alpha = 0,05$$

H₀ (nulové hypotézy) - **p-hodnota** > α budou porovnané výsledky rozborů rovny nebo výsledky měření jsou vyšší v 2018 než byly v roce 2022 - obsahy živin stouply

H₁ (alternativní hypotéza) - **p-hodnota** < α H₀ bude zamítnuta a přijata H₁ a potvrdí se, že došlo v průběhu období 2000 - 2018 ke změně v charakteristikách a sledovaných hodnot živin na půdních blocích a to snížení hodnot – odčerpání a nedoplnění živin.

5.2.1 Fosfor – P

$$p\text{-hodnota} = 0,0001$$

p-hodnota je menší než α a tím je H₀ zamítnuta

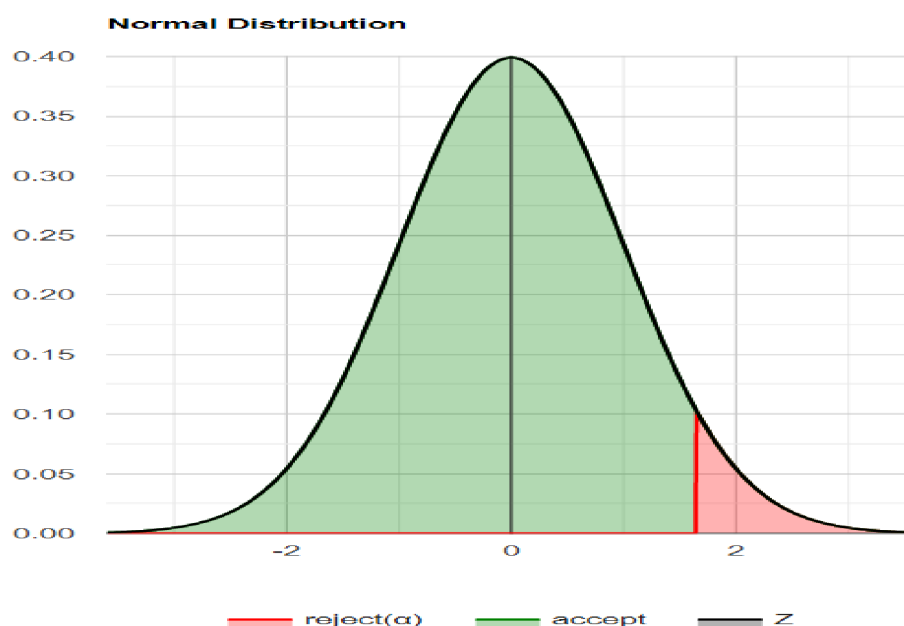
$$0,0001 < 0,05$$

$$W_+ = 33,5$$

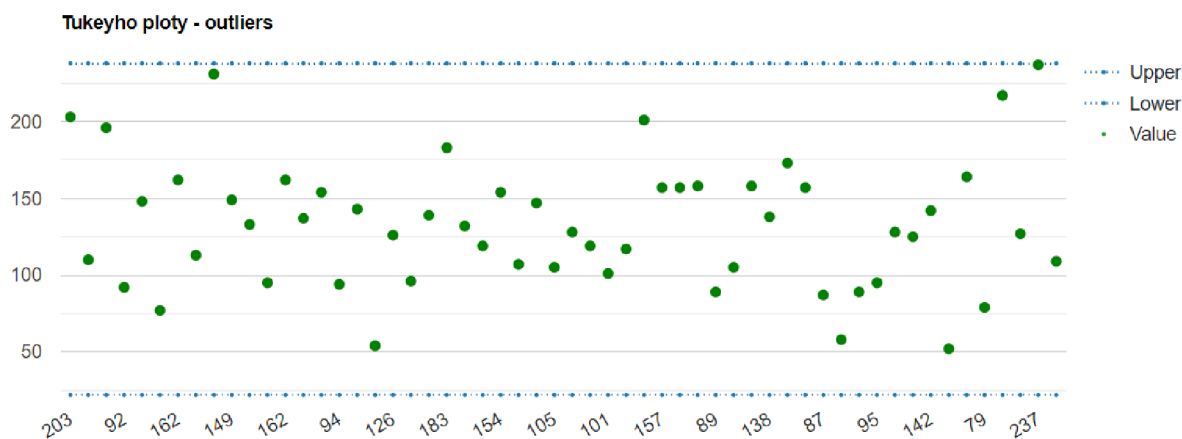
$$W_- = 372,5$$

$$Z = 3,85$$

Vyhodnocení testu – zamítnutím H₀ je v souladem s výchozí předpokladem a s vysokou pravděpodobností o platnosti H₁ až 99,9 %. Hodnoty z roku 2000 jsou prokazatelně větší a došlo ke statisticky významnému snížení obsahů fosforu.

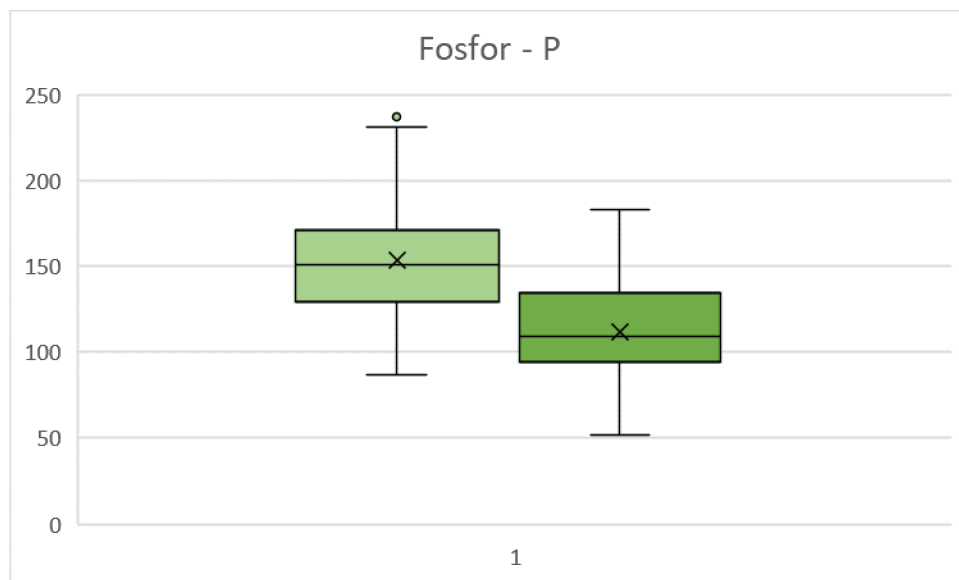


Graf č. 5 – Hodnocení - P (vlastní zpracování)



Graf č.6 – Tukeyho test - P (vlastní zpracování)

Tukeyho test nezaznamenal žádné významné odlišné hodnoty.



2000	2018
------	------

Graf č.7 – hodnoty P v letech 2000 a 2018(vlastní zpracování)

