



Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture



MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD V ČESKÉ REPUBLICĚ 1992–2013

**MONITORING OF AGRICULTURAL SOILS
IN THE CZECH REPUBLIC
1992–2013**

Mgr. Šárka Poláková, Ph.D., Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.
Ing. Lenka Prášková, Ph.D., Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.
Ing. Pavel Němec, RNDr. Jaroslav Staňa

Brno, únor 2017



Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture

MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD V ČESKÉ REPUBLICE 1992–2013

MONITORING OF AGRICULTURAL SOILS IN THE CZECH REPUBLIC 1992–2013

Autoři (Authors): Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.
Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.
Ing. Lenka Prášková, Ph.D.
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.
Ing. Pavel Němec
RNDr. Jaroslav Staňa

Autorský kolektiv ÚKZÚZ

Mgr. Šárka Poláková, Ph.D. (*Oddělení půdy a lesnictví, sarka.polakova@ukzuz.cz*)
Ing. Ladislav Kubík, Ph.D. (*Oddělení půdy a lesnictví, ladislav.kubik@ukzuz.cz*)
Ing. Lenka Prášková, Ph.D. (*Oddělení půdy a lesnictví, lenka.praskova@ukzuz.cz*)
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D. (*Oddělení mikrobiologie a biochemie, stanislav.maly@ukzuz.cz*)
Ing. Pavel Němec (*Oddělení půdy a lesnictví, pavel.nemec@ukzuz.cz*)
RNDr. Jaroslav Staňa (*Kancelář ústavu, jaroslav.stana@ukzuz.cz*)

Authors ÚKZÚZ (Central Institute For Supervising and Testing in Agriculture)

Mgr. Šárka Poláková, Ph.D. (*Department of Soil and Forestry, sarka.polakova@ukzuz.cz*)
Ing. Ladislav Kubík, Ph.D. (*Department of Soil and Forestry, ladislav.kubik@ukzuz.cz*)
Ing. Lenka Prášková, Ph.D. (*Department of Soil and Forestry, lenka.praskova@ukzuz.cz*)
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D. (*Department of Microbiology and Biochemistrsy, stanislav.maly@ukzuz.cz*)
Ing. Pavel Němec (*Department of Soil and Forestry, pavel.nemec@ukzuz.cz*)
RNDr. Jaroslav Staňa (*Authority Office, jaroslav.stana@ukzuz.cz*)

ISBN: 978-80-7401-136-8

Obsah

1	Úvod	9
2	Metodika	18
2.1	Monitorovací plochy	18
2.2	Hodnocení parametrů	22
2.3	Principy laboratorních metod	23
2.3.1	Stanovení fyzikálních vlastností neporušených půdních vzorků	23
2.3.2	Stanovení chemických parametrů v porušených půdních vzorcích	23
2.3.3	Stanovení mikrobiologických parametrů	25
3	Pedologické charakteristiky půd Bazálního monitoringu půd	36
3.1	Klasifikace půd – minulost a současnost	36
3.2	Zastoupení půdních typů v BMP v porovnání s ČR a jejich identifikace v terénu	40
3.3	Fyzikální charakteristika půd BMP	49
3.3.1	Odběry porušených a neporušených půdních vzorků	51
3.3.2	Zrnitost půdy	54
3.3.3	Objemová hmotnost redukovaná (OHR) a pórovitost	58
4	Půdní reakce a obsah živin	64
4.1	Výměnná půdní reakce (pH/CaCl ₂)	68
4.2	Fosfor (P)	71
4.3	Draslík (K)	74
4.4	Horčík (Mg)	77
4.5	Vápník (Ca)	80
5	Přístupné mikroelementy	83
5.1	Bór (B)	87
5.2	Měď (Cu)	89
5.3	Železo (Fe)	91
5.4	Mangan (Mn)	93
5.5	Molybden (Mo)	95
5.6	Zinek (Zn)	97
6	Rizikové prvky	100
6.1	Arzén (As)	103
6.2	Berylium (Be)	106
6.3	Kadmium (Cd)	109
6.4	Kobalt (Co)	112
6.5	Chrom (Cr)	115
6.6	Měď (Cu)	118
6.7	Molybden (Mo)	121
6.8	Nikl (Ni)	124
6.9	Olovo (Pb)	127
6.10	Vanad (V)	130
6.11	Zinek (Zn)	133
6.12	Rtuť (Hg)	136
7	Perzistentní organické polutanty (POPs) a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)	139
7.1	Hexachlorcyklohexan (HCH)	143
7.2	Hexachlorbenzen (HCB)	145
7.3	Látky skupiny DDT	147
7.4	Polychlorované bifenyly (PCB)	149
7.5	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)	151
8	Půdní mikrobiologie	153
8.1	Mikrobiální biomasa a půdní organická hmota (SOM)	160
8.2	C a N mineralizace (respirace a amonifikace)	165
8.3	Nitrifikace	168
9	Citované zdroje	171

Content

1	Introduction	13
2	Methodology	27
2.1	Monitoring plots	27
2.2	Assessment of the parameters	31
2.3	Principles of laboratory methods	32
2.3.1	Determination of physical properties of undisturbed soil samples	32
2.3.2	Determination of chemical parameters in disturbed soil samples	32
2.3.3	Determination of microbial parameters	34
3	Pedological characteristics of soils of the Basal Soil Monitoring System BSMS	37
3.1	Soil classification – past and present	37
3.2	Representation of soil types in BSMS compared to the CR and their identification in the field	40
3.3	Physical properties of BSMS soils	50
3.3.1	Disturbed and undisturbed soil sampling	51
3.3.2	Soil texture	54
3.3.3	Reduced bulk density (RBD) and porosity	58
4	Soil reaction and nutrient content	66
4.1	Exchangeable soil reaction (pH/CaCl ₂)	68
4.2	Phosphorus (P)	71
4.3	Potassium (K)	74
4.4	Magnesium (Mg)	77
4.5	Calcium (Ca)	80
5	Available microelements	85
5.1	Boron (B)	87
5.2	Copper (Cu)	89
5.3	Iron (Fe)	91
5.4	Manganese (Mn)	93
5.5	Molybdenum (Mo)	95
5.6	Zinc (Zn)	97
6	Potentially toxic elements	101
6.1	Arsenic (As)	103
6.2	Beryllium (Be)	106
6.3	Cadmium (Cd)	109
6.4	Cobalt (Co)	112
6.5	Chromium (Cr)	115
6.6	Copper (Cu)	118
6.7	Molybdenum (Mo)	121
6.8	Nickel (Ni)	124
6.9	Lead (Pb)	127
6.10	Vanadium (V)	130
6.11	Zinc (Zn)	133
6.12	Mercury (Hg)	136
7	Persistent Organic Pollutants (POPs) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)	141
7.1	Hexachlorocyclohexane (HCH)	143
7.2	Hexachlorobenzene (HCB)	145
7.3	DDT-group substances	147
7.4	Polychlorinated biphenyls (PCB)	149
7.5	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	151
8	Soil microbiology	156
8.1	Microbial biomass and soil organic matter (SOM)	161
8.2	C and N mineralization (respiration and ammonification)	165
8.3	Nitrification	168
9	References	171



V letošním roce uplynulo 25 let od vydání Metodiky monitorování zemědělských a lesních půd a půd chráněných území České republiky, od výběru a vytyčení pozorovacích ploch a zahájení základního odběru vzorků na zemědělských půdách. Bylo tak dovršeno velmi intenzivní období navazování mezinárodní spolupráce v oblasti monitorování půd a potřebné metodické přípravy. Za podpory Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí ČR a při účinné spolupráci s partnerskými organizacemi ve Spolkové zemi Bavorsko (především nyní Landesanstalt für Landwirtschaft Mnichov – Freising) se podařilo v krátké době vytvořit a zprovoznit funkční a flexibilní systém Bazálního monitoringu půd.

Půda je v zásadě neobnovitelný zdroj a velmi dynamický systém, který zajišťuje řadu fyzikálních a biologických funkcí a je pro lidské přežití a přežití ekosystémů nenahraditelný. Řada sledovaných indikátorů prokazuje, že se v posledních desetiletích značně zvýšila intenzita procesů degradace půdy, a jsou navíc vyslovovány obavy, že bez účinných opatření tento trend dále poroste. Především neustálá intenzifikace zemědělské výroby řízená snahou o minimalizaci nákladů a zvyšování zisků, globálním trhem se surovinami a produkty a navíc provázená extrémním průběhem počasí posledních let indikujícím možnost globálních klimatických změn tyto obavy posiluje. Půda je tak v celém civilizovaném světě pod rostoucím environmentálním tlakem, který je způsoben či zhoršován lidskou činností, nejen nevhodnou zemědělskou a lesnickou praxí, ale i průmyslovou činností, cestovním ruchem nebo urbánním rozvojem.

Ačkoli je půda většinou v soukromém vlastnictví, je ohniskem společného zájmu lidských generací a její nedostatečná ochrana budoucnost lidstva bezprostředně ohrožuje. Také tématická strategie pro ochranu půdy, přijatá EU, je orientována především směrem k zastavení a zvrácení trendu degradace půdy, jejíž jednotlivé aspekty jsou popsány (eroze, úbytek organické hmoty, kontaminace, zasolování, utužování, pokles biologické rozmanitosti půdy, zakrytí, sesuvy a záplavy). Je však škoda, že se nepodařilo kodifikovat společné zájmy členských států EU formou Rámcové směrnice pro ochranu půdy tak, jak je to obvyklé u ostatních základních složek životního prostředí (ovzduší, voda).

Účinnost budoucích nezbytných opatření je bezprostředně posilována existencí objektivních systémů sledování vývoje a prognózy trendů a zde hraje efektivní a dynamický systém půdního monitoringu zásadní roli.

Čtvrtstoletí provozování Bazálního monitoringu zemědělských půd jednoznačně prokázalo jeho oprávněnost. Reprezentativní výběr a přesná lokalizace odběrových míst monitoringu umožňuje sledování časových řad parametrů, ale i rychlý screening nových parametrů, rozvoj a rozšíření rozsahu monitorování i objektivní validaci nově používaných analytických metod. Významné je také to, že byl položen pevný legislativní, metodický a materiálový základ rozsahu a systému monitorování, byly navázány nezbytné národní i mezinárodní spolupráce a jsou průběžně publikovány výsledky provedených šetření, analýz a pozorování.

Konference věnovaná 25. výročí Bazálního monitoringu zemědělských půd navazuje na předcházející prezentace dosažených výsledků sledování i novým možností rozvoje a je určena domácí i zahraniční odborné veřejnosti.



Ing. Daniel Jurečka
ředitel ústavu



This year, 25 years have passed since the release of the Methodology for Monitoring Agricultural and Forest Soils and Soils of Protected Areas of the Czech Republic, since the selection and identification of monitoring areas and beginning of basic sampling in agricultural soils. Thus, a very intense period of establishing international cooperation in soil monitoring and necessary methodological training was accomplished. With the support of the Ministry of Agriculture and Ministry of Environment and in effective cooperation with partner organizations in Bavaria (especially the current Landesanstalt für Landwirtschaft Munich - Freising) a functional and flexible system of Basal Soil Monitoring was established and deployed within a short period of time.

Soil is an essentially non-renewable resource and a very dynamic system performing many physical and biological functions as well as irreplaceable resource that is fundamental to human well-being and ecosystem survival. A number of monitoring indicators show that in recent decades, there has been a significant increase in soil degradation, and concerns that without effective measures this trend will continue to grow are expressed. Above all, the continual intensification of agricultural production conducted in an effort to minimize costs and increase profits, the global market for raw materials and products, as well as the impact of extreme weather in recent years indicating the probability of global climate change reinforce our concern. Thus, the soils in the civilized world are coming under increasing environmental pressure which is caused or exacerbated by human activities comprising not only inappropriate agricultural and forestry practices but also industrial activities, tourism or urban development.

Although the land is mostly privately owned, it is the focus of common concern of human generations, and poor soil conservation is an immediate threat to the future of mankind. Moreover, the Thematic Strategy for Soil Protection, adopted by the EU, is oriented mainly towards halting and reversing soil degradation, whose various aspects are described (erosion, organic matter decline, contamination, salinization, compaction, soil biodiversity loss, sealing, landslides, and flooding). However, it is regrettable that common interest of the EU Member States failed to be codified in the form of the Soil Protection Framework Directive, as is customary with other basic components of the environment (air, water).

The efficiency of future necessary measures is immediately strengthened by the existence of objective monitoring systems of development and market

forecasts in which an effective and dynamic system of soil monitoring plays a vital role.

A quarter century of Basal Agricultural Soil Monitoring has proved its worth. A representative selection and exact location of monitoring plots allows for tracing of parameters in time series, as well as rapid screening for new parameters, development and extending the scope of monitoring and objective validation of new analytical methods. Of importance too is that the foundations for a sound legislative, methodical and material basis for the monitoring scope and scheme were laid down, essential national and international cooperation was established and results of investigations, analyses and monitoring are regularly disclosed.

A conference dedicated to the 25th anniversary of the Basal Agricultural Soil Monitoring builds on a previous presentation of results achieved in the monitoring and new possibilities of development and is intended for both domestic and foreign experts.



Ing. Daniel Jurečka
Director

1 Úvod

Jaroslav Staňa

Historie půdy a zájmu člověka o její zachování:

Abychom pochopili podmíněnost vzniku, existence a rozvoje suchozemského života v celé šíři jeho současných forem a existenci půdní vrstvy pokrývající povrch Země, je potřeba si připomenout geologickou historii naší planety.

Planeta Země vznikla před 4,6 mld. let. Z původně homogenního shluku hmoty – chladnoucí prvotní Země, se postupnou diferenciací stala „živá“ planeta naší geologické současnosti. Proces diferenciacie zemské struktury byl vyvolán druhotným ohříváním planety a spočíval v postupném rozvrstvení hmoty do koncentrických vrstev – sfér, které se vzájemně lišily svými fyzikálními i chemickými vlastnostmi.

Jako první se pravděpodobně diferencovala atmosféra. Po celkovém ochlazení země došlo ke kondenzaci vodních par v ovzduší a vznikl vodní obal – hydrosféra. Postupnou gravitační diferenciací vnitřní hmoty Země se tak vyvinula základní sférická zonálnost planety.

Od povrchu do nitra Země rozlišujeme zemskou kůru, plášť a jádro. Migrace železa a dalších kovových prvků, zejména niklu, směrem do nitra, podmínila vytvoření zemského jádra. Vnitřní jádro je pevné, vnější tekuté. Na vnější jádro navazuje zemský plášť. Je ve stavu taveniny – magmatu a převládajícími prvky jsou kyslík, hořčík, železo a křemík. Nejsvrchnější sférickou zónou Země je kůra – litosféra. Z uvedených sfér má litosféra nejnižší hustotu a největší podíl litofilních prvků převážně na bázi křemičitanů.

Postupným osídlováním svrchní části zemské kůry rostlinami a živočichy a rozkladem těchto organismů a za působení dalších tzv. půdotvorných činitelů vzniká půda – půdní vrstva – pedosféra, která se stává zpětně základním životním předpokladem a podmínkou života včetně života lidské civilizace. Pro člověka – zemědělce z jeho úzkého pohledu má největší význam půda úrodná, tedy půda se schopností poskytnout vhodné podmínky pro růst rostlin, umožňující člověku produkovat potraviny a další suroviny.