5.2.2 Draslík – K

p- hodnota = **0,989**

p-hodnota je větší než α a tím je H_0 akceptována

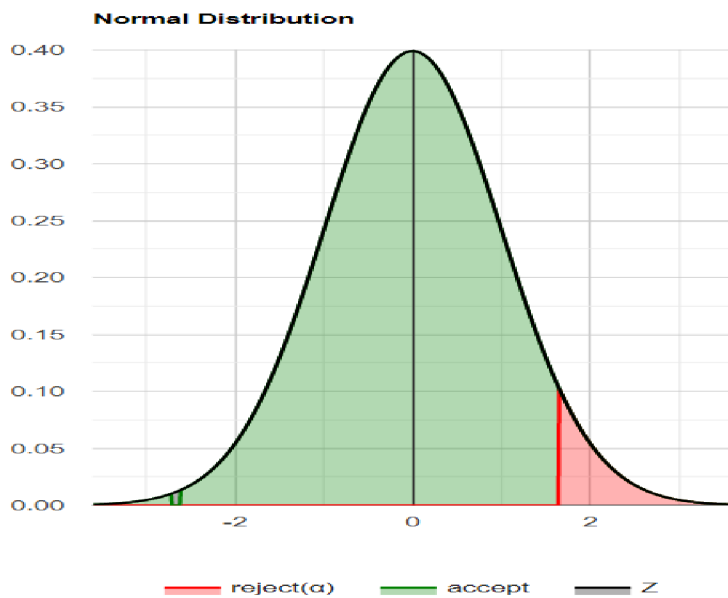
0,989 > 0,05

W+ = 246,5

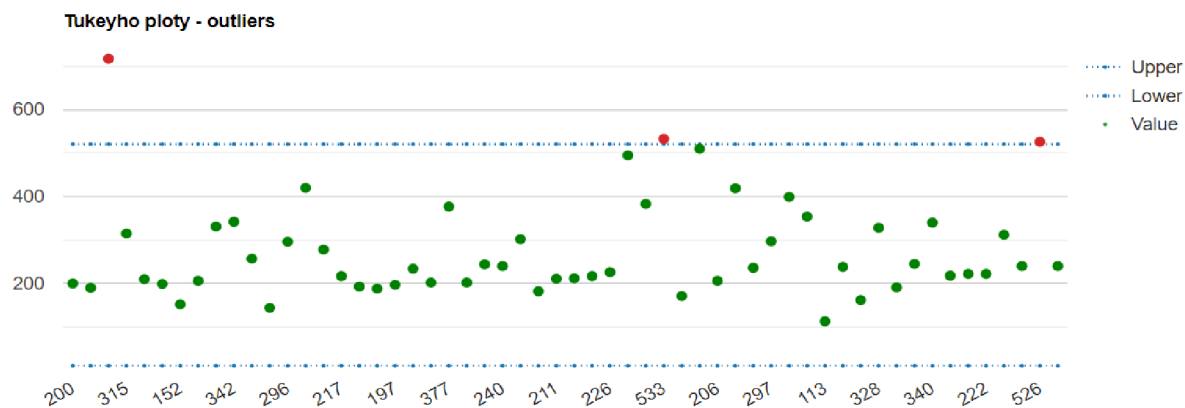
W- = 78,5

Z = -2,274

Vyhodnocení testu –akceptací H_0 není dodržen předpoklad s velkou pravděpodobnosti 98,85 %. To odpovídá, že hodnoty z roku 2000 jsou nižší a že obsahy draslíku se významně zvýšily.

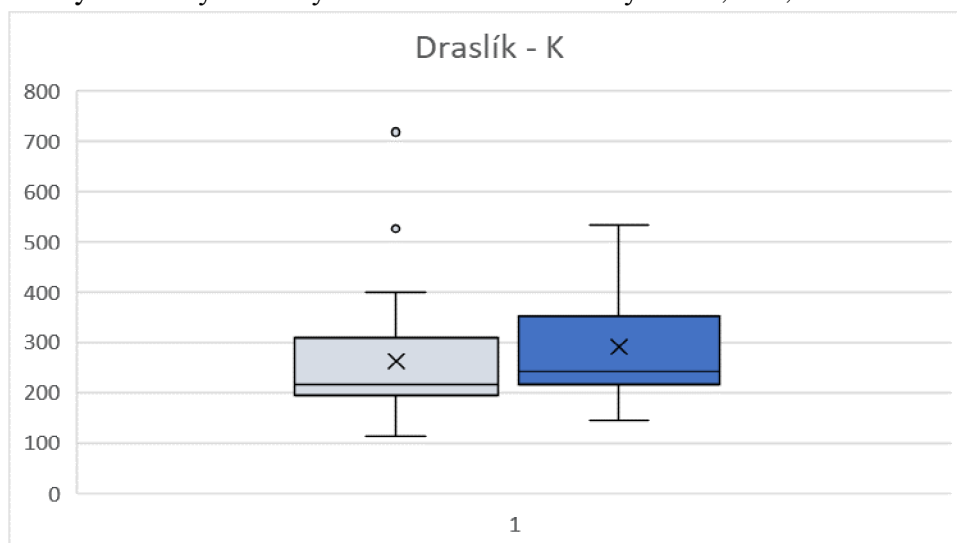


Graf č. 8 – Hodnocení - K (vlastní zpracování)



Graf č.9 – Tukeyho test - K (vlastní zpracování)

Tukeyho test vyloučil významné odlišné hodnoty – 717, 523, 726.



Graf č.10 – hodnoty K v letech 2000 a 2018(vlastní zpracování)

5.2.3 Mg – Hořčík

p- hodnota = 0,999

p-hodnota je větší než α a tím je H_0 akceptována

$0,999 > 0,05$

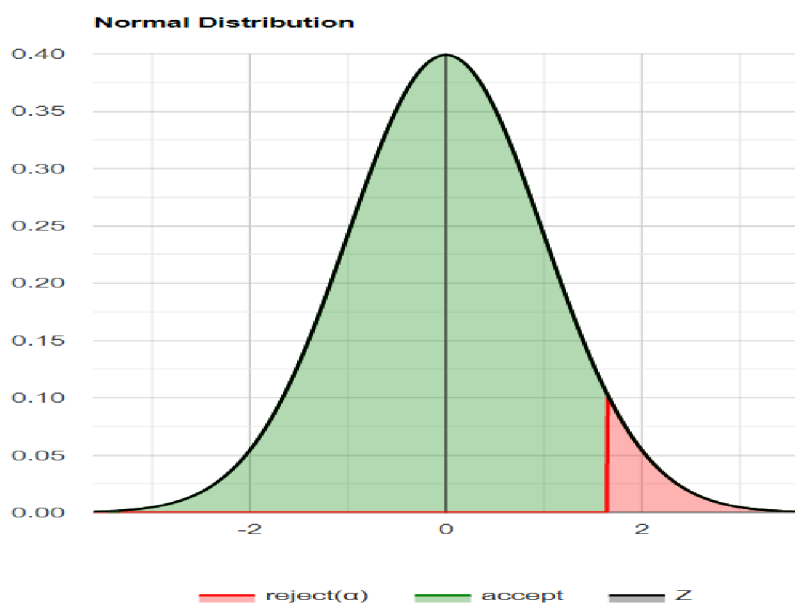
$W_+ = 119$

$W_- = 1$

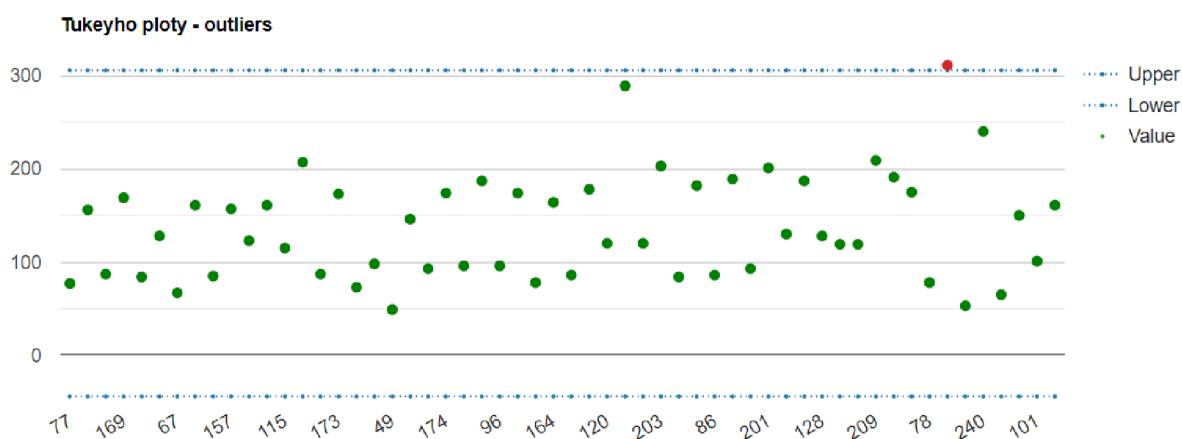
$Z = -4,213$

Vyhodnocení testu –akceptací H_0 není splněn předpoklad s velkou pravděpodobností 99,62 %.

To odpovídá, že hodnoty z roku 2000 jsou nižší a že obsahy hořčíku se významně zvýšily.