V současné době však dochází ke změně pohledu na půdu jako na neobnovitelný zdroj v souvislosti s udržitelným hospodařením. Udržitelnost v zemědělství znamená nejen zabezpečení kvalitní produkce pro lidskou populaci, ale zároveň zachování životního prostředí všech ostatních živých organismů a nepoškození souvisejících přírodních zdrojů – v první řadě samotné půdy (její ochrana před erozí, zhutňováním, znečišťováním, úbytkem organické hmoty), ale také vody (vznik pitné vody, zadržení vody v krajině) a složení atmosféry (produkce kyslíku, regulace množství skleníkových plynů).

Zemědělství podnikatelé dnes v ČR hospodaří na přibližně 4,22 mil. ha zemědělské půdy, která tak tvoří přibližně 46,4 % celkové rozlohy státu. Na jednoho obyvatele republiky připadá 0,40 ha zemědělské půdy, z toho 0,28 ha půdy orné, což je přibližně evropský průměr. Zatímco výměra zemědělské a orné

půdy v posledních deseti letech trvale klesá, výměra pozemků evidovaných v katastru nemovitostí jako lesní parcely mírně roste na současných 33,8 % celkové rozlohy státu. Polovina zemědělského půdního fondu se nachází v oblastech méně příznivých pro hospodaření (tzv. LFA oblasti) a to jsou právě oblasti, kde se podporuje zalesňování půdy nebo zakládání a udržování luk a pastvin.

Jakých kvalit dosahuje naše zemědělská půda, na čem vlastně hospodaříme?

Jakými změnami naše půda prochází?

Mění se některé její parametry a klesá její úrodnost?

Tyto a řada dalších otázek zaznívají stále naléhavěji v situaci rychlého růstu lidské populace na Zemi, trvalého úbytku ploch vhodných k zemědělské produkci potravin a možných rizik globální klimatické změny. Naléhavost pokládaných otázek je dále umocňována širokou medializací vznikajících rizik, založené mnohdy na nesprávné interpretaci nepodložených nebo nereprezentativních výsledků, na snaze okamžitě zaujmout a publikovat jednoduchá a snadno pochopitelná řešení. A právě monitoring zemědělských půd nabízí systém poskytující spolehlivé a ověřené podklady a umožňuje tak předcházet možným desinterpretacím.

Co je to monitoring půd?

Podle zavedené definice je monitoring spojitě nebo pravidelně opakované sledování vybraných parametrů, funkcí či změn určitého systému v čase a prostoru. Monitoring zemědělských půd je tedy sledování stavu a dynamiky půdních vlastností a vlivů působících na půdu, zejména ve vztahu k produkčním a ekologickým funkcím půdy, prováděné na stálých, definovaných a reprezentativních bodech/plochách přesně definovaným a stabilním souborem měřících postupů.

K zajištění takového dlouhodobého sledování vybraných parametrů slouží programy monitoringu. Průběžně vyhodnocované výsledky těchto programů umožňují včas odhalit změny parametrů, identifikovat negativní vlivy snižující/ohrožující kvalitu půdy či jiného monitorovaného prostředí a doporučit postupy a prostředky, jak snížit rizika, popř. zachovat nebo i zlepšit současný stav.

Historie sledování složení a stavu půdy a monitoring půdy v evropském kontextu:

Vědomé sledování fyzikálních a chemických vlastností zemědělských půd má dlouhou tradici sahající až k starověkým a antickým kulturám, kvalitativní sledování sahá k základům zemědělského zkušebnictví v počátku 19. století.

Liebigovy práce odhalující souvislosti mezi složením půdy a množstvím živin dodaných hnojením a výnosem polních plodin byly dobrým důvodem, proč se zabývat půdními rozbory poskytujícími doplňkovou informaci k polním výživářským pokusům. Rozbory zemědělských půd a hledání souvislostí s dávkou hnojení se tak staly nezbytnou náplní zkušebních a výzkumných ústavů zemědělských, které v druhé polovině 19. století vznikaly v celém prostoru střední Evropy. Systém, pravidelnost a dokonce povinnost analyzovat půdy byl zaveden ve válečných letech, kdy opatření pro zásobování obyvatel a armád potravinami zemědělské produkce dostala vysokou prioritu.

Sledování základních rostlinných živin bylo postupně doplňováno zkoumáním dalších parametrů půd, výzkumem vzniku a vývoje půd a jejich kategorizací.

V podmínkách Československa byl významným počinem navazujícím na předcházející pedologické a agrochemické tradice Komplexní průzkum půd prováděný na základě vládního nařízení v letech 1961 až 1970. V průběhu deseti let bylo vykopáno a popsáno na ploše celého půdního fondu ČSR na 700 000 půdních sond a provedeno na 2 miliony laboratorních analýz. Výsledky průzkumu byly vyhodnoceny na základě genetickoagronomické klasifikace půd a zpracovány na podnikových mapách v měřítku 1:5 000, okresní souhrny pak v měřítku mapy 1:50 000. Na základě Komplexního průzkumu půd byla vypracována bonitace půd a zaveden světově jedinečný systém bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) používaný dosud při oceňování pozemků.

Tak jak narůstala industrializace rozvinutých zemí Evropy a Spojených států v poválečných letech, byla stále intenzivněji pocítována potřeba ochrany zemědělského půdního fondu jako nezastupitelné a neobnovitelné podmínky existence života na Zemi – zájem se z oblasti užité hodnoty půdy přesouval k nezbytnosti její efektivní ochrany. Významným dobovým dokumentem v tomto směru je Evropská charta o půdě z roku 1972 následovaná Světovou chartou o půdě přijatou 21. konferencí FAO v roce 1981.

Tento zásadní posun v orientaci zájmu o půdu otevřel logicky otázku rizikových složek půdy (jak složek anorganických tak i organických) a potřebu sledovat vývoj půdních vlastností v čase. A právě sledování časových závislostí složení půdy na pevně definovaných plochách je základní podstatou půdního monitoringu.

Pro historii monitoringu na našem území je nezbytné zmínit aktivity pracovních společenství střeoevropských zemí a regionů (ARGE Alpen-Adria a ARGE Donau), které v oblasti zaměřené na ochranu životního prostředí postupně položily základy metodologie monitoringu půd používaného Bavorským zemědělským zemským ústavem (BLA), ze které vychází také metodika Bazálního monitoringu půd ČR.

Počátkem devadesátých let byly navázány odborné kontakty s BLA ve Freisingu, který poskytl vlastní používanou metodologii založení a vedení Bazálního monitoringu půd a ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí započala společná příprava Metodiky monitorování zemědělských a lesních půd a půd chráněných území ČR. Poslední detaily byly dořešeny v rámci odborné stáže na BLA v prvním pololetí 1992 tak, že na podzim téhož roku mohla být metodika monitorování publikována. Doplněná a aktualizovaná verze byla publikována v roce 1995.

V předstihu byly vyřešeny následující problémy:

Kompetence k provádění monitoringu – na základě kompetenčního zákona i na základě zákona č. 334/1992, o ochraně zemědělského půdního fondu, je příslušným ústředním úřadem Ministerstvo životního prostředí, proto byly všechny přípravy prováděny v jeho gesci. Odpovědnost za monitoring zemědělského půdního fondu převzal od počátku Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ), monitoring lesních půd prováděl v souladu s celoevropskou monitorovací sítí Ústav výzkumu lesních ekosystémů s.r.o. Praha, později převzal tuto kompetenci Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti Praha. Monitoring půd chráněných oblastí prováděl Český ústav ochrany přírody transformovaný do Agentury ochrany přírody a krajiny.

Výběr a počet monitorovacích ploch – v souladu s doporučením ARGE Alpen-Adria byl zvolen přístup výběru plošně nerovnoměrné sítě s úměrným zastoupením hlavních půdních typů a druhů a jednotlivých pěstovaných zemědělských kultur. K výběru optimálního zastoupení hlavních genetických půdních typů bylo vycházeno z popisu speciálních půdoznaleckých sond Komplexního průzkumu půd.

Dále byl stanoven:

- tvar, velikost a způsob vytyčení pozorovacích ploch v terénu,
- výběr monitorovaných parametrů a jejich periodičita,
- způsob skladování odebíraných vzorků,
- způsob zpracování výsledků a jejich prezentace.

Bazální monitoring půd byl od počátku chápán jako rozvíjející se systém, doplňovaný podle aktuálních potřeb, proto byl v průběhu času doplněn o subsystém kontaminovaných ploch a dále byly přidávány nové sledované parametry hlavně z oblasti organických polutantů a nová půdně biologická šetření.

Na zavedení systémů půdního monitoringu byly od počátku kladeny následující požadavky:

- *Optimální počet zvolených pozorovacích míst a reprezentativnost jejich rozmístění.* Výsledky statistického zpracování každého parametru stanoveného na monitorovacích plochách musí reprezentovat situaci na celém území státu. Jako příklad lze uvést šetření obsahu radioaktivního cesia po černobylské události: bavorský zemský ústav porovnáním aktivity Cs-137 odebraných vzorků se vzorky archivovanými stanovil ve velmi krátkém čase po havárii intenzitu zátěže jednotlivých oblastí Bavorska. V podmínkách ČR bylo například prokázáno, že výsledky stanovení základních živin na pozorovacích plochách monitoringu mají obdobné statistické rozložení jako výsledky živin v agrochemickém zkoušení půd, což je soubor s podstatně vyšším počtem stanovení. Příliš vysoký počet monitorovacích ploch je pak vzhledem k nákladnosti šetření neekonomický.
- *Identifikace monitorovacích ploch.* Původní topografický plánec polohy monitorovacích ploch byl rozvojem příslušné techniky nahrazen souřadnicemi ploch v systému GPS.
- *Soustavná archivace shromažďovaných údajů o hospodaření na pozorovací ploše a archivace odebraných vzorků* je základem pro vývoj nových metod, jejich ověřování a validaci a pro vyhodnocování globálních vlivů na šíři a změny zaměření zemědělské produkce a na úrodnost půdy.
- *Bazální monitoring půd musí umožňovat sledování změn jednotlivých parametrů v čase v závislosti na změnách zastoupení zemědělských kultur, na klimatických změnách i na vývoji industrializace zemědělské krajiny.*
- *Flexibilní možnost nahrazování zrušených ploch a doplňování nových parametrů.* Ke 190 pozorovacím bodům základního monitoringu bylo doplněno od roku 1995 27 míst na kontaminovaných plochách. Sledování atmosférické depozice, které bylo od počátku prováděno podle metodiky BLA Freising, bylo postupně rozšířeno až na 160 monitorovacích ploch společné sítě institucí rezortu zemědělství. Od října 2005 byl tento monitoring pozastaven.

Zpracované výsledky prvních 25 let provozování Bazálního monitoringu půd ČR prokazují oprávněnost systému a otevírají další možnosti jeho rozvoje.

1 Introduction

Jaroslav Staňa

The history of the land and the human interest of its preservation:

To understand the conditionality of the existence and development of terrestrial life across the whole range of its current forms and the existence of the soil layer covering the Earth's surface, it is necessary to remember the geological history of our planet.

The Earth was formed 4.6 billion years ago. Through a process of differentiation, the initially homogenous clumps of matter of the early cooling earth formed the "living" planet of our geological present. The process of differentiation of the Earth's structure resulted from secondary heating of the planet and consisted of the gradual formation of concentric layers which differ in physical and chemical properties.

The atmosphere probably differentiated first. After global cooling of the Earth, condensation of the water vapour in the atmosphere occurred and the hydrosphere – water covering – emerged. The basic spherical zonation of the planet was developing by gradual gravitational differentiation of the inner matter of the Earth.

Distinguished from the Earth's surface to its centre, the Earth can be divided into the crust, the mantle and the core. The formation of Earth's core was determined via migration of iron and other metals, especially nickel, towards the centre. The outer core is composed of an alloy, the inner core is solid. The mantle is a layer between the crust and the outer core. The mantle is composed of molten rock – magma with most abundant elements as oxygen, magnesium, iron and silicon. The Earth's outermost layer is the crust – lithosphere. From all of the above mentioned spheres, the crust is the least dense layer and biggest proportion of lithophile elements on a silicate support.

Due to gradual colonization of the Earth's outermost layer by plants and animals and their decomposition and as a result of other soil-forming factors – the soil – soil layer - pedosphere was formed, which becomes a precondition for life including the life of human civilization. In the strict sense, of greatest value for a man – a farmer - is the fertile soil, i.e. the soil able to provide optimum conditions for plant growth enabling people to produce food and other raw materials.

The approach to the soil has changed and soil is currently considered a non-renewable resource in connection to sustainable management. Sustainable agriculture means ensuring the production of high quality for humans; but, at the same time environmental conservation of all other living organisms, preventing exploitation of relevant natural resources, in the first place including the soil (protection against erosion, compaction, pollution, decrease of organic mass) but also water (fresh water origin, water retention landscapes) and atmospheric composition (oxygen production, regulation of greenhouse gases).

Agricultural entrepreneurs currently now farm around 4.22 million hectares of agricultural land in the Czech Republic, around 46.4% of the total area of the country. There is 0.40 hectares of agricultural land per one member of the population of the country; 0.28 hectares of this being arable land (roughly

the European average). Whereas the area of arable land has continued to decline in recent decades, the area of land registered in the real estate cadastre as forest plots has risen by 33.8%. Half of the agricultural land fund is located in areas which are less favourable for farming (so-called LFA areas), being the very areas in which the afforestation or creation and maintenance of meadows and pastures is supported.

What is the quality of our agricultural land, what land do we actually manage?

What changes does the land undergo?

Do some soil parameters vary and is there any soil fertility decline?

These and many other issues have become increasingly urgent as there is rapid increase in human population, permanent loss of land suitable for agricultural production of food and potential risks of global climate change. The urgency of the questions being raised today is further intensified by wide media coverage of emerging risks, often based on a misinterpretation of unsubstantiated or unrepresentative results, and on efforts to immediately adopt and publish simple and easily understandable solutions. Agricultural land monitoring offers a system providing reliable and verified documents and thus makes it possible to prevent possible misinterpretations.

What is soil monitoring?

According to the established definition, monitoring is the continuous or regularly repeated observation of selected parameters, functions or changes of a particular system in time and space. Monitoring of agricultural land refers to monitoring of characteristics and dynamics of soil properties and soil-influencing factors, mainly in relation to productivity and ecological functions of soil carried out at stable, well-defined and representative points (plots) using a set of well-defined and stable measurement procedures.

Monitoring programmes serve to ensure such long-term monitoring of selected parameters. Ongoing assessment of these programmes allows early detection of changes in parameters, determination of negative impacts reducing / threatening the quality of soil or other monitored environment and recommendation on procedures and means to reduce the risk or to maintain or even improve the current situation.

The history of soil composition and condition monitoring and soil monitoring in the European context:

Intentional monitoring of physical and chemical properties of agricultural land has a long tradition dating back to ancient cultures; quality monitoring goes back to the basics of agricultural testing in the early 19th century.

Liebig's work revealing the connection between soil composition and the amounts of nutrients in manure compared to crop yield was a good opportunity to deal with soil analysis providing additional information on field feeding experiments. Analyses of agricultural land and searching for connections with the amount of fertilizer became the essential role of agricultural research institutes which in the second half of the 19th century would be established throughout the whole area of

Central Europe. System, regularity, and even the obligation to analyse the soil were introduced during the war years, when measures for supplying the population and armies with agriculturally produced foods were given high priority.

Monitoring of basic plant nutrients was gradually supplemented by examination of other soil parameters, research into the soil origin, development and classification.

In former Czechoslovakia, Komplexní průzkum půd (a Comprehensive Soil Survey), conducted by means of governmental regulation from 1961 to 1970, was an important achievement building on previous pedological and agrochemical traditions. During ten years, over 700 000 soil pits were dug and described and 2 million laboratory analyses were carried out in whole Czechoslovakia. The survey results were assessed on the basis of genetic-agronomic soil classification and introduced into corporate maps at a scale of 1:5,000; the district summaries were introduced into maps at a scale of 1:50,000. On the basis of Komplexní průzkum půd (a Comprehensive Soil Survey), land evaluation was introduced together with a worldwide unique “Bonitované půdně ekologické jednotky” (BPEJ) Estimated Pedologic-Ecological Unit used in land valuation so far.