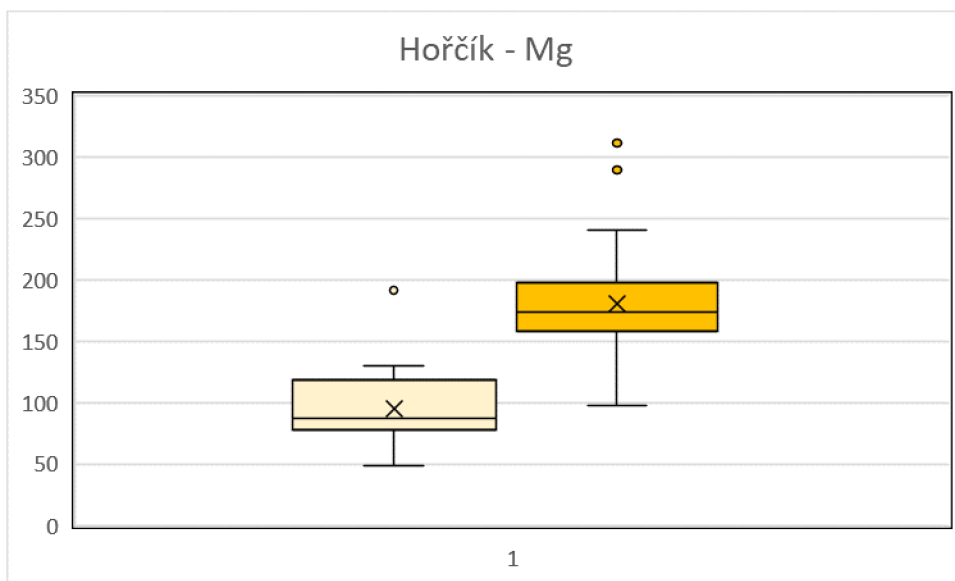


Graf č. 11 – Hodnocení - Mg (vlastní zpracování)



Graf č.12 – Tukeyho test - Mg (vlastní zpracování)

Tukeyho test vyloučil významné odlišné hodnoty – 311.



Graf č. 13 – hodnoty K v letech 2000 a 2018 (vlastní zpracování)

5.2.4 Vápník – Ca

p- hodnota = **0,029** a tím je H_0 zamítnuta

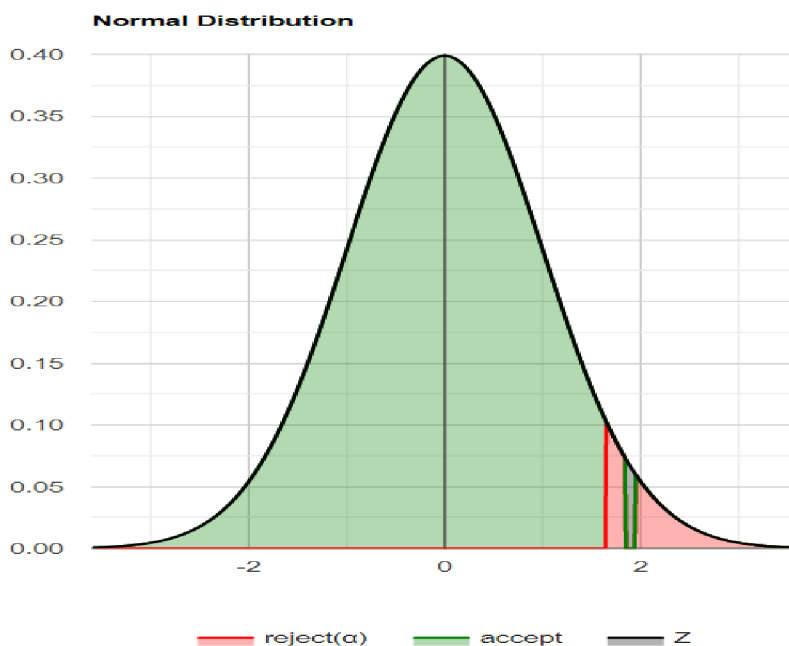
0,029 < 0,05

$W_+ = 100,5$

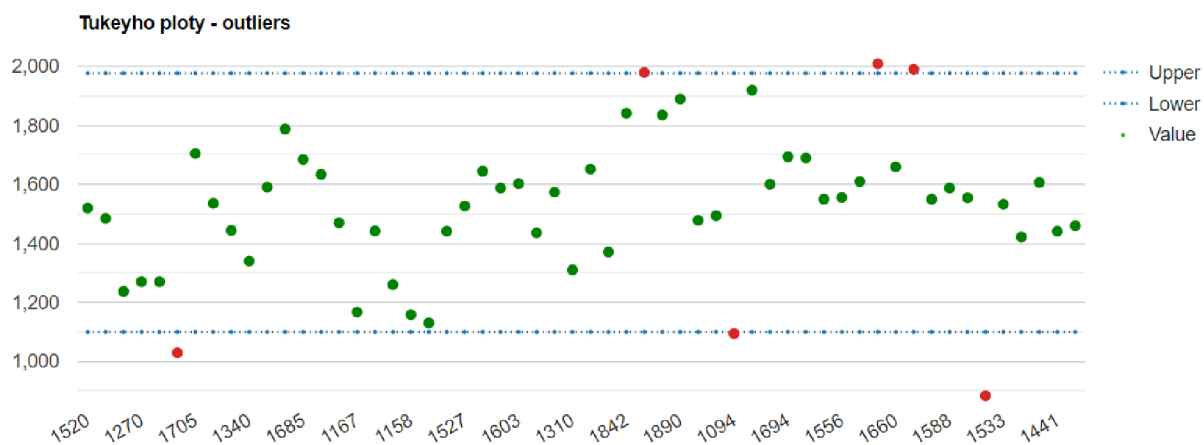
$W_- = 250,5$

$Z = 1,892$

Vyhodnocení testu –akceptací H_0 není splněn předpoklad s pravděpodobnosti 2,9 %, která při přihlédnutí k hranici přijatelnosti – 0,05 není významná. Údaje z roku 2000 jsou hodnoceny sice vyšší, ale obsahy vápníku se mírně snížily nebo zůstaly stejné.

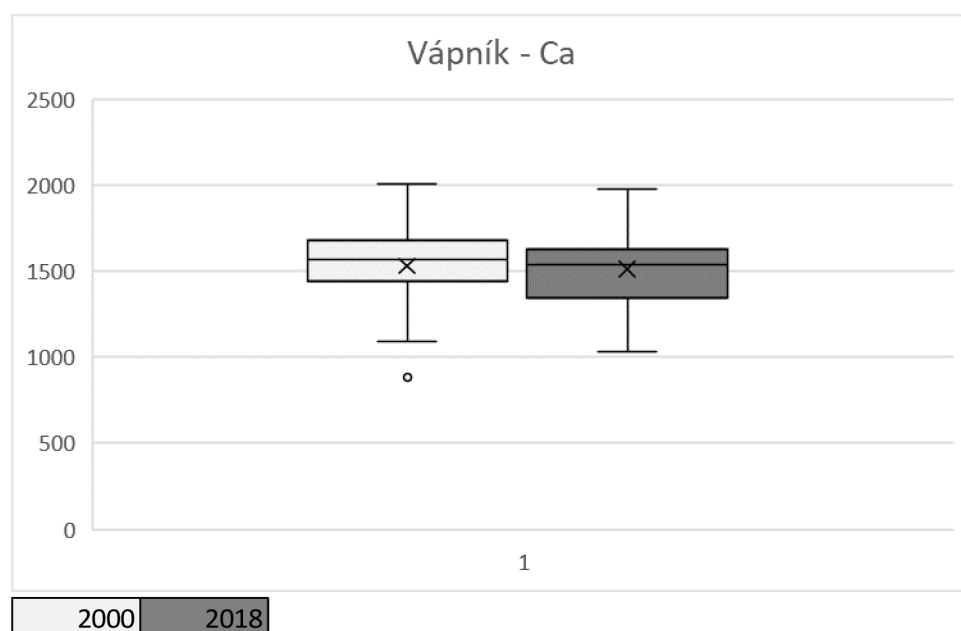


Graf č.14 – Hodnocení - Ca (vlastní zpracování)



Graf č.15 – Tukeyho test - Ca (vlastní zpracování)

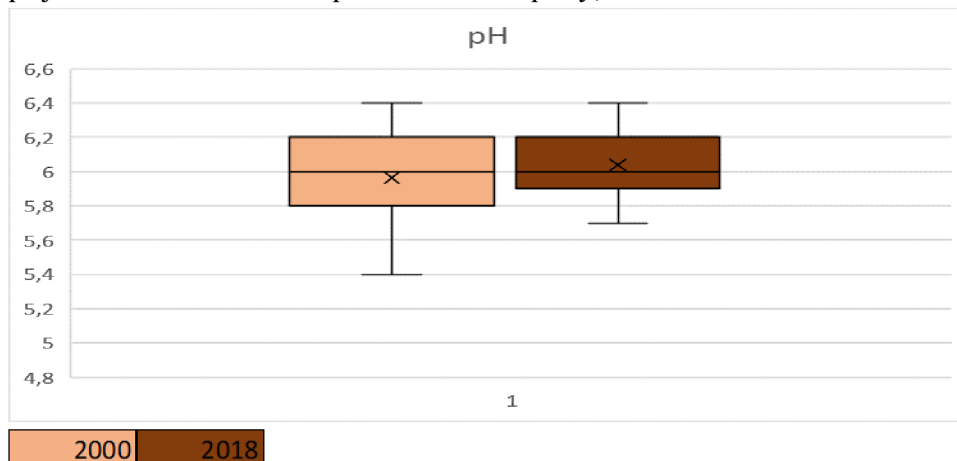
Tukeyho test vyloučil odlišné hodnoty, která byla vyřazena z testu – 1029, 1980, 1094, 2010, 1991, 883