With the increasing industrialisation in developed countries in Europe and the United States in the postwar years, it was felt necessary to protect agricultural land resources as being irreplaceable and non-renewable condition for life on Earth – the focus on land value has moved to the necessity for its efficient protection. In this respect, an important historical document is the European Soil Charter (1972) followed by the World Soil Charter adopted by the 21st session of the FAO Conference in 1981.

This paradigm shift in the focus on land has logically raised the issue of hazardous constituents of soil (both inorganic and organic) and the need to monitor the development of soil properties over time. Monitoring of time dependency of the soil composition on well-defined plots forms the components of soil monitoring.

Regarding the history of monitoring in our territory, it is necessary to mention activities of the working communities of Central European Countries and Regions (ARGE Alpen-Adria and ARGE Donau) which in the area aimed at protecting the environment gradually laid the foundations for methods for soil monitoring used by the Bavarian Provincial Agricultural Institute (BLA) on which Basal Soil Monitoring System in the CR is also based.

In the early 1990s, professional contacts with the BLA in Freising were established; BLA provided its own methodology for establishment and maintenance of Basal Soil Monitoring System and in cooperation with the Ministry of the Environment the development of methodology for monitoring agricultural and forest soils and soils of protected areas of the Czech Republic was initiated. The last details were resolved within a professional internship at the BLA in the first half of 1992, so that in the autumn of the same year the methodology for monitoring could be issued. Amended and updated version was issued in 1995.

The following problems were solved in advance:

Competence in monitoring – in compliance with the Act of Competencies as well as in compliance with the Act No. 334/1992 Coll., on the protection of the agricultural land fund, the Ministry of the Environment is the competent central authority;

thus all preparations were directed through its office. Responsibility for monitoring of agricultural land fund was taken by the Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture (UKZUZ) from the outset, the monitoring of forest soils was performed in compliance with Europe-wide soil monitoring network by the Institute of Forest Ecosystem Research in Prague, this competence was later overtaken by the Forestry and Game Management Research Institute in Prague. Monitoring of soils of protected areas was conducted by the Czech Institute of Nature Protection later changed to the Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic.

Selection and number of monitoring plots – in accordance with the recommendation by ARGE Alpen-Adria, an approach to the selection of an unequal network with proportion of main soil types and sorts and individual agricultural crops was chosen. Selection of optimal proportion of main genetic soil types was determined by a special pedological description within “Komplexní průzkum půd” (Comprehensive Soil Survey).

Furthermore, the following were laid down:

- shape, size and demarcation of monitoring plots
- selection of monitoring parameters and their periodicity
- the manner of storage of collected samples
- the manner of analysing and reporting results

Basal Soil Monitoring System has initially been understood as a developing system, extended depending on current needs; thus, in course of time, it was extended with a subsystem of contaminated areas and new monitoring parameters mainly from the area of organic pollutants and new soil-biological testing.

The following demands were made in respect of the implemented system of soil monitoring:

- *Optimal number of selected monitoring plots and representativeness of their distribution.* Results of statistical analysis of each parameter adjusted to monitoring plots must represent the situation throughout the national territory. Investigation on content radioactive caesium after the Chernobyl accident can be mentioned as an example: by comparing the activity concentrations of Cs-137 in collected samples to archived samples, the Bavarian State Institute was able to determine the exposure rate at different locations of Bavaria in a very short time after the disaster. In the Czech Republic, for example, it was shown that the results from determination of essential nutrients in monitoring plots have similar statistical distribution as results of agrochemical soil testing on nutrients, which is a set with a substantially higher number of determinations. Excessively large number of monitoring plots is due to the cost of investigation uneconomical.
- *Identification of monitoring plots.* In relation to development of appropriate equipment, the early topographic map showing distribution of monitoring plots was replaced by GPS coordinates.
- *Systematic archiving of collected data on management in monitoring plots and archiving of collected samples* is essential for the development of

new methods, their verification and validation, for evaluation of global impacts on the scope and refocusing of agricultural production and soil fertility.

- *Basal Soil Monitoring System must enable to monitor changes in individual parameters over time in response to changes in the proportion of crops, climate changes and the development of agricultural industrialization.*
- *Flexible possibility of replacing cancelled plots and adding new parameters.* Since 1995, 27 plots in contaminated areas have been added to 190 monitoring points of basic monitoring. Monitoring of atmospheric deposition, which was from the outset conducted according to the BLA Freising methodology, was gradually extended up to 160 monitoring plots of a corporate network of institutions of the Ministry of Agriculture. Since October 2005, this monitoring has been suspended.

Presented results from the first 25 years of the Basal Soil Monitoring System in the CR prove the legitimacy of the system and open up further possibilities for its development.

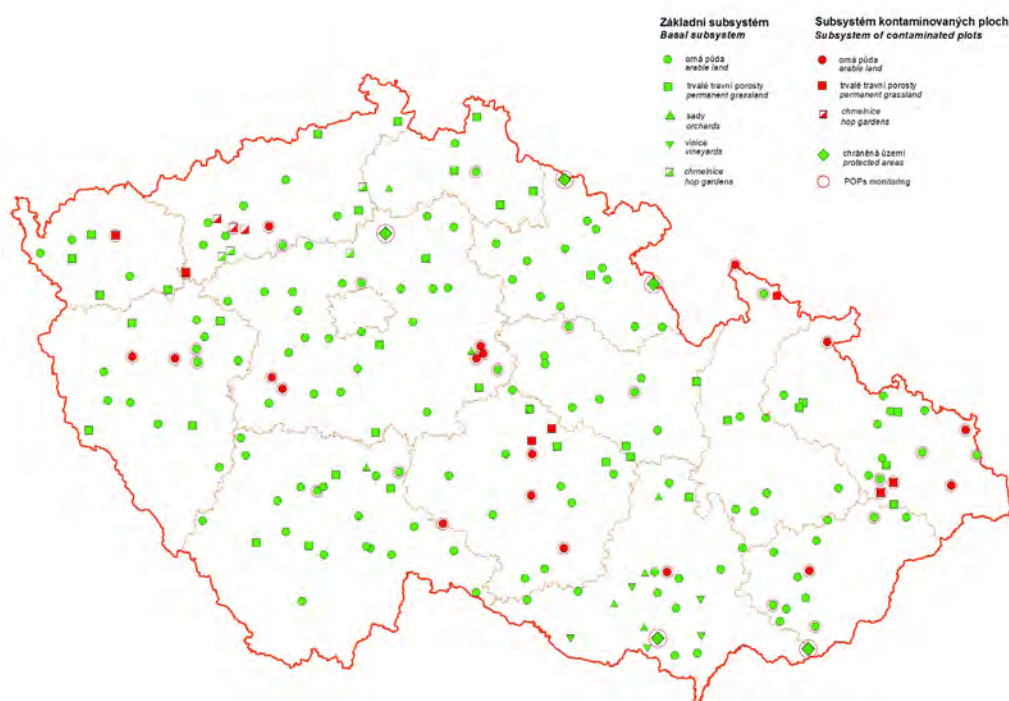
2 Metodika

Šárka Poláková

2.1 Monitorovací plochy

Síť monitorovacích ploch Bazálního monitoringu zemědělských půd (BMP) vznikla v roce 1992, kdy také proběhly první odběry půdních vzorků v základní síti 190 pozorovacích ploch. V roce 1995 byly odběry zopakovány za použití optimalizované metody vzorkování. V roce 1997 byl založen subsystém kontaminovaných ploch. Na lokalitách charakteristických anorganickým znečištěním jak antropogenního tak geogenního původu vzniklo 27 pozorovacích ploch. Obrázek 1 ukazuje současné rozmístění lokalit BMP.

Obrázek 1. Lokalizace pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd.

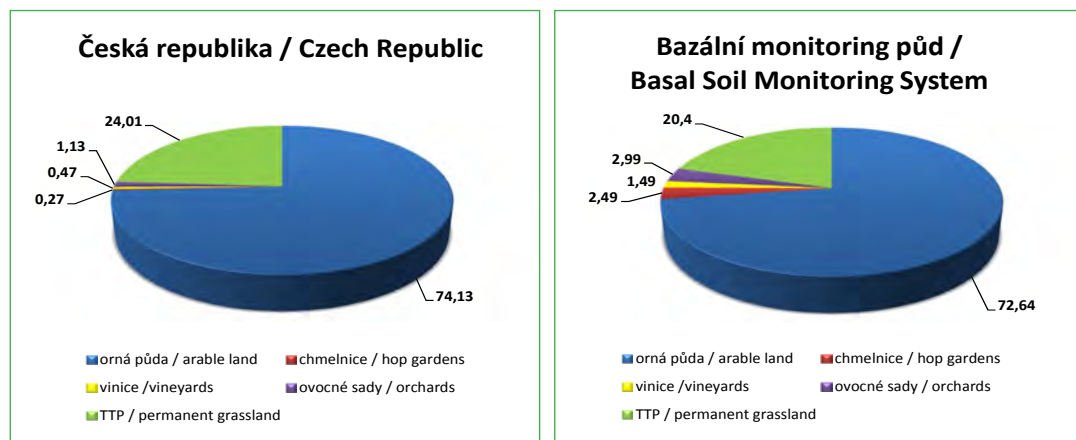


Hlavní zásady výběru pozorovacích ploch v základním subsystému monitoringu:

- dodržení vzájemného poměru mezi půdními typy tak, aby odpovídal plošnému výskytu půdních typů v České republice,
- zastoupení kultur podle výskytu v České republice (Obrázek 2),
- rovnoměrné rozložení pozorovacích míst na ploše okresu (regionu),
- vystižení rozdílných výrobních podmínek regionu.

Nejvýznamnější podmínkou pro založení plochy v subsystému kontaminovaných ploch byly nadlimitní obsahy rizikových prvků v půdě (ve smyslu tehdy platné vyhlášky MŽP č. 13/1994 Sb.).

Obrázek 2. Procentuální zastoupení kultur zemědělské půdy v České republice a Bazálnímu monitoringu půd v roce 1992.



Pozorovací plochy jsou definovány jako obdélníky o délce stran 25 x 40 m; o celkové rozloze 1000 m². Každá plocha je charakterizovaná zeměpisnými souřadnicemi, morfologií terénu, klimatickými a půdními poměry. V těsné blízkosti každé plochy byla vykopána a popsána pedologická sonda.

Ne všechny pozorovací plochy se nachází v majetku ÚKZÚZ. Většina ploch leží na pozemcích náležejících právním subjektům, které zde hospodaří způsoby, jež jsou pro naše zemědělství obvyklé. Z tohoto důvodu se v průběhu uplynulých více než 20 let změnil u některých pozorovacích ploch způsob využívání, popř. musely být některé plochy zrušeny, to znamená, že v jednotlivých vzorkovacích cyklech se mohl počet ploch BMP lišit (tabulka 1).

Tabulka 1. Zastoupení jednotlivých kultur v Bazálnímu monitoringu půd v jednotlivých letech základního vzorkování

Kultura / Cultures	Počty ploch v jednotlivých letech / Number of plots in periods			
	1995	2001	2007	2013
Orná půda / Arable land	163	161	155	154
Trvalé travní porosty / Permanent grassland	31	35	43	44
Sady / Orchards	7	6	6	6
Vinice / Vineyards	4	5	5	5
Chmelnice / Hop gardens	7	7	5	5
Celkem / Total	212	214	214	214

Obrázek 3. Pedologické sondy na orné půdě na pozorovací ploše 7005B Jaroměřice nad Rokytnou (hnědozem modální slabě oglejená) a na TTP 4901KO Jenišov (pseudoglej modální)



V rámci celého souboru pozorovacích ploch monitoringu existují tři odběrová schémata:

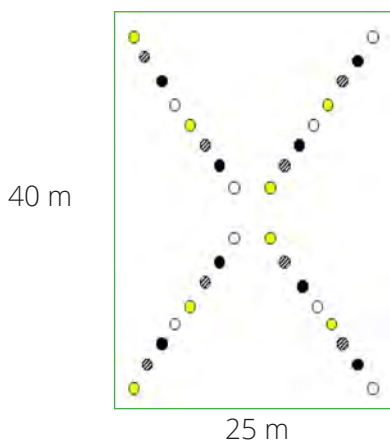
- **Jednorázové odběry** jsou prováděny při výkopu pedologické sondy. Odebírají se neporušené půdní vzorky, tzv. fyzikální válečky ke stanovení vybraných fyzikálních vlastností půd, a porušené půdní vzorky, ke stanovení chemických a fyzikálně-chemických vlastností půd. *Tato stanovení jsou provedena na všech pozorovacích plochách sítě monitoringu.*
- **Základní odběry** jsou prováděny v šestileté periodě. Zjišťovány jsou především (agro)chemické vlastnosti půd. *Odběry v základní periodě probíhají na všech pozorovacích plochách monitoringu.*
- **Každoroční odběry** jsou zaměřeny na sledování stavu a vývoje znečištění půd organickými polutanty, a na možnou kontaminaci potravinového řetězce prostřednictvím zemědělských plodin (odběry rostlin). *Tyto odběry probíhají na vybraném souboru pozorovacích ploch.*

Tabulka 2. Parametry stanovené ve vzorcích půd a rostlin odebraných v jednotlivých odběrových schématech

Jednorázové odběry a identifikace pozorovací plochy	Základní vzorkování v šestileté periodě	Každoroční odběry
- Fyzikální parametry – momentní vlhkost, objem. hmotnost red., pórovitost, max. kapilární vodní kapacita, minimální vzdušná kapacita - Zrnitost C_{ox}, N_{tot} - Sorpční kapacita půdy – potenciální, aktuální - Prvková analýza (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn) – lučavka královská Hg_{tot} - Popis půdní sondy - Záznam identifikačních údajů o pozorovací ploše	- Aktivní a výměnné pH - Přístupné živiny – P, K, Mg, Ca (Mehlich III) - Přístupné mikroelementy – B, Mo, Mn, Zn, Cu C_{ox}, N_{tot} - Sorpční kapacita půdy – aktuální - Prvková analýza (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn) – lučavka královská, 2M HNO_3 Hg_{tot}	- Minerální dusík – N_{min} - Mikrobiální a biochemické parametry - Organické polutanty – HCH, HCB, látky skupiny DDT, PCB, PAH - Obsah rizikových prvků v zemědělských plodinách - Evidence dávek hnojení a přípravků na ochranu rostlin

Odběry vzorků při základních odběrech jsou prováděny po úhlopříčkách; odebírají se vždy čtyři směsné vzorky z ornice a podorničí (obrázek 4). Při každoročních odběrech se vzorkování provádí metodou „po lomené čáře“ (obrázek 5).

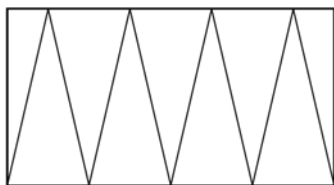
Obrázek 4. Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd v základní šestileté periodě odběrů



umístění individuálních odběrů k získání 4 směsných vzorků

č. 1 ● (žlutý) č. 2 ● (šedý s šikmými čarami) č. 3 ● (černý) č. 4 ○ (bílý)

Obrázek 5. Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd při každoročních odběrech („po lomené čáře“)



Vzorky orné půdy se odebírají z ornice (dle mocnosti horizontu, maximálně do 25 cm) a podorničí (35–60 cm), v sadech a vinicích taktéž ze dvou horizontů (0–30 cm, 30–60 cm), na chmelnicích z ornice (10–40 cm) a podorničí (40–70 cm); u trvalých travních porostů ze tří horizontů (0–10 cm, 10–25 cm, 25–40 cm; vždy po odstranění svrchní drnové vrstvy).