Graf č. 16 – hodnoty Ca v letech 2000 a 2018 bez odlišné hodnoty(vlastní zpracování)

5.2.5 Půdní reakce – pH

Porovnání půdní reakce je provedeno pouze krabicovým grafem, z kterého lze vyvodit, že hodnoty půdní reakce se významně nezměnily spíše ustálily. Vývoje pH je nesnadné hodnotit z důvod, protože je důležité výši stabilizovat v rozmezí dle tabulky č.9 to je od slabě kyselé po neutrální i podle nároků plodin. Zvýšení ani snížení není žádoucí, dochází při tom k zastavení příjmu živin rostlinami, špatné struktury půdy, zhoršení koloběhu živin.

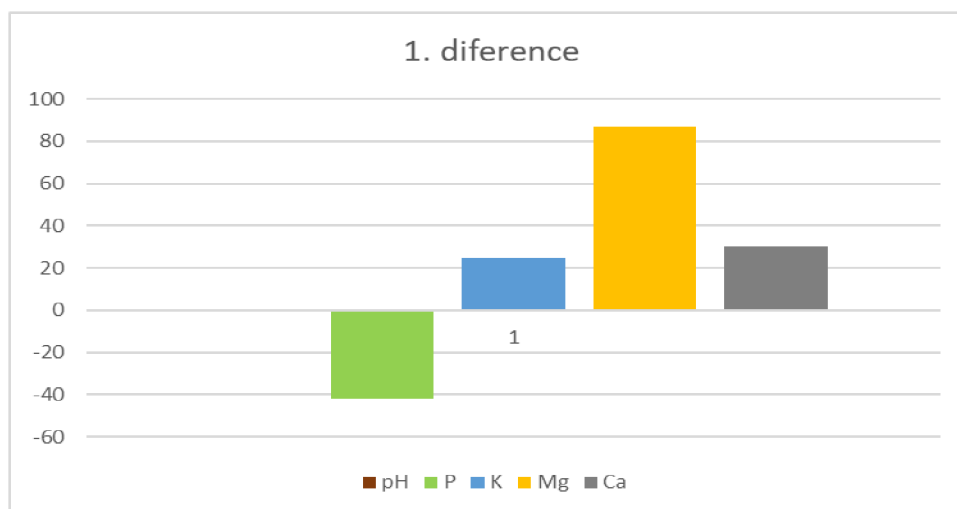


Graf č.17 – hodnoty pH v letech 2000 a 2018 (vlastní zpracování)

Tabulka č. 11 – popisná statistika (vlastní zpracování)

Statistický ukazatel	Půdní reakce pH		Fosfor P		Draslík K		Hořčík Mg		Vápník Ca	
Průměr	5,9	6,0	154	112	263	291	95	180	1531	1513
Minimum	5,1	5,3	87	52	113	144	49	98	883	1029
Maximum	6,4	6,4	237	183	717	533	191	311	2010	1980
Medián	6	6	151	109,5	217	242	87	174	1565	1535
1. diference mediánu		0		-42		25,0		87		30
index mediánu		1		0,73		0,90		2		1,02

Údaje v tabulce č.11 se potvrzují prokázaný výsledek hodnocení v parametrech.



Graf č. 18. Znázornění 1. diference - změny v hodnotě mediánu (vlastní zpracování)

6 Diskuze

Diplomová práce vycházela z dat Agrochemického zkoušení půd a odkazovala se na hodnocení charakteristik dle zákona č.156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). Touto legislativou byla novelizována metoda na stanovení přístupných živin Mehlich III.a zpřesnila kritéria hodnocení výsledků v dlouhodobém sledování vývoje úrodnosti půd. Naměřené hodnoty se týkaly oblasti obhospodařované zemědělskou společností v okrese Benešov v letech 2000 až 2018.

Předpoklad výsledků stanovené hypotézou, že vývoj sledovaných parametrů bude podobný jako je vývoj v České republice, který má klesající tendenci, nebyl zcela potvrzen. Smetanová et al. (2015) uvádí, že výsledky ČR ukazují snížení obsahů u fosforu, vápníku, draslíku, hořčíku. Z vyhodnocení vyplívá, že sice fosfor a vápník má klesající charakter, ale draslík se mírně zvyšuje a hořčík má statisticky významné nárůsty. Tento vývoj může být odůvodněn aplikací statkových hnojiv, které má podnik dostačující množství. Organická hnojiva jsou aplikována v podobě chlévského hnoje, kejdy a drůbeží podestýlky, čímž dochází ke zvýšení asanační schopnosti půdy, vodního režimu půdy, snižují se ztráty živin vyplavením a zvyšuje se antifytopatogenní potenciál půdy. Přívody živin v produkovaných hnojivech jsou přepočítávány dle legislativy (příloha č.3.). Subjekt se snaží udržet vyváženou bilanci živin v půdě skutečnou potřebou rostlin, k tomuto využívá výsledky laboratorních rozborů N v půdě.

Firma hospodaří na pozemcích zařazených do zranitelných oblastí, kde je povinné dodržování podmínek akčního programu Nitrátové směrnice. Omezení se týkají zákazu hnojení, limity hnojení k jednotlivým plodinám, období hnojení. Nitrátová směrnice je předpisem EU (Směrnice Rady 91/676/EHS), která je u nás zavedena do třech národních předpisů. Do zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) ve znění pozdějších předpisů, do nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu a do zákona o hnojivech č. 156/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Akční program je po čtyřech letech přezkoumán a případně projde úpravami rozšíření nebo i snížení dotčených ploch. Nařízené způsoby hospodaření jsou závislé na půdních a klimatických podmínkách, údaje jsou převzaty z bonitace půd (bonitované půdně ekologické jednotky – BPEJ). Na Portálu farmáře je k dispozici přehled opatření pro jednotlivé produkční bloky, kde zemědělec hospodaří (eagri 2022). To je příčina kdy nadlimitní produkci musí zemědělský podnik řešit předáním do jiných zemědělských podniků.

Obsah organické hmoty nebyl předmětem zkoumání, ale podle výsledků zkoumaných ukazatelů a podle popisu chování zemědělské společnosti, je předpoklad dobrá výše hodnoty a že bude, jak uvádí Penížek (2019), dosahovat středních hodnot. Organická hmota je dodávána formou statkových hnojiv, které má podnik v dostatečném množství k dispozici.

Ve své studii uvádí Sklenička et al. (2015) závislost, jestli hospodaří na pozemku vlastník nebo nájemce a Boardman (2006) tomuto tvrzení oponuje. Sledovaná společnost hospodaří na 82 % pronajatých pozemků a jak dokazuje šetření má chování farmáře spíše pozitivní vliv než negativní. Podnik má často zkušenosti, že vlastníci se nezajímají, jak zemědělci hospodaří, ale o to, jak vysoký dávají nájem. Ve většině případů převládá názor, že má být vysoký alespoň jako je výše dotací na ha. Bohužel veřejnost si vysvětluje zemědělské dotace jako něco navíc, neví, že jsou podmíněny dodržováním podmínek, ne vždy snadných. Efekt z obdržení dotačních

plateb se odráží do cen potravin a z toho máme prospěch všichni. Výsledek hospodaření záleží na lidech, kteří rozhodují o zemědělských presech, o tom, kam bude směřovat jejich podnikání a uvědomují si to nejdůležitější, že zemědělskou výrobu nejde během krátké chvíle ukončit a ani zpětně zahájit. Je to „běh na hodně dlouhou trať“.