2.2 Hodnocení parametrů

Parametry hodnocené v rámci jednotlivých odběrových cyklů byly hodnoceny v celém rozsahu BMP, tzn. u všech 214 monitorovacích ploch.

Pro hodnocení změn a případných trendů byly ze souboru pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd vybrány ty plochy, které jsou v databázi monitoringu od začátku sledování (tzn., že nebyly v průběhu monitoringu z jakýchkoli důvodů zrušeny, posunuty, či založeny jako nové plochy), jsou kontinuálně obhospodařovány jedním způsobem (nedošlo na nich ke změně kultury) a nezměnilo se jejich umístění v terénu (způsobené např. rozdělením pozemku více nájemcům, rozdílným hospodařením na pozorovací ploše, zástavbou, půdně-klimatickými změnami, jež opět vedly k rozdílnému využívání plochy). Celkem se jedná o 177 ploch (tabulka 3).

Tabulka 3. Struktura souboru BMP pro hodnocení změn a případných trendů v období 1995–2013

Kultura / Cultures	Základní subsystém / Basal subsystem	Kontaminovaný subsystém / Subsystem of contaminated plots	BMP celkem / BSMS total
Orná půda / Arable land	127	15	142
Trvalé travní porosty / Permanent grassland	18	3	21
Sady / Orchards	5	0	5
Vinice / Vineyards	4	0	4
Chmelnice / Hop gardens	3	2	5
Celkem / Total	157	20	177

2.3 Principy laboratorních metod

Všechny analýzy jsou prováděny v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ s využitím metod akreditovaných podle ISO 17025.

2.3.1 Stanovení fyzikálních vlastností neporušených půdních vzorků

Vážením čerstvého, vodou nasyceného, odsátého a vysušeného vzorku a stanovením jeho zdánlivé hustoty se získají základní údaje pro výpočet těchto ukazatelů:

- maximální kapilární vodní kapacita,
- objemová hmotnost redukováná,
- pórovitost,
- minimální vzdušná kapacita.

2.3.2 Stanovení chemických parametrů v porušených půdních vzorcích

Vzorky určené ke stanovení chemických parametrů byly vysušeny na vzduchu a prosátý 2mm sítem.

Stanovení rtuti na přístroji AMA-254

Rtuť byla měřena v upravených vzorcích půd na principu atomové absorpční spektrofotometrie na analyzátoru rtuti AMA-254.

Extrakce půd lučavkou královskou (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

Upravené vzorky půd byly extrahovány směsí koncentrované kyseliny chlorovodíkové a koncentrované kyseliny dusičné (3:1) za zvýšené teploty. Postup vychází z normy ISO 11466. Sledované parametry byly stanoveny optickými analytickými metodami, tj. ICP-OES a FAAS.

Extrakce půd zředěnou kyselinou dusičnou (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

Upravený půdní vzorek byl extrahován kyselinou dusičnou o koncentraci 2 mol.l⁻¹ za laboratorní teploty v klidu po dobu 16 hod. a po 1 hod. třepání. Sledované parametry byly měřeny optickými analytickými metodami ICP-OES a FAAS.

Stanovení přístupných živin (P, K, Mg, Ca) podle Mehlicha 3

Půda se extrahovala kyselým roztokem, který obsahoval fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti různých forem fosforu vázaných na hliník. V roztoku je přítomen i dusičnan amonný, který příznivě ovlivňuje desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Kyselá reakce vyluhovacího roztoku je nastavena kyselinou octovou a kyselinou dusičnou. Přítomnost EDTA zajišťuje dobrou uvolnitelnost nutričně významných mikroelementů.

Pro měření se využívá plamenová atomová absorpce a atomová emise. Draslík je stanovován emisně přímo v M3 extraktech. Obsah vápníku a hořčíku se po naředění extraktu přidavkem lanthanu stanoví metodou atomové absorpční spektrofotometrie v plameni acetylen-vzduch.

Fosfor se v půdním extraktu stanoví buď metodou ICP-OES, nebo na UV-VIS spektrofotometru.

Stanovení obsahu Cu, Fe, Mn a Zn v extrakčním roztoku DTPA-TEA podle Lindsaye a Norvella

Půda se extrahovala roztokem, který obsahoval 0,1 mol.l⁻¹ triethanolaminu, 0,01 mol.l⁻¹ chloridu vápenatého a 0,005 mol.l⁻¹ DTPA. Extrakce probíhá při pH 7,3 teplotě 20 °C a při poměru (půda : extrakční roztok = 1 : 2) (m/V) za přesně definovaných podmínek extrakce. Mírně alkalická reakce extrakčního činidla a přítomnost iontů vápníku omezuje rozpouštění karbonátů a tím se sníží i extrakce okludovaných mikroelementů, které jsou pro rostliny nepřístupné.

Vlastní stanovení obsahů Cu, Fe, Mn a Zn v půdním extraktu se provádí metodou FAAS.

Stanovení obsahu B extrakcí půdy vodou za varu podle Bergera a Truoga

Vzorek půdy se extrahoval definovaným způsobem vodou za varu.

Extrakt se použije pro vlastní stanovení obsahu B, které se provádí spektrofotometricky azomethinem-H.

Stanovení obsahu Mo extrakčním roztokem AO-OA (1995)

Vzorek půdy byl extrahován extrakčním roztokem 0,1M kyseliny oxalové a 0,2M oxalátu amonného při pH 3,3.

V získaném extraktu je vlastní stanovení Mo provedeno metodou AAS-ETA.

Stanovení polychlorovaných bifenyľů (PCB) a organochlorových pesticidů (OCP) ve vzorcích půdy

PCB a OCP se z upraveného vzorku extrahují do směsi rozpouštědel hexan-aceton (v poměru 3:1). Extrakt s přídavkem vhodných vnitřních standardů se přečistí na sloupci modifikovaného silikagelového sorbentu, sirné sloučeniny se odstraní reakcí s elementární mědí a zkoncentrovaný extrakt se analyzuje metodou GC-MS ve vhodném režimu měření (SIM, MRM). Tímto postupem lze dosáhnout meze stanovitelnosti 0,1–1 µg.kg⁻¹ sušiny vzorku pro indikátorové kongenery PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153 a 180) i pro vybrané organochlorové pesticidy (DDT/D/E, HCH a HCB).

Po celou dobu trvání monitoringu zůstal zachován princip metody, jednotlivé části postupu byly optimalizovány spolu s novým přístrojovým vybavením laboratoře. V prvních letech BMP (do roku 2000) tyto analýzy prováděla pověřená externí laboratoř, od roku 2000 jsou analýzy PCB a později i OCP prováděny výhradně v brněnské laboratoři ÚKZÚZ. V roce 2004 byla tato zkouška akreditována a zajištěna kompatibilita výsledků. Detekční limity byly výrazně sníženy, nastavená mez pro zápis výsledků je 0,5 µg.kg⁻¹ pro PCB a 1 µg.kg⁻¹ pro OCP.

Stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) ve vzorcích půdy

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) se stanoví po extrakci acetonem a přečištění na pevné fázi (SPE) metodou HPLC na reverzní fázi s gradientovou elucí a s fluorometrickou detekcí (kromě acenaphytlenu – UV detekce).

Vzorky zemin (10g) jsou extrahovány acetonem, extrakt se přečistí přes SPE kolonku C8. Nepolární látky – PAH se zachytí na sorbentu C8, odkud jsou eluovány tetrahydrofuranem. Analyzovány jsou vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií (HPLC) s fluorescenční detekcí a gradientovou elucí. Měření a vyhodnocení se provádí pomocí chromatografického integračního software CSW, od roku 2005 chromatografickým systémem - Agilent ChemStation. Od listopadu 2015 se PAHs analyzují na novém HPLC Ultimate 3000, Thermo Fisher Scientific, vyhodnocení se provádí pomocí softwaru Chromeleon.

2.3.3 Stanovení mikrobiologických parametrů

Stanovení C mikrobiální biomasy fumigační extrakční metodou (MBC)

Během fumigace (působení par chloroformu) na půdní vzorek jsou intaktní mikrobiální buňky lyzovány a mikrobiální organická hmota uvolněna do půdy. Neživá organická hmota není fumigací významně ovlivněna. Půdní vzorky jsou fumigovány chloroformem 24 hodin. Organický uhlík extrahovaný 0,5 M síranem draselným je stanoven ve fumigovaných a nefumigovaných vzorcích a z rozdílu je vypočten obsah mikrobiálního uhlíku (MBC).

Bazální respirace

Půdní vzorek se inkubuje v uzavřené lahvi nad roztokem hydroxidu sodného, do kterého je jímán uvolněný CO_2 . Množství respirovaného CO_2 se stanoví z rozdílu spotřeby HCl na titraci blanku a vzorku.

Substrátem indukovaná respirace (RS) a specifická růstová rychlost (RKR $_{\mu}$) stanovené pomocí systému Oxitop (WTW, Německo)

Půdní vzorek je inkubován spolu s roztokem hydroxidu sodného v uzavřené lahvi s měřicí hlavicí Oxitop. Spotřeba kyslíku vede k poklesu tlaku v lahvi, neboť uvolněný oxid uhličitý je jímán do roztoku hydroxidu. Měřicí zařízení průběžně zaznamenává pokles tlaku, který je poté přepočten na množství spotřebovaného kyslíku. Přídavek substrátu obsahující glukózu vede k okamžitému zvýšení respirace (substrátem indukovaná respirace), která je stanovována během 10 následujících hodin po přidavku glukózy. Po určité době půdní mikroorganismy začnou využívat substrát ke svému růstu. Získaná respirační růstová křivka závislosti spotřeby kyslíku na čase má sigmoidální průběh. Z exponenciální fáze je výpočtem stanovena specifická respirační rychlost μ , jejíž reciproká hodnota odpovídá generační době. Stanovení RKR $_{\mu}$ bylo zavedeno v roce 2003, RS v roce 2006.

Anaerobní amonifikace – anaerobní N mineralizace

Půdní vzorek je inkubován týden při 40 °C v uzavřené zkumavce naplněné vodou, aby bylo zamezeno přístupu kyslíku a oxidaci amonných iontů na nitrátové. Z rozdílu koncentrací NH_4^+ na konci a na počátku inkubace je stanovena rychlost amonifikace.

Krátkodobá nitrifikační aktivita (SNA)

Vzorek je inkubován 6 hodin v třepané suspenzi při saturaci substrátem $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ s přídavkem NaClO_3 , který inhibuje oxidaci NO_2^- na NO_3^- , takže

se stanovuje pouze přírůstek NO_2^- . Krátká inkubační doba neumožňuje zvýšení počtu nitrifikátorů a výsledná hodnota představuje potenciální nitrifikační aktivitu v okamžiku zahájení pokusu. Na rozdíl od ostatních uvedených mikrobiálních vlastností SNA neodráží transformaci půdní organické hmoty, zde ji uvádíme jako citlivý parametr změn v půdních vlastnostech, zejména pH.

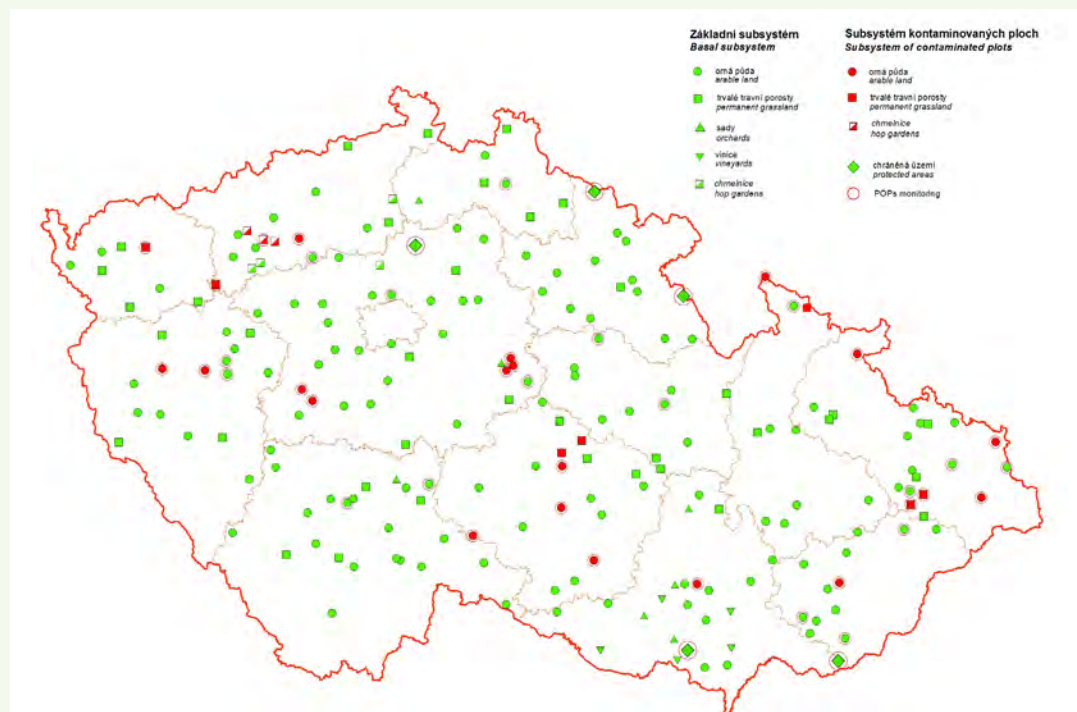
2 Methodology

Šárka Poláková

2.1 Monitoring plots

The network of monitoring plots in Basal Soil Monitoring System (BSMS) was developed in 1992 when first samples of soil in the basic network comprising 190 monitoring plots were collected. In 1995 samples were repeatedly taken using optimized sampling methods. In 1997 a subsystem of contaminated plots was established. 27 monitoring plots were set in locations with inorganic pollution of both anthropogenic and geogenic origin. Figure 1 shows the current location of BSMS plots.

Figure 1. Location of monitoring plots in Basal Soil Monitoring System

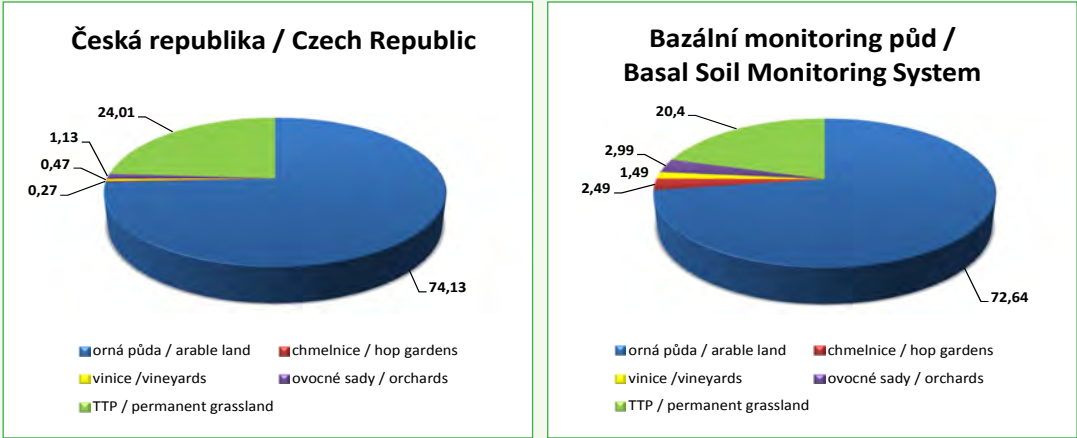


Guiding principles in the selection of monitoring plots in basal monitoring subsystem:

- respecting ratio between soil types in such a way that it corresponds to the occurrence of soil types in the Czech Republic,
- representation of cultures by their occurrence in the Czech Republic (Figure 2),
- even distribution of monitoring plots within a district (region),
- description of different production conditions of a region.

Excess contents of hazardous elements in soil (in the intention of Decree No. 13/1994 applicable at that time) were the most important condition of establishing of plots in subsystem of contaminated plots.

Figure 2. Percentage of representation of cultures of agricultural soil in the Czech Republic and Basal Soil Monitoring system in 1992



Monitoring plots are defined as rectangles 25 x 40 m, with area of 1,000 m². Each area is defined by geographical coordinates, landscape morphology, and the nature of the soil and climate. A pedological pit was excavated and documented in close proximity to each plot.

Not all monitoring areas are contained in the UKZUZ property. Most plots are located on parcels belonging to legal entities that manage the land in a manner characteristic of our agriculture. For that reason, the use of some monitoring plots has changed over the 20 years or some plots have been cancelled, which means that the number of plots may have been different in individual sampling cycles (Table 1).

Table 1. The representation of individual cultures in Basal Soil Monitoring System each year of basic sampling

Kultura / Cultures	Počty ploch v jednotlivých letech / Number of plots in periods			
	1995	2001	2007	2013
Orná půda / Arable land	163	161	155	154
Trvalé travní porosty / Permanent grassland	31	35	43	44
Sady / Orchards	7	6	6	6
Vinice / Vineyards	4	5	5	5
Chmelnice / Hop gardens	7	7	5	5
Celkem / Total	212	214	214	214

Figure 3. Pedological pit excavated into the arable soil in monitoring plots 7005B Jaroměřice nad Rokytnou (haplic Luvisols) and on permanent grassland 4901KO Jenišov (Stagnosol)



Within the whole set of monitoring plots there are three sampling schemes:

- **One-shot sampling** is carried out within excavation of a pedological pit. Both undisturbed soil samples, so called physical cylinders, are collected to determine selected physical properties of soils and disturbed soil samples serving to determine chemical and physico-chemical properties of soils. *These determinations are made in all plots of the monitoring network.*
- **Basic sampling** is carried out in the six-year period. in particular, (agro) chemical properties of soil are detected. *Sampling in basic period is done in all plots of the monitoring network.*
- **Annual sampling** is focused on monitoring of the condition and development of soil pollution by organic pollutants and on possible contamination of the food chain through agricultural crops (sampling of plants). *The samples are collected from a selected file of monitoring plots.*

Table 2. Parameters determined in soil and plant samples collected in individual sampling schemes.

One-shot sampling and identification of the monitoring plot	Basic sampling (six-year period)	Annual sampling
- Physical parameters – actual moisture, reduced bulk density, porosity, maximum capilarity, actual air capacity - Texture C_{ox}, N_{tot} - Cation exchange capacity - Determination of hazardous elements in Aqua Regia mineralisates (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn); Hg_{tot} - Soil pit description - Identification of the monitoring plot – a record	- pH – active, exchangeable - Available nutrients (P, K, Ca, Mg according to Mehlich III) - Available micronutrients (B, Mo, Mn, Zn, Cu) C_{ox}, N_{tot} - Cation exchange capacity - Determination of hazardous elements in Aqua Regia mineralisates and 2M HNO_3 (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn); Hg_{tot}	N_{min} - Microbiological and biochemical parameters - Organic pollutants – HCH, HCB, DDT and its metabolites, PCB, PAH - Hazardous elements content in agricultural plants - Evidence of fertilization and pesticides application

Basic sampling is conducted diagonally; four composite samples are always taken from the topsoil and subsoil (Figure 4); in annual sampling samples are collected using the method “zig-zag” pattern (Figure 5).

Figure 4. Sampling scheme of agricultural soil in basic six years sampling period

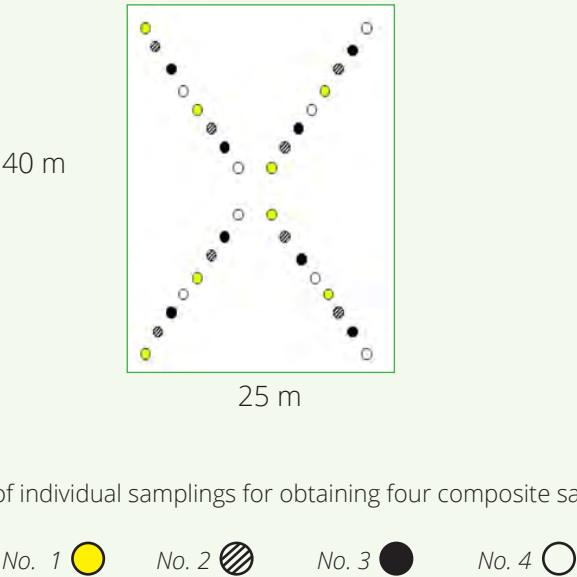
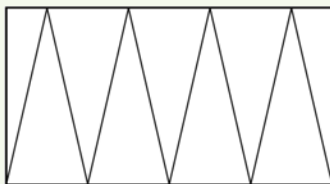


Figure 5. Sampling scheme of agricultural soil in annual sampling (zig-zag pattern)



Arable soil samples are taken from the topsoil (according to the soil horizon thickness, up to 25 cm) and subsoil (35–60 cm); in orchards and vineyards also from two horizons (0–30 cm, 30–60 cm); from the topsoil (10–40 cm) and the subsoil in hop gardens (40–70 cm); from three horizons in permanent grasslands (0–10 cm, 10–25 cm, 25–40 cm; always after removal of the upper turf layer).

2.2 Assessment of the parameters

Parameters measured within individual sampling cycles were assessed in whole BSMS, i.e. in all 214 monitoring areas.

For the assessment of changes and potential trends, the plots selected from the set of BSMS monitoring plots were the plots stored in a monitoring database from the beginning of the monitoring up to now (i.e. they were not cancelled, shifted or established as new plots for any reason within the monitoring), they were continuously managed in one way (there was no change in culture), and their location was not changed (e.g. caused by splitting it between more tenants, different management of the monitoring plot, development, or soil and climate change that would result in different land use). This concerns a total of 177 plots (Table 3).

Table 3. Structure of the BSMS set for assessment of changes and potential trends 1995–2013

Kultura / Cultures	Základní subsystém / Basal subsystem	Kontaminovaný subsystém / Subsystem of contaminated plots	BMP celkem / BSMS total
Orná půda / Arable land	127	15	142
Trvalé travní porosty / Permanent grassland	18	3	21
Sady / Orchards	5	0	5
Vinice / Vineyards	4	0	4
Chmelnice / Hop gardens	3	2	5
Celkem / Total	157	20	177

2.3 Principles of laboratory methods

All analyses were conducted in UKZUZ National reference laboratory using methods accredited according to ISO 17025.

2.3.1 Determination of physical properties of undisturbed soil samples

By weighing of a fresh, water saturated, drained and dried sample and determining its apparent density, basic data for determining the following indicators were obtained:

- maximum capillary water capacity
- reduced bulk density
- porosity
- minimum air capacity

2.3.2 Determination of chemical parameters in disturbed soil samples

Samples submitted to determination of chemical parameters were air-dried and sifted in a 2 mm sieve.

Determination of mercury using an AMA-254 device

Contents of mercury were determined in prepared soil samples by atomic absorption spectrophotometry using AMA-254 Advanced Mercury Analyser.

Extraction of soil using Aqua Regia (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

Prepared soil samples were extracted with a mixture of hydrochloric acid and concentrated nitric acid (3:1) at elevated temperature. The procedure was based on standard ISO 11466. The observed parameters were determined by optical analytical methods, i.e. ICP-OES and FAAS.

Extraction of soil using a dilute nitric acid (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

Prepared soil sample was extracted with 2 mol.l⁻¹ nitric acid for 16 hours without shaking and 1 hour with shaking at laboratory temperature. The observed parameters were measured using ICP-OES and FAAS.

Determination of available nutrients (P, K, Mg, Ca) according to the Mehlich 3

The soil was extracted with acid solution containing ammonium fluoride to increase the solubility of different forms of phosphorus that are bound to aluminium. Ammonium nitrate was also present in the solution having a positive effect on potassium, magnesium and calcium desorption. Acid reaction of leaching solution was supplemented with acetic acid and nitric acid. EDTA presence ensured that nutritionally important microelements could be easily released.

Flame atomic absorption and atomic emission were used for measuring. Potassium was determined by emission directly in M 3 extracts. Calcium and

Determination of Cu, Fe, Mn, and Zn in DTPA extracted soils according to Lindsay and Norvell

The soil sample was extracted by the solution comprising 0.1 mol.l⁻¹ triethanolamine, 0.01 mol.l⁻¹ CaCl and 0.005 mol.l⁻¹ DTPA. The pH was adjusted to 7.3 at 20 degrees Celsius and the extraction was done at soil extract ratio 1:2 (m/V) under precisely defined extraction conditions. The slightly alkaline extraction reaction and the presence of calcium ions limited carbonate dissolution, which also contributed to the increase in extraction of occluded microelements available to plants.

In fact, FAAS was used for determination of Cu, Fe, Mn, and Zn in soil samples.

Determination of B using hot water extraction according to Berger and Truog

The soil sample was extracted by boiling in water for a specified time period. The extract was used for determination of B concentration which was carried out by using Azomethine H spectrophotometric method.

Determination of the AO-OA extractable Mo contents (1995)

The soil sample was extracted with 0.1 M oxalic acid and 0.2 M ammonium oxalate at pH 3.3. The technique ETA-AAS was used for Mo determination.

Determination of polychlorinated biphenyls (PCBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in soil samples

PCBs and OCPs were extracted from the pre-treated sample into a mixture of hexane-acetone solvents at 3:1 ratio. The extract with added suitable internal standards was purified using a of modified silica gel column, sulphur compounds were removed by reaction with elemental copper and the concentrated extract was analysed using the GC-MS method in appropriate monitoring mode (SIM, MRM). In this way, we were able to obtain the limit of detection of 0.1-1 µg.kg⁻¹ for dry matter in the sample for indicator PCB congeners (28, 52, 101, 118, 138, 153 and 180) and for selected organochlorine pesticides (DDT/D/E, HCH a HCB).

Throughout the entire monitoring, the principle of the method was maintained and individual parts of the procedure were optimised with new laboratory equipment. In the first years of BSM (until 2000), these analyses were conducted by an external authorized laboratory, in 2000 PCB and later also OCP analyses started to be conducted solely in an accredited laboratory in UKZUZ Brno. In 2004 this test was accredited and compatibility of results was ensured. The limit of detection was reduced substantially; the limit for recording results was set at 0.5 µg.kg⁻¹ for PCB, and 1 µg.kg⁻¹ for OCP.

Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soil samples

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were determined after acetone extraction and solid phase extraction (SPE) using a reverse-phase HPLC with gradient elution and fluorometric detection (except for acenaphthylene – UV detection). Soil samples (10 g) were extracted with acetone, the extract was purified by a C8 SPE column. Non-polar PAHs were captured by a C8 sorbent, where they

eluted with tetrahydrofuran. They were analysed by high performance liquid chromatography (HPLC) with fluorescence detection and gradient elution. Measuring and evaluating was conducted using the chromatographic integration software CSW, in 2005 a chromatography system - Agilent ChemStation started to be used. PAHs analysis using new HPLC Ultimate 3000, Thermo Fisher Scientific, began to be conducted on November 15; the results were evaluated using Chromeleon software.

2.3.3 Determination of microbial parameters

Determination of microbial biomass C by the fumigation-extraction (FE) method

During soil sample fumigation (with chloroform vapours), intact microbial cells were lysed and microbial organic matter was released to the soil. Inanimate organic material was not significantly affected by fumigation. Soil samples were fumigated with chloroform for 24 hours. Organic carbon extracted with 0.5 M potassium sulphate was determined in fumigated and non-fumigated samples and microbial biomass carbon (MBC) was calculated as the difference between extracts.

Basal respiration

The soil sample was incubated in a closed bottle and CO_2 was trapped into a solution of sodium hydroxide. The amount of respired CO_2 was determined as the difference between blank and sample after titration with HCl.

Substrate-induced respiration (R_s) and specific growth rate ($R_{KR}-\mu$) determined using OxiTop (WTW, Germany)

The soil sample was incubated with a solution of sodium hydroxide in a bottle sealed with an OxiTop measuring head. The consumption of oxygen led to a decrease in pressure inside the bottle, since the released carbon dioxide was collected by sodium hydroxide. The measuring device continuously recorded a pressure drop, which was then expressed as the amount of oxygen consumed. Addition of a substrate containing glucose led to an immediate increase in respiration (substrate-induced respiration) which was determined within the next 10 hours following the addition of glucose. After a specified time, soil microorganisms began to use the substrate to grow on. The resulting growth curve of rate of respiratory oxygen consumption had a sigmoidal shape. Specific respiration rate μ , whose reciprocal corresponded to generation time, was calculated from the exponential phase.

Anaerobic ammonification – anaerobic N mineralisation

The soil sample was incubated for one week at 40 °C in a sealed test tube filled with water in order to prevent access of oxygen and oxidation of ammonium ions to nitrate ions. The difference between the concentrations of NH_4^+ at the end and beginning of the incubation showed the ammonification rate.

Short-term nitrification activity (SNA)

The sample was incubated with shaking for 6 hours in a suspension with $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ saturation and addition of NaClO_3 which inhibits NO_2^- to NO_3^- oxidation, therefore only NO_2^- increment was determined. Short incubation period did not allow for increasing the number of nitrifiers and the resulting value showed a potential nitrification activity at the commencement of the experiment. Unlike the other microbial properties, SNA did not reflect the transformation of soil organic matter; it was referred to as a sensitive parameter for changes in soil properties, especially pH.

3 Pedologické charakteristiky půd Bazálního monitoringu půd (BMP)

Ladislav Kubík

3.1 Klasifikace půd – minulost a současnost

Klasifikace půdních typů se provádí na základě popisu půdního profilu a jeho diagnostických horizontů. Při klasifikaci se nejčastěji využívá žlábkový jednoduchý vrták (sondýrka) – rychlá, ale méně přesná metoda určení půdního typu, nebo se vykope půdní sonda – časově náročná metoda upřednostňovaná při určování půdních typů na pozorovacích plochách (PP) v Bazálním monitoringu půd, z níž se získá více informací o půdním profilu.

Od založení sítě monitoringu v roce 1992 došlo dvakrát ke změně klasifikačního systému půd. Při založení byly půdní typy a stratigrafie půdního profilu popsány podle Geneticko-agronomické klasifikace půd, používané při komplexním průzkumu zemědělských půd. V devadesátých letech se začal používat nově vytvořený Morfogenetický klasifikační systém půd (MKSP), který již sjednocoval klasifikaci zemědělských a lesních půd (Hraško, 1991). Systém se dále rozvíjel, zejména v návaznosti na dokončování světového klasifikačního systému World Reference Base (WRB). Tento proces byl v roce 2001 završen publikováním nové klasifikace půd ČR s názvem Taxonomický klasifikační systém půd České republiky (TKSP), který je použitelný pro zemědělské i lesní půdy, je maximálně kompatibilní s WRB a používá se s drobnými změnami do dnes (Němeček, 2001). Po změně klasifikace na TKSP došlo také k překlasifikování půdních typů v BMP. Tato změna byla provedena pouze „na papíře“ a mohly tak vzniknout chyby v klasifikaci.