Při odběrech půd Zbořil et al. (2019) upřesňuje, jak má vzorek vypadat, že musí být reprezentativní, homogenní a nekontaminovaný odběrem a upravený tak aby mohl být analyzován. Jsou odebírány jako směsný z plochy 7 ha, tím by měli být výsledky konkrétnější, ale v případě větších produkčních bloků mohou být zavádějící. V tento moment by bylo vhodné zavedení precizního zemědělství, jak popisuje Cisternas et al. (2020) a operace řešit individuálně podle částí pozemků. Za pomoci informačních technologií, které by cíleně umožnily se zaměřit na nejvhodnější úkony na správné místo. Je to velmi lákavé řešení, došlo by nejen k ušetření materiálu (chemických prostředků, hnojiv, pohonných hmot), času ale i lidské práce. Tyto technologie jsou ovšem finančně nákladné jak na pořízení, tak i na jejich provoz. Dále je to náročné pro obsluhující pracovníky.

Ministerstvo zemědělství ČR (2021) vypracovalo zprávu o úbytku zemědělské půdy zastavování půd s lepší bonitou a zalesněním ploch. K tomu negativnímu dochází i tady, rozšiřuje se územní plán pro výstavbu rodinných domů a podnikatelských objektů. A pozitivní úbytek je prezentován zdejší obecním úřadem, který obnovil lesní porosty a zalesnil nepřístupná místa. Už v dřívějších dobách bylo samozřejmé, že se stavení stavěly na neúrodných půdách a na úrodných se hospodařilo. Na to se nabízí otázka: Jak je to dnes?

Velký tlak je častý od firem skupující půdu. Obesílají majitele pozemků a nabízejí v té době lákavé ceny. V případě, že dojde ke koupi tak se objevují případy, kdy jsou parcely nabízeny dál, skutečně hospodařícím subjektům, ale za vyšší cenu. V dnešní době se hodnota půdy ve zdejší oblasti vyjádřená v tržní ceně pohybuje v rozmezí 25–45 Kč/m².

Erozní události zaznamenané Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (2022) jsou v místě podnikání společnosti méně časté. Erozně ohrožené pozemky odpovídají 75 % orné půdy. A je tady zvykem používat půdoochranné technologie například pásové zpracování půdy, přerušovací pásy, obsetí souvrátí, setí po vrstevnici, pěstování meziplodin. Vhodně zvolená plodina na konkrétní pozemek, správně vybraná technika apod. mají pozitivní vliv na ochranu půdy před erozí.

Produkce rostlinných výrobků reprezentuje příloha č.4 výnosy tržních plodin od roku 2005 do roku 2022. Přehled dokazuje, že jsou stabilní s mírnými výkyvy způsobené klimatickými vlivy nebo zřejmě i lidským faktorem.

Zemědělská společnost, byla vybrána do hodnocení integrované ochrany rostlin v praxi za rok 2022, kde získal 261 celkových bodů, celková míra plnění integrované ochrany rostlin je 71 % (hodnocení v této bodové škála je velmi dobré). V hodnocení jednotlivých sekcí, dosáhl nejlepšího hodnocení v rámci pěstitelských opatření, kde dosáhl výborné úrovně – klasifikováno 1 a přípravků na ochranu rostlin, hnojení a půdy dosáhl subjekt dobré úrovně – klasifikováno 2.

V rámci Společné zemědělské politiky musí fungovat podpora evropských zemědělců, zajišťování potravinové bezpečnosti v Evropě při zajištění provozování odolného, udržitelného a konkurenceschopného zemědělství (eagri 2022). Schválení nového strategického plánu SZP pro roky 2023–2027 doprovázelo vyjednávání v rámci členů EU, které bylo ovlivněno i děním ve světě. Pandemie COVID-19 a válka na Ukrajině způsobila i jiný pohled na zemědělství.

Přemýšlení o potravinové soběstačnosti, kritickému nedostatku pracovníků v zemědělství, které je závislé právě na pracovních silách převážně z Ukrajiny. S tím vším se potýkají zemědělci obecně v celém spektru českých regionů.

Dnešní zemědělec je příjemce zemědělských dotací ze zdrojů Evropské unie i národních titulů. Zmíněný podnik je příjemce dotace v rámci Jednotné žádosti a národních titulů jako je dotace vodního hospodářství – Želivka, zlepšení životního prostředí chovu hospodářských zvířat a podpora činností zaměřená na ozdravovací program chovů hospodářských zvířat.

Zemědělství je neodmyslitelně spojeno s venkovem. A snaha vyrovnat se městským aglomeracím se v některých bodech negativně odráží na způsobu zemědělské výroby. Je nazývána průmyslovým zemědělstvím. Každý by si měl uvědomit, že je to základna pro většinu potravin, které chceme, aby byly co nejkvalitnější a za dostupnou cenu. A výroba je řízena potřebami lidí.

V současnosti si farmář musí půdy vážit, přistupovat k ní s respektem a pokorou. Je to nejdůležitější výrobní prostředek nejen pro rostlinnou výrobu, ale i pro živočišnou výrobu. Zemědělec musí podporovat procesy, které v ní probíhají. Svým uvážlivým konáním zachová půdu v dobré kvalitě pro budoucí generace.

7 Závěr

Diplomová práce se zabývala zhodnocení vybraných ukazatelů kvality půdy a to půdní reakcí a obsahem čistých živin – fosforu, draslíku, hořčíku a vápníku. Pro hodnocení byla vybrána zemědělská společnost v okrese Benešov. Probíhá zde konvenční zemědělská výroba v pěstování tržních a krmných plodin, živočišná výroba se zaměřením na výrobu mléka a výkrm drůbeže.

Byla zvolena statistická metoda Wilcoxonův test – párový, z důvodů menšího počtu sledovaných parametrů. Nastavená hypotéza měla předpokládat republikový vývoj klesajících hodnot obsahů sledovaných parametrů na zemědělské půdě po roce 1990. Předpokládaný výsledek hypotézy zní spíše znepokojivě, ale po zpracování nebyl tak negativní, jak se očekávalo.

Tento způsob dokázal vyhodnotit hospodaření zemědělské společnosti na orné půdě za období od 2000 až 2018. Po skončení šetření bylo zjištěno, že u žádného obsahu živin na produkčních blocích nedochází k deficitním úbytkům. K významnému snížení došlo u obsahu fosforu, který se ale nedostává prozatím do kritického bodu. Tento vývoj je varující pro další roky. Aby se předešlo dalšímu snižování musí se zvážit strategie doplnění tohoto prvku například zavedením hnojení fosforečnými minerálními hnojivy. U draslíku dochází k mírnému zlepšení, ale i tak je na zvážení sledovat tento parametr a se snažit o jeho zachování v této hodnotě nebo možné i mírné zvýšení. Nejlépe dopadl hořčík, u kterého došlo k významnému zvýšení. Vápník setrvává na podobných hodnotách, které ovšem nejsou dostačující, ale tento problém začali ve firmě řešit pravidelným vápněním. V celkovém hodnocení obsahů převažuje u všech sledovaných ukazatelů jako dobrý stav, půdní reakce, která je ovlivněna obsahem vápníku, je ve většině případech slabě kyselá.

Protože jsou pozemky pravidelně hnojeny statkovými hnojivy a i když tady bylo prováděno jednostranné hnojení dusíkem po roce 1990 podobně jako v ostatních regionech ČR, dokázaly se zachovat dobré obsahy sledovaných parametrů pravidelnou aplikací těchto hnojiv. Statková hnojiva jsou zapravována do půdy před setím plodin a kapalná hnojiva – kejda se používá i v raném období růstu řepky ozimé a obilnin, dále k přihnojení trvalých travních porostů po seči. Interval hnojení přispívají k dobré zásobě draslíku v půdě. V posledních letech se podnik rozhodl vrátit k pravidelné aplikaci mletého vápence a tím by měla být zlepšena zásoba vápníku i úprava pH. Minerální fosforečná a draselná hnojiva byla aplikována do půdy pouze výjimečně. Potřeba rostlin na živiny fosforu, draslíku a hořčíku byly dodávány pouze listovými hnojivy. Protože v zemědělské výrobě má velký podíl živočišná výroba, je zde k dispozici dostatečná zásoba organických hnojiv.

Důležitý faktor jsou i pěstované plodiny na orné půdě, u kterých je procentuální obsazení: pšenice ozimá 22 %, ječmen ozimý 17 %, řepka ozimá 15 %, mák 5 %, kukuřice 25 %, jetel 8 %, luskoobilná směska 8 %, trvalé travní porosty zaujímají 12 % zemědělské půdy.