Následkem změny využití pozemku na stavební parcelu musela být v roce 2009 přesunuta plocha BMP 4901KO, zároveň došlo k jejímu přečíslování na 4904KO a byl uskutečněn výkop a popis půdní sondy podle nové klasifikace TKSP a odběr půdních vzorků. Tento přesun a výše popsané možné nepřesnosti při převodu mezi klasifikačními systémy vedly v roce 2010 k rozhodnutí znovu vykopat a popsat pedologické sondy u všech pozorovacích ploch BMP, včetně odběrů neporušených a porušených půdních vzorků. V současné době je prováděn výkop až 14 půdních sond ročně. Při novém výkopu sond se ukázalo, že může nastat několik situací: v extrémním případě nejsou ve shodě půdní typy určené při výkopu první sondy a půdní typy zjištěné při druhém výkopu sondy, druhou eventualitou je nesoulad v subtypech a varietách a třetí nejpříznivější možností je, že se vše shoduje, tak jak prezentují obrázky 6, 7 a 8. K 31. 12. 2016 byly překlasifikovány půdní typy na 61 plochách BMP.

3 Pedological characteristics of soils of the Basal Soil Monitoring System (BSMS)

Ladislav Kubík

3.1 Soil classification – past and present

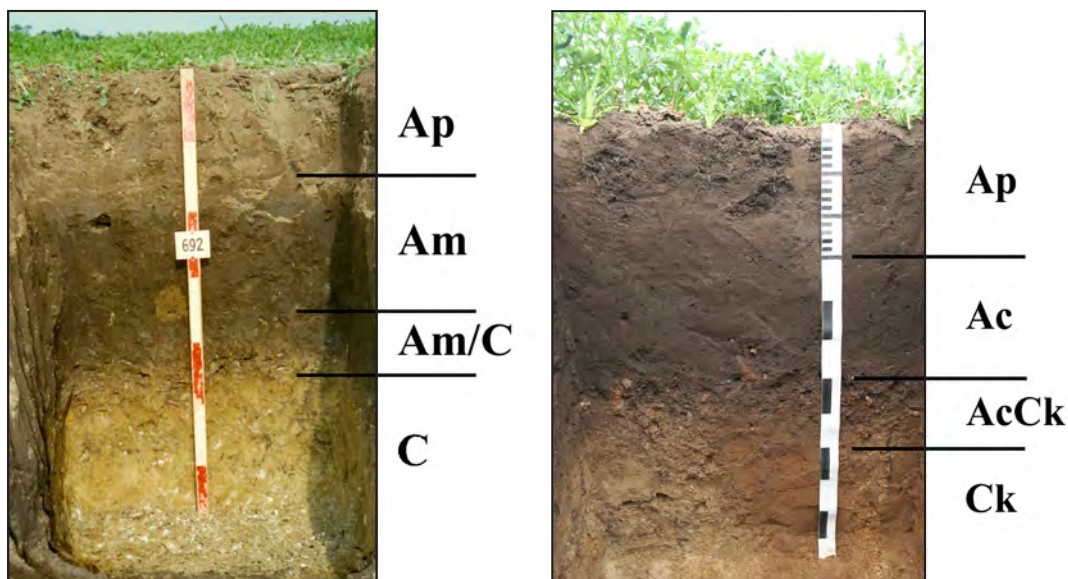
Classification of soil types is performed on the basis of a description of the soil profile and its diagnostic horizons. Identifying different soils types, a Single gouge auger (a Soil core sampler) is most commonly used – a quick but less accurate soil classification method, or a soil pit is buried in the soil – a time-consuming method preferred when determining soil types in monitoring plots (MP) in Basal soil monitoring system that provides us with more information on soil profile.

Since the establishment of the monitoring network in 1992, the soil classification system has changed twice. Formerly, soil types and stratigraphy of the soil profile were described according to Genetic-agronomic Soil Classification used in a comprehensive survey of agricultural soils. In the 1990s, a newly created „Morfo-genetický klasifikační systém půd“ (MKSP) (Morphogenetic Soil Classification System) which had already unified the classification of agricultural and forest soils became applicable (Hraško, 1991). The system continued to develop, notably following the completion of the world classification system named World Reference Base for Soil Resources (WRB). This process was completed in 2001 by issuing new classification of soils in the Czech Republic entitled „Taxonomický klasifikační systém půd České republiky“ (TKSP) (Taxonomic Soil Classification System of the Czech Republic) which is applicable to agricultural and forest soils, maximally compatible with the WRB and which has remained in use with minor changes until today (Němeček, 2001). After reclassification for TKSP, there was also reclassification of soil types in BSMS. The change was made just to the document, whereby errors in classification could occur.

Changes regarding the use of the land for construction purposes resulted in transfer of plot BSM 4901KO in 2009; at the same time the plot was renumbered to 4904KO and the soil pit was buried and described according to the new TKSP classification and soil samples were collected. This transfer together with the above mentioned possible inaccuracies in the transfer between the classification systems resulted in 2010 in the decision to excavate and describe the pedologic pits again in all BSMS monitoring plots, including collecting undisturbed and disturbed soil samples. At present, up to 14 soil pits are buried per year. Burying new pits has shown that several situations may arise: firstly, in extreme cases the soil types described after digging the first pit into the soil do not conform to the soil types determined after the second pit excavating; secondly, there inconsistency between subtypes and varieties may occur; finally, the third most favourable possibility is that everything coincides with everything, as shown in pictures 6, 7 and 8. As of December 31st 2016, soil types in 61 BSMS plots were reclassified.

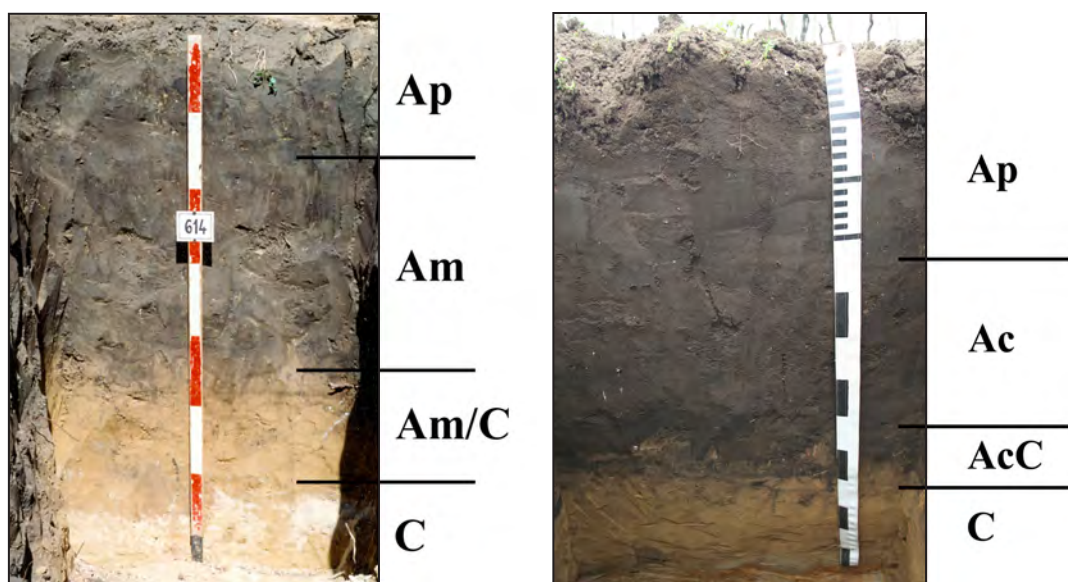
Obrázek 6. Popis půdního profilu plochy 7902KO – Chrlice: původní půdní typ černozem modální CEm, nový černozem modální CEm

Figure 6. Description of soil profile in plot 7902KO – Chrlice: the original soil type is Haplic Chernozem (CH-ha), the new soil type is Haplic Chernozem (CH-ha)



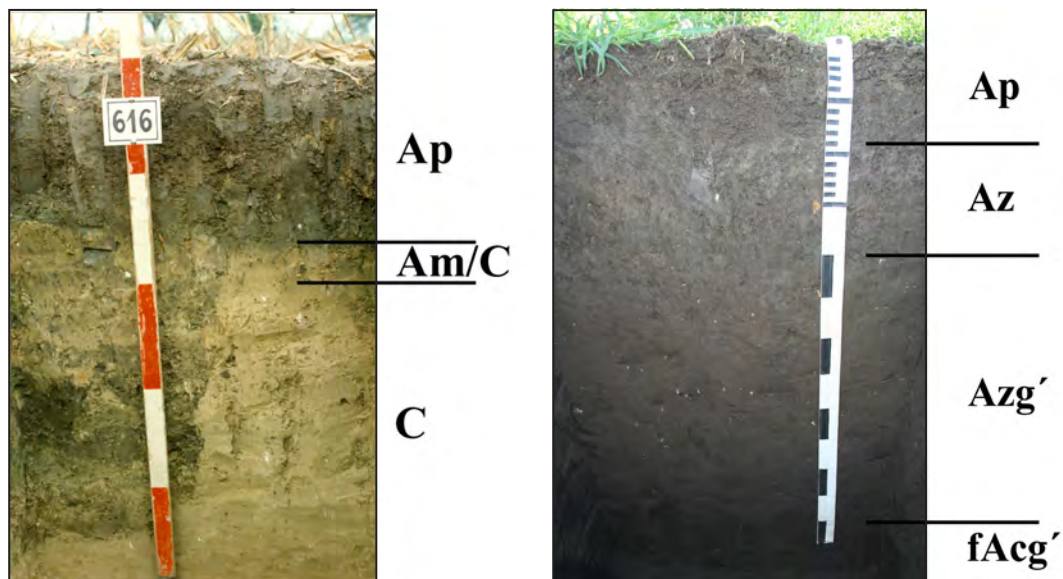
Obrázek 7. Popis půdního profilu plochy 7014B – Březí u Mikulova: původní půdní typ černozem modální CEm, nový černozem arenická CER

Figure 7. Description of soil profile in plot 7014B – Březí u Mikulova: the original soil type is Haplic Chernozem (CH-ha), the new soil type is Haplic Chernozem (Arenic)(CH-ha-ar)



Obrázek 8. Popis půdního profilu plochy 7016B – Nikolčice: původní půdní typ černozem karbonátová CEC, nový Kolvizem karbonátová slabě oglejená KOcg'

Figure 8. Description of soil profile in plot 7016B – Nikolčice: the original soil type is Calcic Chernozem (CH-cc), the new soil type is Calcaric Gleyic Fluvisol (FL-gl-ca)



3.2 Zastoupení půdních typů v BMP v porovnání s ČR a jejich identifikace v terénu

Počet pozorovacích ploch (PP) s jednotlivými genetickými půdními typy je úměrný jejich plošnému výskytu v půdním fondu ČR. Z tohoto hlediska byl základem pro výběr pozorovacích ploch seznam lokalit, na kterých byly popsány speciální pedologické sondy pro účely komplexního průzkumu půd, provedeného v období 1961–1970. Základním podkladem pro výběr konkrétního pozemku s daným genetickým půdním typem byla státní odvozená mapa bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) vyjádřených pětimístným kódem v měřítku 1:5000. Genetické půdní typy jako hlavní půdní jednotka (HPJ) jsou v ní uvedeny dvojčíslím druhého a třetího znaku kódu BPEJ. V grafu 1 je znázorněno porovnání procentického zastoupení jednotlivých půdních typů v BMP a v České republice.

Půdní typ byl kritériem pouze pro výběr pozorovacích ploch na orné půdě, nikoliv při výběru pozorovacích ploch na trvalých travních porostech (TTP), sadech, vinicích a chmelnicích. U těchto kultur je půdní typ pouze evidován.

Obrázek 9 zobrazuje rozmístění ploch BMP po České republice spolu s popsányými půdními typy.

Mezi nejčastější půdní typy se zastoupením nad 5 % podle obrázku 10 patří jak v ČR tak i v BMP následující půdní typy: kambizem (Cambisols), hnědozem (haplic Luvisols), černozem (Chernozems), pseudoglej (Stagnosols), fluvizem (Fluvisols) a luvizem (Albeluvisols). Níže v textu jsou tyto půdní typy blíže popsány.

3.2 Representation of soil types in BSMS compared to the CR and their identification in the field

The number of monitoring plots (MP) with individual genetic soil types is proportionate to their occurrence in land resources of the Czech Republic. In this respect, the basis for the selection of monitoring plots was a list of sites in which special pedologic sampling was described for comprehensive soil research that was conducted from 1961 to 1970. A basis for selection a specific plot with a given genetic soil type was a state derived map of "Bonitované půdně ekologické jednotky" (BPEJ) (Estimated Pedologic-Ecological Unit) identified as a 5-place code in 1:5000 scale. Genetic soil types as the main soil unit are set out therein in two digits of the second and third code character of BPEJ. Graph 1 shows comparison of the percentage of individual soil types in BSMS and in the Czech Republic.

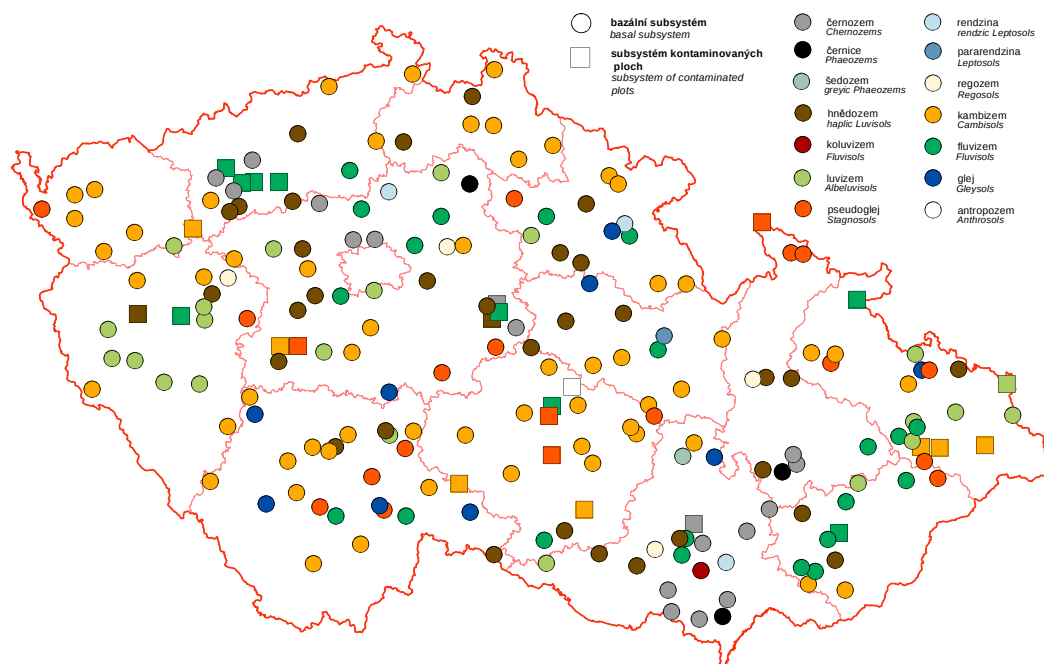
The soil type was only a criterion for selection of monitoring plots on arable land not for selection of monitoring plots on permanent grasslands, in orchards, vineyards and hop gardens. The soil type in these crops is only registered.

Figure 9 shows location of plots in BSMS within the Czech Republic together with described soil types.

The most common soil types with the representation of over 5% according to Figure 10 both in the CR and BSMS are as follows: Cambisols, haplic Luvisols, Chernozems, Stagnosols, Fluvisols, and Albeluvisols. These soil types are further described below.

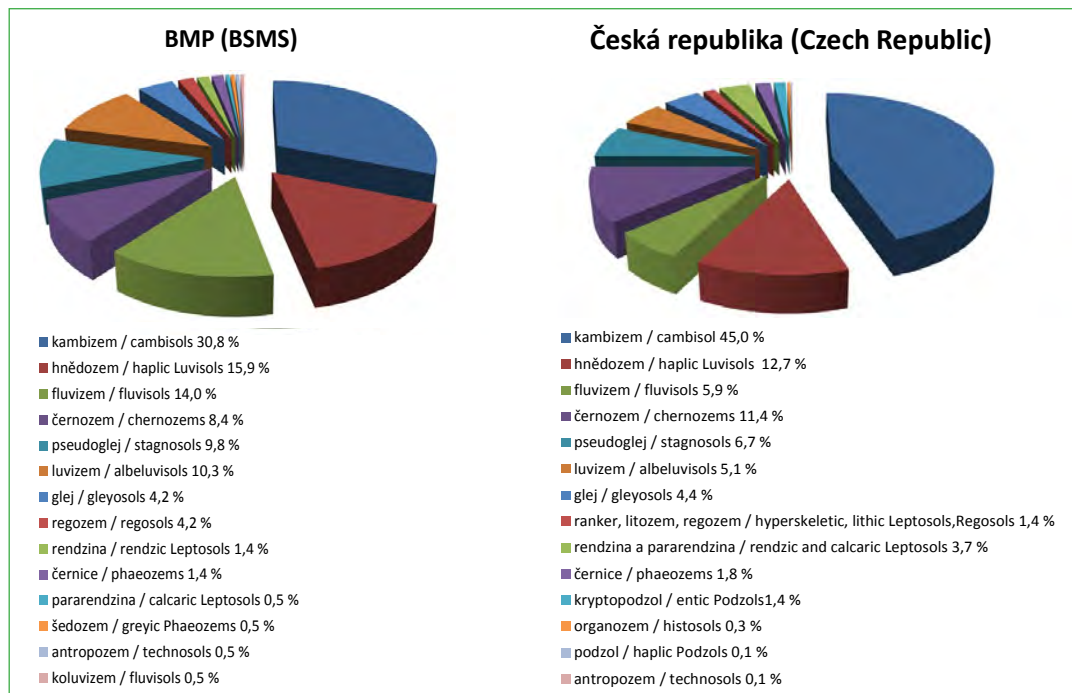
Obrázek 9. Zastoupení a rozložení půdních typů na plochách BMP

Figure 9. Representation and location of soil types in BSMS plots



Obrázek 10. Procentické zastoupení půdních typů v Bazálním monitoringu půd (BMP) a v České republice

Figure 10. Percentage of soil types in Basal Soil Monitoring System (BSMS) and in the Czech Republic



Kambizem

Je nejvíce zastoupeným půdním typem zemědělských půd nejen v rámci ploch Bazálního monitoringu půd, ale i v rámci půd celé České republiky. Kambizemě jsou typické svým kambickým hnědým (braunifikovaným) horizontem Bv, vyvinutým na různých půdotvorných substrátech značených C nebo na souvrství IIC. Kambizemě představují půdy s velmi širokou ekologickou amplitudou vyskytující se v různých klimatických podmínkách, od nížin po vyšší polohy, a na různých půdotvorných substrátech. Jsou to půdy převážně středně úrodné. Při znečištění těžkými kovy je předpoklad vyššího transportu do pěstovaných plodin vzhledem ke kyselejší reakci těchto půd. Tyto půdy jsou nejvíce ohroženy procesy acidifikace a ztrátami humusu.

V BMP se tento půdní typ nachází na 66 plochách, zastoupení tak dosahuje 30,8 %, v ČR zastoupení činí 45,0 %.

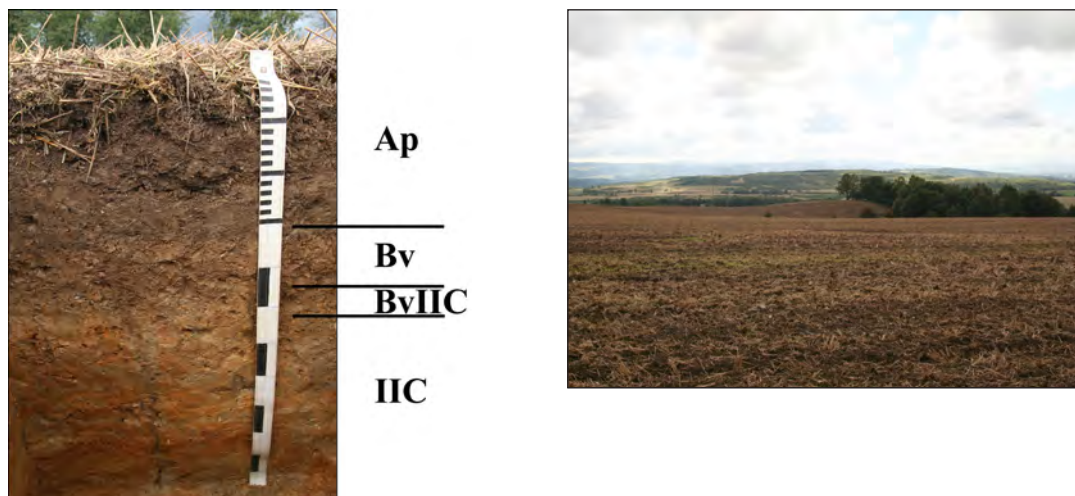
Cambisols

Cambisols constitute the most common agricultural soil type not only within the plots of Basal soil monitoring system but also throughout the Czech Republic. Cambisols are determined by brown cambic (braunified) horizon Bv, formed in various soil-forming substrates marked C or in IIC strata. Cambisols are soils with a very wide ecological amplitude that occur in different climatic conditions in both the lowlands and higher altitude areas, and in various soil-forming substrates. There are soils of rather average overall fertility. Heavy metal contamination results in increased plant uptake of heavy metals regarding acidic reaction of these soils. Such soils are most at risk from acidification and loss of humus.

Regarding BSMS, this soil type occurs in 66 plots, thus reaching 30.8%; in the Czech Republic it constitutes 45.0%.

Obrázek 11. Plocha 4019B Horní Částkov, kambizem modální mesobazická (KAm^a) s popsanými půdními horizonty, je typická pro oblasti pahorkatin

Figure 11. Plot 4019B Horní Částkov, Eutric Cambisol (CM-eu) showing the soil horizons and its typical occurrence in upland areas



Hnědozem

Je druhým nejčastějším půdním typem na plochách BMP i v České republice. Patří k luvisolům, protože v profilu dochází k vertikálnímu posunu jílu do spodních vrstev – tzv. ilimerizaci a vzniku eluviálního Ev horizontu, který je obvykle zcela nebo z části přiorán do ornice. Hnědozemě se vyvinuly převážně na spraších či sprašových hlínách a svahovinách ve středních polohách, hlavně v rovinatém či mírně zvlněném reliéfu, s průměrnou roční teplotou 7,5–8,5°C a srážkami 500–650 mm. Jedná se o půdy s vysokou úrodností, typické pro řepařské výrobní oblasti, v suchých létech dosahují vyšších výnosů než černozemě díky zvýšené retenční vodní kapacitě luvických horizontů. Hnědozemě jsou zranitelné z hlediska zachování obsahu a kvality humusu, a pokud jsou na svazích, je třeba je chránit před erozí.

V BMP se tento půdní typ nachází na 34 plochách, zastoupení tak dosahuje 15,9 %, v ČR zastoupení činí 12,7 %.

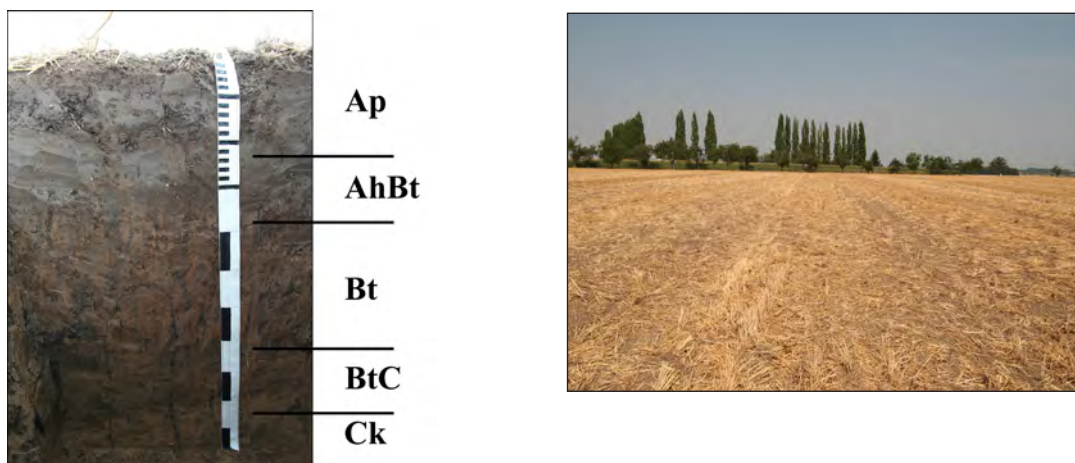
haplic Luvisols

Haplic Luvisols are the second most common soil type in plots of BSMS and in the Czech Republic. They belong to Luvisols, since there is a downward movement of that clay throughout profile, so-called illimerisation, and formation of the eluvial horizon (Ev) which is usually wholly or partly ploughed into the topsoil. Haplic Luvisols developed mainly in loesses or loess-like loams, in hill soils at medium altitudes, predominantly in flat or undulating relief with average annual temperatures of 7.5–8.5°C and precipitation between 500 and 650 mm. There are soils of high fertility, found typically in sugar beet growing regions; in dry summers yields achieved are higher than in Chernozem due to higher water holding capacity of luvic horizons. Haplic Luvisols are at risk in terms of maintaining the humus content and quality, and Luvisols on steep slopes require erosion control measures.

Regarding BSMS, this soil type occurs in 34 plots, thus reaching 15.9 %; in the Czech Republic it constitutes 12.7 %.

Obrázek 12. Plocha 6017B Čepí, hnědozem modální (HNm) s popsanými půdními horizonty a její typický výskyt v rovinatém terénu

Figure 12. Plot 6017B Čepí, Haplic Luvisol (LV-ha) showing the soil horizons and its typical occurrence in flat regions



Černozem

Třetím nejrozšířenějším typem půd v ČR jsou černozemě, ale v BMP jsou na čtvrtém místě. Vyvinuly se v nejsušších a nejteplejších oblastech nížin a pahorkatin v rovinatém až mírně zvlněném terénu převážně na spraších. Půdotvorným procesem je akumulace a přeměna organických látek tzv. humifikace v podmínkách nepromyvného až periodicky promyvného vodního režimu. Jsou charakteristické mocným (až 70 cm), tmavým humusovým (černickým) horizontem Ac s příznivými biologickými a fyzikálními vlastnostmi a kvalitní drobtovou strukturou. Limitujícím faktorem úrodnosti je často nedostatek přístupné vody pro rostliny.

V BMP se tento půdní typ nachází na 18 plochách, zastoupení tak dosahuje 8,4 %, v ČR zastoupení činí 11,4 %.

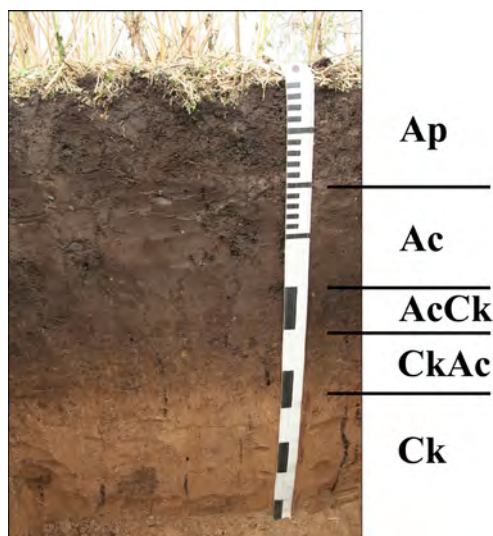
Chernozems

Chernozems are the third most common soil type in the Czech Republic but they take the fourth place in BSMS. They form in the driest and warmest plain areas and hilly regions in a flat to slightly undulating terrain, mainly in loesses. The soil formation process concerns accumulation and conversion of organic matter, so-called humification, under conditions ranging from non-percolation to periodic percolation regimen. They are characteristic of a thick (up to 70 cm), dark humus-rich (cernic) horizon Ac possessing favourable biological and physical properties and crumb texture of very high quality. The limiting factor in fertility is often lack of water available to plants.

In BSMS, this soil type is found in 18 plots accounting for 8.4%, in the Czech Republic it reaches 11.4 %.

Obrázek 13. Plocha 2031B Tursko, černozem modální (CEm) s popsanými půdními horizonty a její typický výskyt v rovinatém až mírně zvlněném terénu

Figure 13. Plot 2031B Tursko, Haplic Chernozem (CH-ha) showing the soil horizons and its typical occurrence in a flat up to slightly undulating land



Pseudoglej

Patří k častěji se vyskytujícím půdním typům jak v rámci BMP tak i ČR. Vznikají na různých nekarbonátových substrátech v podmínkách promyvného vodního režimu s přebytkem povrchových vod. Nejčastěji se vyskytují na úpatí svahů nebo v rovinatých partiích. Jsou typické vyluhovaným světlým eluviálním horizontem En a pod ním ležícím mramorovaným (rezivo šedivým) horizontem Bm. V zemědělství se využívají převážně jako trvalé travní porosty méně často jako orná půda. Pro využití pseudogleje jako orné půdy jsou limitními faktory nepříznivé fyzikální vlastnosti – vysoká ulehlost, nízká nekapilární pórovitost a zamokřenost od povrchu.

V BMP se tento půdní typ nachází na 21 plochách, zastoupení tak dosahuje 9,8 %, v ČR zastoupení činí 6,7 %.

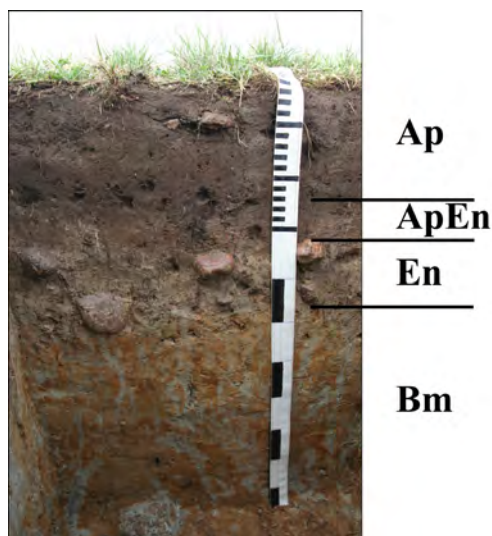
Stagnosols

Stagnosols belong to soil types frequently occurring both within BSMS and the Czech Republic. They form in various non-carbon substrates under conditions of percolation regimen with excess surface water. They are most frequently found at foothills or in lowland parts. They are characteristic by their light coloured, leached eluviated horizon En with the underlying marbled (grey and rusty) horizon Bm. In agriculture they are mainly used as permanent grassland, less frequently for arable farming. The limiting factors in arable land use include unfavourable physical properties - high density, low non-capillary porosity, and top-layer soil moisture.

Within BSMS this soil type is found in 21 plots, thus representing 9.8%; in the Czech Republic it shows 6.7%.