Zdejší krajinný ráz je spíše kopcovitý s průměrnou sklonitostí obdělávaných pozemků 4,5-5⁰, to podmiňuje používání půdoochranných technologií pro pěstování nejen širokořádkových plodin. Dále jsou na 15 % ploch ochranná pásma ochrany povrchových vod vodárenské nádrži Švihov, které omezují použití ochranných prostředků na ochranu rostlin. Toto vše je pro zemědělce nejjednodušší skloubit do objektivního hospodaření mezi množstvím produkce, kladného ekonomického zisku a dodržování pravidel správného hospodáře.

Zpracováním hodnocení vybraných indikátorů umožnilo objektivní pohled na hospodaření na zemědělské půdě a předvedlo i snahu farmáře o zlepšení kvality půdy. Vyhodnocení je směřující předloha pro zpracování plánu hnojení a přizpůsobení plánu osevů zemědělských plodin.

8 Literatura

- Agyeman PCH, John K, Keybonye NM, Borůvka L, Vašát R, Drábek O, Němeček K. 2021. Human health risk exposure and ecological risk assessment of potentially toxic element pollution in agricultural soils in the district of Frydek Mistek, Czech Republic: a sample location approach. *Environmental Sciences Europe* 33:137. Available from <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00577-w>.
- Balík J. 2010. Vliv hnojení na půdní úrodnost. *Biom.* Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-hnojeni-na-pudni-vlastnosti-a-pudni-urodnost>.
- Baseca CC, Sendra S, Lloret J, Tomas J. 2019. A Smart Decision System for Digital Farming. *Agronomy*. 9. 216. DOI:10.3390/agronomy9050216.
- Beylich A, Oberholzer H R, Schrader S, Höper H, Wilke B M. 2010. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. *Soil & Tillage Research*. **109**:133-143.
- Boardman J. 2006. Soil erosion science: reflections on the limitations of current approaches. *Catena* **68**:73–86. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2006.03.007>.
- Bouma J. 2014. Soil science contributions towards Sustainable Development Goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **177**:111–120.
- Certini G, Ugolini C F. 2013. An updated, expanded, universal definition of soil. *Geoderma*.**192**:378-379.
- Cisternas I, Velasquez I, Caro A, Rodriguez A. 2020. Systematic literature review of implementations of precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. **176**. 105626. Available from <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105626>.
- Commission of the European. 2006. Soil Thematic Strategy, COM(2006) 231. Commission of the European Communities. Available from: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/soil-thematic-strategy-com-2006-231>.
- Corstanie R, Deeks L R , Whitmore A P , Gregory A S, Ritz K. 2015. Probing the basis of soil resilience. *Soil Use and Management*. **31**:72-81.
- Cotrufo F, Haddix M L, Kroeger M E, Stewart C S. 2022. The role of plant input physical-chemical properties, and microbial and soil chemical diversity on the formation of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 168. 108648.
- Český statistický úřad. Statistika dle krajů a obcí. 2023. Available form https://www.czso.cz/csu/xs/benesov_s_nazvy_obci_barevne.

- Český úřad zeměměřický a katastrální . 2023. Available from : https://www.cuzk.cz/Dokument.aspx?AKCE=META:SESTAVA:MDR002_XSLT:WEB_CUZZK_ID:676411.
- Czirbus N, Nyilas T, Raucsik B, Hetényi M. 2016. Investigation of the Effect of Soil Mineral Composition on Soil Organic Matter Stability. *Soil & Water Research*. **11**:147-154.
- Dazzi C, Lo Papa G. 2022. A new definition of soil to promote soil awareness, sustainability, security and governance. 2022. *International Soil and Water Conservation Research*. **1**: 99-108.
- De Alwis S, Hou Z, Zhang Y, Hwan NM, Ofoghi B, Saijanhar A. A survey on smart farming data, applications and techniques. 2022. *Computers in Industry*. 138 (1): 103624. DOI:10.1016/j.compind.2022.103624.
- Doran J, Zeiss M. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*. **15**:3-11.
- Drobnik T, Greiner L, Keller A, Grêt-Regamey A. 2018. Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services. *Ecological Indicators* **94**:151–169.
- Elhottová D, Chroňáková A, Šimek M. 2020. Živá půda 2. Půdní prokaryota – v jednoduchosti je síla. *Živa*. **2**:79–85.
- Falťan V, Petrovič F, Oľahel J, Feranec J, Druga M, Hruška M, Nováček J, Solár V, Mechurová V. 2020. Comparison of CORINE Land Cover Data with National Statistics and the Possibility to Record This Data on a Local Scale—Case Studies from Slovakia. *Remote Sensing*. 12, 2484. 2484; DOI:10.3390/rs12152484.
- Fapelli GM. 2008. The Global Phosphorus Cycle: Past, Present, and Future. *Elements*. **4**:89-95. Available from <https://doi.org/10.2113/GSELEMENTS.4.2.89>.
- Francoa A, Cherubin M, Cerri C, Guimarães R, Cerric C. 2017. Relating the visual soil structure status and the abundance of soil engineering invertebrates across land use change. *Soil & Tillage*. **173**:49-52.
- Greiner L, Keller A, Gret-Regamey A, Papritz A. 2017. Soil function: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem, service. *Land Use Policy*. **69**:224-237.
- Griffiths BS, Hallett PD, Kuan HL, Gregory AS, Watts CW, Whitmore AP. 2008. Functional resilience of soil microbial communities depends on both soil structure and microbial community composition. *Biology and Fertility of Soil*. **44**:745-754.
- Guntoro B, Hoang QN, A'yun AQ, Rochijan. 2019. Dynamic Responses of Livestock Farmers to Smart Farming. *Earth and Environmental Science* 372. The 1st Animal Science and Food Technology Conference. DOI: 10.1088/1755-1315/372/1/012042.
- Hadas A. 1997. Soil tillage—the desired soil structural state obtained through proper soil fragmentation and reorientation processes. 1997. *Soil & Tillage Research*. **43**:7-40.

- Haines-Young R., Potschin M. 2010. Pages 110-139. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In D. Raffaelli & C. Frid. *Ecosystem Ecology: a new synthesis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hajnos M, Calka A, Jozefaciuk G. 2013. Wettability of mineral soils. *Geoderma*. Volume **206**: 63-69. Available from <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.019>.
- Holec J, Poláková J et al. 2019. *Zemědělství a potraviny*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Kalina M. 2016. *Hnojení půdy a kompostování v zahradě*. Grada Publishing, Praha.
- Keesstra S D, Rodrigo-Comino J, Novara A, Giménez-Morera A, Pulido M, Di Prima S, Cerdà A. 2019. Straw mulch as a sustainable solution to decrease runoff and erosion in glyphosate-treated clementine plantations in Eastern Spain. An assessment using rainfall simulation experiments. *Catena* **174**: 95–103.
- Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání. 2013. *Máme na Zemi?* Brno. ISBN 978-80-87604-47-2. Available from https://www.lipka.cz/soubory/mameNazemi_web.pdf.
- Ministerstvo zemědělství. *Výhledová a situční zpráva PŮDA 2021*. Ministerstvo zemědělství. Praha.
- Ministerstvo životního prostředí. 2022. *Definice půdy*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. available from [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/\\$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/definice_pudy/$FILE/OOHPP-Definice_pudy-20080820.pdf)
- Zemědělská účetní datová síť FADN. *Zajímavosti z FADN. Hospodaření zemědělských podniků v ČR a v zemích EU. Ústav zemědělské ekonomiky a informací*. 2022. Praha. Available from https://www.fadn.cz/fadnweb/AHTM/PUBLIKACNI_CINNOST.html
- Mioduszewski J, Przygodzka R, Sadowski A. 2018. Conditions of development of arable land belonging to state treasury in Warminsko – Mazurskie region. *Proceedings of the 2018 International Conference "Economic Science for Rural Development"*. **47**: 213-220. DOI 10.22616/ESRD.2018.025.
- Ministerstvo zemědělství. 2021. *Hodnocení půdní úrodnosti*. Available from <https://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/hnojiva-a-puda/ukzuz-urodnost-zemedelskych-pud-v-cr.html>
- Nátr L. 2011. *Příroda, nebo člověk? Služby ekosystémů*. Karolinum, Praha.
- Novák P. 2001. *Produkční a mimoprodukční funkce půdy a její ochrana. Úroda č. 1*. Profí Press, Praha.

- Ning Q, Chen L, Zhang C, Ma D, Li D, Han X, Cai Z, Huang S, Zhang J. 2021. Saprotrophic fungal communities in arable soils are strongly associated with soil fertility and stoichiometry. *Applied Soil Ecology*. 159. 103843. Available from <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103843>.
- Okoli C, Pawlowski SD 2004. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Inform. Manage.* **42**:15–29.
- Patzel N, Sticher H, Karle D L. 2000. Soil Fertility – Phenomen and Concept. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. **163**: 129-142.
- Penížek V. 2019. Půda. Pages 50-63. *Zemědělství a potraviny*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha.
- Procházková R, Prášilova M, Hlouskova Z. 2017. Pages 299-305. 26th International Scientific Conference on Agrarian Perspectives - Competitiveness of European Agriculture and Food Sectors. 2017. *Agrarian Perspective XXVI*.
- Reeves DW. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research*. **43**:131-167.
- Rosch C, Dusseldorp M. 2007. Precision agriculture: How innovative technology contributes to a more sustainable agriculture. *GAIA – Ecological Perspectives on Science and Society*. **16** (4):272-279.
- Schaak H, Musshoff O. 2022. The distribution of the rent–price relationship of agricultural land in Germany. *European Review of Agricultural Economics*. **49**: 696–718.
- Sklenička, P., Molnarova, K.J., Salek, M., Simova, P., Vlasak, J., Sekac, P., Janovska, V., 2015. Owner or tenant: Who adopts better soil conservation practices? *Land Use Policy* **47**:253–261.
- Smetanová M, Klement V, Susil A. 2015. Changes of Content of Available Nutrients in Soils of the Czech Republic. Pages 49-56. *Sborník z 21. Mezinárodní konference racionální použití hnojiv: Zaměřené na půdu a půdní úrodnost*. Praha.
- Sosulski T, Szymanska M, Szara E. *Soil Science Annual*. 2017. Assessment of various practices of the mitigation of N₂O emissions from the arable soils of Poland. **68**:55-64.
- Sun H, Zhou G, Xu Z, et al., 2020. Temperature sensitivity increases with decreasing soil carbon quality in forest ecosystems across northeast China. *Climatic Chang*. Available from. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02650-z>.
- Šimek M, Elhottová D, Shlaghamerský J, Tajovský K, Tuf IH. 2020. Živá půda 1. Kdo žije v půdě? *Živa*. **1**: 27-32.
- Šimek M, Hynšt J, Malý S. 2021. Živá půda 10. Minerální živiny. *Živa*. 2021. **6**: 319-325.

- Šustr V, Hynšt J, Chroňáková A, Malý S, Šimek M. 2021. Živá půda 6. Jak organismy v půdě fungují. *Živa*. **1**:25- 31.
- Villamagna AM, Angermeier PL, Bennett EM. 2013. Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity* **15**:114-121.
- Vidal A, Klöffel T, Guigue J, Angst G, Steffens M, Hoeschen C, Mueller WC. 2021. Visualizing the transfer of organic matter from decaying plant residues to soil mineral surfaces controlled by microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*. 160. 108347. Available from <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108347>.
- Voltr V. 2012. Concept of soil fertility and soil productivity: evaluation of agricultural sites in the Czech Republic. *Archives of Agronomy and Soil Science*. **58**: 243-251.
- Whalley W R, Dumitru E, Dexter R A. 1995. Biological effects of soil compaction. *Soil & Tillage Research*. **35**: 53-68.
- Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy. Monitoring eroze zemědělské půdy. Závěrečná zpráva. 2022. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- Totsche K U, Rennert T, Gerzabek M H, Kögel-Knabner I, Smalla K, Spiteller M, Vogel H J. 2010. Biogeochemical interfaces in soil: The interdisciplinary challenge for soil science. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. Volume **173**: 88-99.
- Zbírál J, Smatonová M. 2019. Agrochemické zkoušení zemědělských půd. Nové výzvy a nové možnosti. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno.
- Zahora J, Ryant P, Skarpa P. 2015. Soil Fertility and Soil Biological Activity. Pages 21 – 26. ú 21st International Conference on Reasonable Use of Fertilizers.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

AZZP	Agrochemické zkoušení zemědělských půd
BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
DPB	Kod produkčního bloku
DZES	Dobry zemědělský a enviromentální stav
EU	Evropská unie
FADN	Farm Accountancy Data Network
MZe	Ministerstvo zemědělství ČR
SZP	Společná zemědělská politika
SOC	Soil organic carbon
ÚKZUZ	Ústřední kontrolní úřad zemědělský
ÚZEI	Ústav zemědělské ekonomiky a informací
VUMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy

10 Seznam tabulek

Tabulka č.1 Vývoj podílu pronajaté půdy v ČR od roku 2005 do 2020 (v %)	13
Tabulka č.2 Zastoupení organismů v půdě.....	18
Tabulka č. 3 Charakteristické znaky a vlastnosti skupin edafonu	19
Tabulka č.4 Příklad dynamických prvků půdní úrodnosti.....	26
Tabulka č. 5 Vývoj půdního fondu od roku 1999 do roku 2020. Hodnoty jsou uvedeny v ha.	30
Tabulka č.6 -Základní statistika změn průměrného obsahu živin na zemědělské půdě od roku 1990 do roku 2016.....	34
Tabulka č.7 Množství spotřeby hnojiv v kg na hektar orné půdy	38
Tabulka č.8 – hodnocení pH	44
Tabulka č. 9– Kritéria hodnocení výsledků rozborů – orná půda	44
Tabulka č. 10– přehled sledovaných DPB.....	50
Tabulka č. 1 – popisná statistika.....	57

11 Samostatné přílohy

Příloha č. 1 – Přehled zpracovaných dat za jednotlivé termíny odběrů AZZP (vlastní zpracování)

Poř. č.	Čtverec	Kód DPB	Katastrální území	Kul.	Výměra [ha]	Druh půdy	1994				2000				2006				2011				2018								
							pH	P	K	Mg	Ca	pH	P	K	Mg	Ca	pH	P	K	Mg	Ca	pH	P	K	Mg	Ca	pH	P	K	Mg	Ca
1.	700-1090	0801/1	Křinsoudov	R	22,86	síťeční	5,8	134	263	87	1770	6,2	133	257	123	1591	5,9	156	255	116	1651	6,1	129	238	133	1830	6,1	95	144	161	1788
2.	700-1100	1001	Křinsoudov	R	48,72	síťeční	5,8	112	313	81	1731	5,8	162	296	115	1685	6	134	375	131	1579	6,4	198	781	221	1724	6,1	137	420	207	1634
3.	700-1100	1003/1	Křinsoudov	R	24,24	síťeční	5,9	136	365	76	1687	6	154	278	87	1470	5,7	99	371	102	1358	6,1	165	523	153	1390	5,8	94	217	173	1167
4.	700-1090	1701	Křinsoudov	R	33,20	lehká	5,7	81	244	74	1385	5,5	139	202	93	1441	5,7	137	296	101	1444	6	137	292	136	1522	5,9	183	377	174	1527
5.	700-1090	1801/1	Křinsoudov	R	54,55	síťeční	6	85	242	68	1437	6,2	132	202	96	1645	5,3	94	151	86	1363	5,7	58	131	113	1404	6	119	244	187	1588
6.	700-1090	1802/1	Křinsoudov	R	80,45	síťeční	6,3	97	221	87	1792	5,9	154	240	96	1603	5,8	145	362	105	1413	6	164	448	183	1596	5,7	107	302	174	1436
7.	700-1090	1901/1	Křinsoudov	R	19,16	síťeční	6,7	103	182	61	1670	5,9	147	182	78	1574	5,4	55	156	74	1187	5,2	82	167	81	1265	5,8	105	211	164	1310
8.	700-1090	1901/3	Křinsoudov	R	52,98	síťeční	6,6	119	239	64	1891	6,2	128	212	86	1652	5,6	85	235	151	1617	5,7	73	192	109	1479	6,2	119	217	178	1371
9.	700-1100	2002/10	Křinsoudov	R	11,04	síťeční	6,7	101	244	94	2240	6,2	101	226	120	1842	5,9	115	218	112	1705	6,5	52	195	176	2170	6,2	117	485	289	1890
10.	700-1100	2002/13	Křinsoudov	R	9,26	síťeční	5,8	131	371	111	1850	6,3	201	383	120	1836	5,9	133	297	112	1639	6	198	557	157	1860	6	157	533	203	1890
11.	700-1100	2002/15	Křinsoudov	R	36,24	síťeční	5,8	118	273	78	1627	5,5	157	171	84	1478	5,8	89	268	123	1650	6,6	109	330	153	1776	6	158	510	182	1494
12.	700-1100	2002/21	Křinsoudov	R	12,22	síťeční	6,1	118	334	97	1990	5,4	89	206	86	1094	6	109	400	126	1747	6,5	87	333	113	2090	6,3	105	419	189	1920
13.	700-1100	2002/6	Křinsoudov	R	44,79	síťeční	6,25	128	278	94	1940	5,8	158	236	93	1601	5,8	91	205	107	1742	5,5	97	268	122	1572	6	138	297	201	1694
14.	700-1090	2902/3	Křinsoudov	R	32,14	síťeční	6,5	85	223	104	1944	6,4	89	162	119	2010	6	119	348	137	1745	6	79	219	177	1776	6,2	95	328	209	1660
15.	700-1090	3906/1	Křinsoudov	R	9,39	síťeční	6,9	86	203	169	1995	6,1	128	191	191	1991	6	89	181	197	1829	6,1	117	356	215	1840	5,9	125	245	175	1550

DPB	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0801/1	PO	SJ	JETEL	PO	JO	KUK	ŽITO	MÁK	SJ	JETEL	KUK	PO	MÁK	PO/JET	ŘO	PO	KUK	PO	KUK	PO	JO	ŘO	PO	KUK	PO	JO	ŘO
1001	BRAM	PO	JO	ŘO	PO	ŽITO	KUK	TRIT	MÁK	JÍLEK/PO	ŘO	PO	KUK	SJ	JETEL	ŘO	PO	KUK	PO	JO	KUK	PO	KUK/BRAM	BRAM/KUK	JO	ŘO	PO
1003/1	KUK	BRAM	MÁK	SJ	JETEL	PO	KUK	SJ	JETEL	JÍLEK	ŘO	PO	KUK	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	PO	SJ	JETEL	JO	KUK	PO	JETEL	ŘO	PO
1701	TRIT	KUK	PJ	ŘO	PO	SJ	JETEL	KUK	BOB	MÁK	PO	KUK	SJ	JETEL	KUK	HRÁCH	PO	ŘO	PO	KUK	HRÁCH	JO	KUK	SJ	JETEL	KUK	PO
1801/1	SJ	JETEL	PO	JO	ŘO	PO	SJ	JETEL	KUK	MÁK	JÍLEK	ŘO	PO	KUK	PJ	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	JO	SJ	JETEL	JO	ŘO	PO	KUK
1802/1	KUK/MÁK	TRIT/SJ	BRAM/JÍLEK	PO	JO	ŘO	PO	KUK	SJ	JETEL	PO	KUK	MÁK/SJ	PO/JETEL	ŘO	PO	SJ/KUK	PO/MÁK	JO	ŘO/KUK	PO	KUK	JO/SJ	KUK/JÍLEK	MÁK/JO	KUK/JJ	PO/SJ
1901/1	JETEL	PO	TRIT	SJ	JETEL	JO	ŘO	TRIT	KUK	SJ	JETEL	MÁK	PO	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	PO	KUK	JO	ŘO	PO	KUK	SJ/M	J/KUK	PO
1901/3	JO	ŘO	PO	SJ	JETEL	JO	ŘO	TRIT	KUK	SJ	J	MÁK	PO	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	PO	KUK	JO	ŘO	PO	KUK	SJ	JETEL	PO
2002/10	ŘO	PO	SJ	JETEL	PO	SJ	JETEL	TRIT	MÁK	PO	KUK	SJ	JETEL	ŘO	PO	KUK	PO	SJ	JETEL	JO	ŘO	PO	KUK	PO	JO	ŘO	PO
2002/13	ŘO	PO	KUK	JJ	KUK	MÁK	JO	ŘO	PO	KUK	MÁK	PO	SJ	JETEL	PO	KUK	PO	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	HRÁCH	JO	ŘO	PO	KUK
2002/15	ŘO	MÁK	PO	KUK	KUK	MÁK	JO	ŘO	PO	KUK	MÁK	PO	SJ	JETEL	PO	KUK	PO	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	HRÁCH	JO	ŘO	PO	KUK
2002/21	ŘO	MÁK	PO	KUK	PO	MÁK	JO	ŘO	PO	KUK	MÁK	PO	SJ	JETEL	PO	KUK	PO	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	HRÁCH	JO	ŘO	PO	KUK
2002/6	ŘO	PO	SJ	JETEL	PO	KUK	KUK	TRIT	MÁK	PO	KUK	SJ	JETEL	ŘO	PO	KUK	PO	SJ	JETEL	JO	ŘO	PO	HRÁCH/KUK	KUK/HRÁCH	JO	ŘO	PO
2106	ŘO	PO	KUK	JJ	KUK	MÁK	JO	ŘO	PO	KUK	MÁK	PO	SJ	JETEL	PO	KUK	PO	KUK	PO	ŘO	PO	KUK	HRÁCH	JO	ŘO	OP	KUK
2902/3	PO	ŘO	TRIT	SJ	JETEL	PO	MÁK	JO	ŘO	PO	KUK	SJ	JETEL	KUK	MÁK/KUK	PO	KUK	PO	KUK	JO	ŘO	PO	H/KUK	JO/PO	HRÁCH/KUK	PO/JO	SJ
3906/1	PO	KUK	JJ	KUK	PO	PO	MÁK	JO	ŘO	PO	KUK	SJ	JETEL	KUK	KUK	PO	KUK	PO	KUK	JO	ŘO	PO	KUK	PO	KUK	JO	SJ

Příloha č. 2 Přehled pěstovaných plodin v období od 1998 do 2024 (vlastní zpracování)

Příloha č.3 Průměrný přívod živin do půdy ve statkových hnojivech dle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech

Statkové hnojivo	Průměrný obsah sušiny (%)	Dusík (N)	Fosfor (P ₂ O ₅)	Draslík (K ₂ O)
		kg . t ⁻¹ ¹⁾		
Hnůj skotu	23,0	5,0	3,1	7,1
Hnůj skotu (z hluboké podestýlky)	23,0	6,0	3,1	10,7
Hnůj prasat	23,0	6,2	5,7	5,1
Hnůj prasat (z hluboké podestýlky)	23,0	7,4	5,7	7,1
Košský hnůj	29,0	5,2	3,2	7,3
Ovčí hnůj, kozí hnůj	28,0	7,6	3,7	10,4
Močůvka skotu a hnojůvka	2,4	2,5	0,2	5,3
Močůvka prasat a hnojůvka	2,0	2,8	0,5	2,5
Kejda skotu	7,8	3,2	1,5	4,8
Kejda prasat	6,8	5,0	3,0	2,3
Kejda ovcí, kejda koz	24,0	6,0	2,1	5,3
Kejda drůbeže	11,8	9,6	6,4	3,8
Čerstvý drůbeží trus	23,0	18,0	11,9	7,1
Drůbeží trus uleželý (ztráty N 35 %)	33,0	16,8	17,1	10,2
Suchý drůbeží trus (ztráty N 50 %)	50,0	19,2	24,3	14,9
Suchý drůbeží trus (ztráty N 50 %)	73,0	28,0	35,5	21,8
Drůbeží podestýlka (ztráty N 50 %)	50,0	19,2	16,0	11,3
Výkaly a moč skotu (průměrná roční produkce 14,0 t . DJ ⁻¹)		3,3 ⁴⁾	2,2	7,1
Výkaly a moč ovcí, koz (průměrná roční produkce 9,1 t . DJ ⁻¹)		4,9	2,6	6,6
Výkaly a moč koní (průměrná roční produkce 8,6 t DJ ⁻¹)		2,8	2,3	3,5

Vysvětlivky k tabulce:

¹⁾ Přívod živin do půdy ve statkových hnojivech je uváděn již po odečtu ztrát ve stájích, při skladování statkových hnojiv a při pastvě hospodářských zvířat nebo jejich pobytu na zemědělské půdě. Pokud je k dispozici rozbor obsahu živin, nepoužijí se hodnoty uvedené v tabulce.

²⁾ Při pasivním sušení.

³⁾ Při aktivním sušení.

⁴⁾ Pro skot do 2 let věku se použije hodnota 2,6 kg N . t⁻¹ výkalů a moči.

Příloha č.4 Přehled výnosů tržních plodin v podniku za období 2005 až 2022v t/ha (vlastní zpracování)