Obrázek 14. Plocha 8020B Stará Červená Voda, pseudoglej modální (PGm) s popsanými půdními horizonty a typickým výskytem v dolní části svahů

Figure 14 Plot 8020B Stará Červená Voda, Albic Eutric Stagnosol (ST-eu.ab) showing the soil horizons and its typical occurrence at the bottom of slopes



Fluvizem

Přestože jsou fluvizemě v ČR až na pátém místě v početnosti, v BMP jsou třetím nejčastějším půdním typem. Jsou to půdy mladé, v iniciálním stádiu vývoje, vyvinuté výlučně na holocénních fluviálních sedimentech v nivách řek a větších potoků. Typická je pro ně zrnitostní rozmanitost, různá minerální bohatost, rozdíly v množství humusu, různě vysoká hladina podzemní vody a tzv. azonálnost – mohou se vyskytovat v různých nadmořských výškách a klimatických oblastech. U fluvizemí je důležitý jejich monitoring na kontaminaci rizikovými prvky a látkami vzhledem k možnému znečištění podzemní vodou nebo kaly. Limitujícím faktorem pro zemědělskou výrobu může být kontaminace rizikovými prvky.

V BMP se tento půdní typ nachází na 30 plochách, zastoupení tak dosahuje 14,0 %, zastoupení v ČR činí 5,9 %.

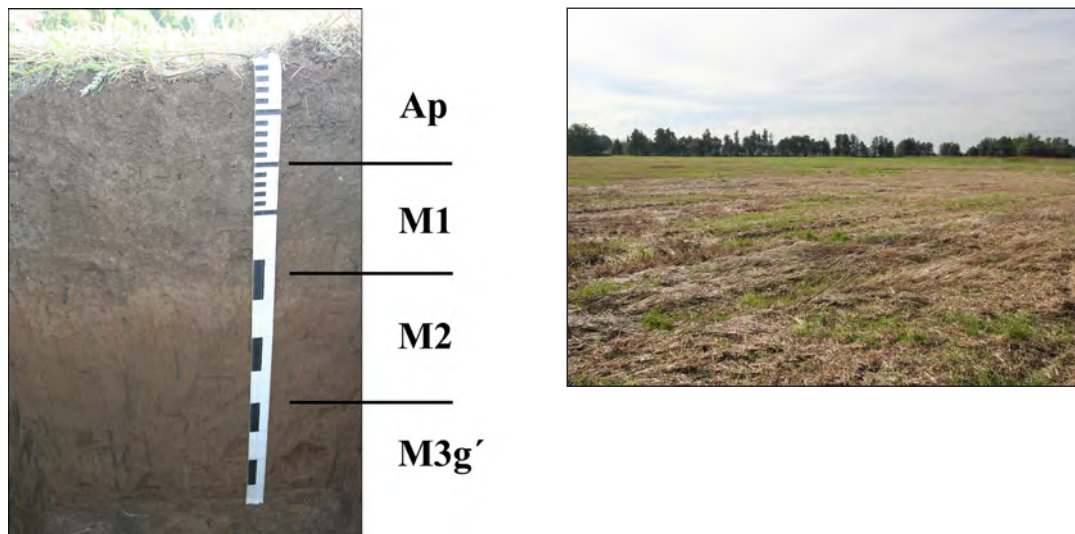
Fluvisols

Although Fluvisols are the fifth most abundant soil type in the Czech Republic, they are the third most frequently occurring soil type in BSMS. They are young soils, at an early stage of development, formed exclusively in Holocene fluvisol sediments in floodplains of rivers and larger streams. They are characterised by grain variety, the vast scale of mineral wealth, different amounts of humus, variably high water table and so-called azonality - they may occur at different altitudes and in different climates. It is necessary to monitor fluvisols from the point of view of contamination by risk elements and substances due to potential pollution by ground water or sewage. Risk elements pollution may be the limiting factor in agricultural production.

Within BSMS this soils type occurs in 30 plots, thus representing 14.0%; its representation in the Czech Republic shows 5.9%.

Obrázek 15. Plocha 4902KO Křimice, fluvizem modální slabě oglejená (FLmg') s popsanými půdními horizonty a typickým výskytem v krajině podél vodních toků

Figure 15. Plot 4902KO Křimice, Eutric Fluvisol (Toxic) (FL-eu-tx) showing the soil horizons and its typical occurrence in landscape along water courses



Luvizem

Zastoupení luvizemí v ČR a v BMP je nad 5 % a můžeme je tak řadit k častěji se vyskytujícím půdním typům. Vzniká z nekarbonátových substrátů (polygenetické hlíny, svahoviny) v podmínkách promyvného vodního režimu. Má vyvinutý eluviální světlejší horizont El, pod nímž leží hutný luvický horizont Bt s až třikrát vyšším obsahem jílu, který byl procesem ilimerizace translokován z horizontu El. Luvizem se vyskytuje v oblastech přechodu nížin v pahorkatiny – v rovinatějším terénu, v mírně chladném a vlhčím klimatu. Jsou to středně úrodné slabě kyselé půdy a je třeba vápnění a dostatečného hnojení pro získání dobré úrody. Vzhledem ke svému geografickému výskytu mohou trpět erozí, jsou náchylné na utužení (zejména podorničí) a mohou být od povrchu zamokřené.

V BMP se tento půdní typ nachází na 22 plochách, zastoupení tak dosahuje 10,3 %, v ČR zastoupení činí 5,1 %.

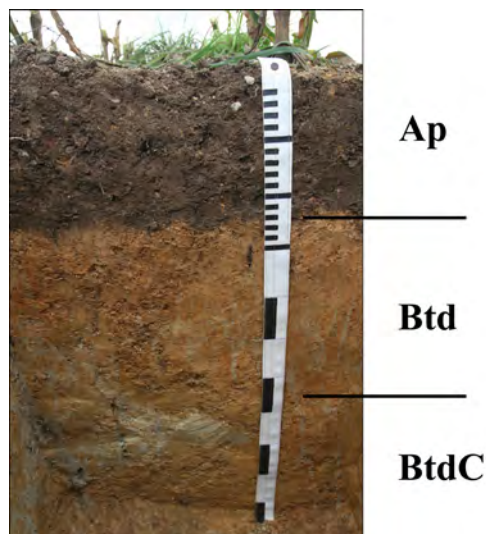
Albeluvisols

The percentage of occurrence of Albeluvisols in the Czech Republic is more than 5% and they can be considered to be more common soil types. They developed from non-carbon substrates (polygenetic clay, slopes) under conditions of percolation water regimen. Albeluvisols are soils with a distinctive bleached eluvial horizon El, and underlying dense luvic horizon with up to three times higher clay content that was through an illimerization process translocated from horizon El. Albeluvisols are found mainly in the areas between plains and hilly regions – in more or less flat landscapes and moderately cool and wet climate. They are moderately fertile, slightly acidic soils and liming and sufficient fertilization is necessary for obtaining good harvest. Due to their geographic location they may suffer from erosion, they are prone to compaction (especially subsoil) and increased top-layer soil moisture.

Within BSMS this soils type occurs in 22 plots, thus accounting for 10.3 %, its representation in the Czech Republic shows 5.1%.

Obrázek 16. Plocha 4024BO Zruč, luvizem modální (LUm) s popsanými půdními horizonty a typickým výskytem v dolní části svahů

Figure 16. Plot 4024BO Zruč, Haplic Luvisol (LV-ha) showing the soil horizons and its typical occurrence in lower parts of slopes



3.3 Fyzikální charakteristika půd BMP

Fyzikální vlastnosti hrají prvořadou roli z hlediska zpracování půdy. Rozhodují o tom, jakým způsobem a intenzitou může být půda obdělávána, aby bylo dosaženo optimálního stavu půdního prostředí pro pěstované rostliny. Půdní fyzika se zabývá studiem stavu jednotlivých částí půdního celku. Popisuje tedy rozložení a zastoupení pevných částic, vody a vzduchu v prostoru půdního profilu. Změna zastoupení jednotlivých složek bývá většinou odpovědí na mechanický zásah do půdy.

Obrázek 17. Vápnění a provádění agrotechnických zásahů za optimálních fyzikálních podmínek musí být základní dovedností každého zemědělce.

Figure 17. Liming and application of agro-technical measures under optimal physical conditions are essential every farmer must master.



3.3 Physical properties of BSMS soils

Taking into account soil cultivation, physical properties play an overriding role. They decide what techniques and intensity should be used for soil tilling to achieve the optimal soil environment for cultivated plants. Soil physics deals with the study of condition of soil complex components. Thus, it describes the distribution and contents of soil solids, water and air within soil profiles. Changes in the contents of individual components are predominantly the answer to soil mechanical intervention.

Obrázek 18. Kombinace špatných fyzikálních vlastností půdy a nevhodná a nesprávně načasovaná agrotechnika má za následek vytvoření velkých hrud na poli popřípadě i zhuštění podorničí, což se negativně projeví na výnosu pěstované plodiny a energetické náročnosti prováděných agrotechnických operací.

Figure 18. A combination of poor soil physical properties and unsuitable and ill-timed agro-technology results in formation of large lumps in fields or subsoil compaction, which negatively influences the crop yield and energy performance of agro-technical operations.



3.3.1 Odběry porušených a neporušených půdních vzorků

Stanovení fyzikálních vlastností půdy se provádí jak v porušených, tak v neporušených půdních vzorcích.

Porušené půdní vzorky se v BMP odebírají z pozorovací plochy (Obrázek 19) pomocí půdních vrtáků, anebo z pedologické sondy (Obrázek 20) pomocí nerezového nářadí. Neporušené půdní vzorky se odebírají výhradně z jednotlivých diagnostických horizontů pedologické sondy za využití Kopeckého fyzikálních válečků (Obrázek 21 a 22).

3.3.1 Disturbed and undisturbed soil sampling

Determination of physical properties of the soil is carried out both in disturbed and undisturbed soil samples.

Disturbed soil samples were collected from BSMS monitoring plots using soil augers (Figure 19) or from a soil pit using stainless steel tools (Figure 20). Undisturbed soil samples are collected solely from individual diagnostic horizons of a soil pit using Kopecky rings (Figures 21 and 22).

Obrázek 19. K odebírání porušených půdních vzorků z plochy BMP se používá Edelmanův vrták pro půdy o průměru 3 cm

Figure 19. Edelman auger is used for collection of undisturbed soil samples by taking approx. 3-cm-diameter soil cores in BSMS



Obrázek 20. Odběr porušených půdních vzorků ze sondy

Figure 20. Collection of disturbed soil samples from a soil pit



Obrázek 21. K odebrání neporušených půdních vzorků ke stanovení objemové hmotnosti redukované (OHR) a pórovitosti se používají sady Kopeckého fyzikálních válečků

Figure 21. Undisturbed soil core samples are taken to determine reduced bulk density (RBD) and porosity using Kopecky sample ring kit



Obrázek 22. Při odběru se válečky zatloukají do půdy, po vyjmutí se přebytečná zemina opatrně odstraní a váleček se uzavře víčky

Figure 22. Within sampling the ring are hammered into the soil, after the extraction the redundant soil is cautiously sliced apart with a knife and the ring is sealed with a cover



3.3.2 Zrnitost půdy

Významnou fyzikální vlastností, od které se v mnoha případech odvíjejí další vlastnosti půdy, je zrnitostní složení půdy. Zrnitostní složení je dáno zastoupením jednotlivých velikostních kategorií minerální složky půdy. Jednou z metod zjišťování zrnitostního složení půdy je pipetovací metoda (Obrázek 26). Z hlediska půdních vlastností je zvlášť významná kategorie zrn menších než 0,01 mm (tzv. jílnaté částice).

Podle hmotnostního zastoupení jílnatých částic se vyčleňují půdní druhy, které se kategorizují podle Novákovy stupnice. Půdní druh je základní ukazatel, který charakterizuje půdu. Z celkové výměry zemědělské půdy v ČR zauímají lehké půdy 19 %, půdy střední 59 % a půdy těžké 17 % (Obrázek 23). Zbývajících 5 % připadá na kamenité a silně štěrkovité půdy, zcela nevhodné pro zemědělskou produkci. V BMP je rozložení půdních druhů následující – lehké půdy 27 %, půdy střední 55 % a půdy těžké 18 % (Obrázek 23).

Na obrázku 24 je ukázáno procentické zastoupení jednotlivých půdních druhů na plochách BMP s rozdělením na ornici a podorničí. Z grafu je patrné, že převládají půdy hlinité.

Tabulka 4 prezentuje základní statistiku obsahu částic menších než 0,01 mm v půdách BMP. Jednotlivé plochy s určeným půdním druhem jsou představeny na obrázku 25. S druhem půdy úzce souvisí i další ukazatelé – objemová hmotnost a pórovitost.

3.3.2 Soil texture

An important physical property, from which in many cases other characteristics of the soil are derived, is the soil texture. The grain size distribution describes the relative proportions of particles of various sizes. The pipette method is often used as the standard for detection of particle size distribution (Figure 26). In terms of soil properties, the category of grains smaller than 0.01 mm (i.e. clay particles) is of particular importance.

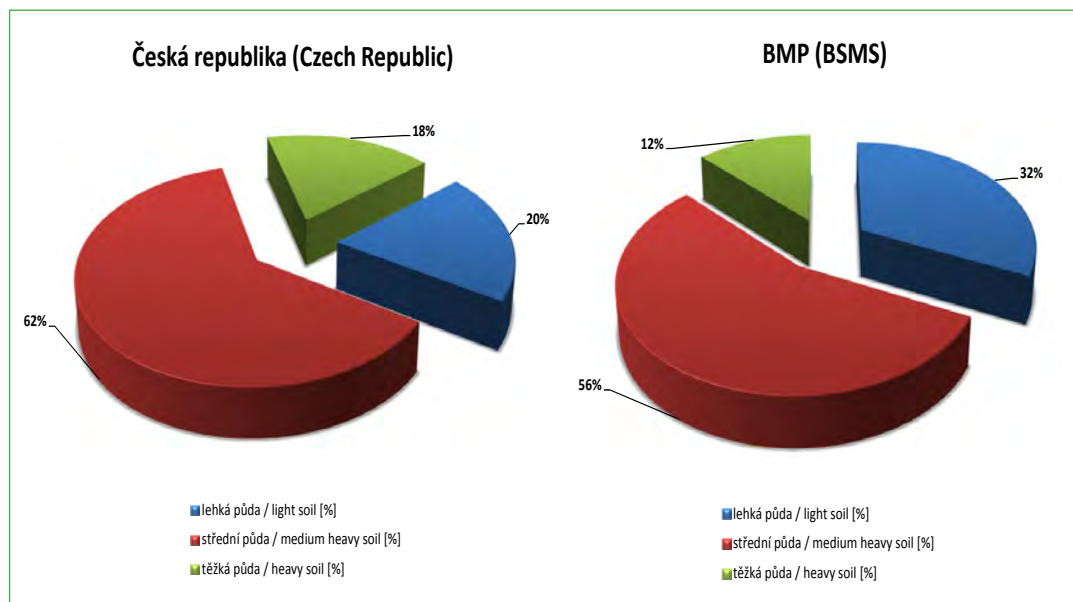
According to the percentage of clay particles by weight, soil types, which are categorized according to Novak scale, are assessed. Soil type is a basic indicator that characterizes the soil. Of the total agricultural land in the Czech Republic light soils constitute 19%, medium heavy soils constitute 59% and heavy soils constitute 17% (Figure 23). The BSMS shows the following distribution of soil types – light soils constitute 27%, medium heavy soils constitute 55%, and heavy soils constitute 18% (Figure 23).

Figure 24 shows the percentage of individual soil types in BSMS plots divided into topsoil and subsoil. The graph shows that loamy soils prevail.

Table 4 shows basic statistics of the content of particles smaller than 0.01 mm in BSMS soils. Individual plots with the specified soil type are shown in Figure 25. Other indicators also closely related to a soil type are bulk density and porosity.

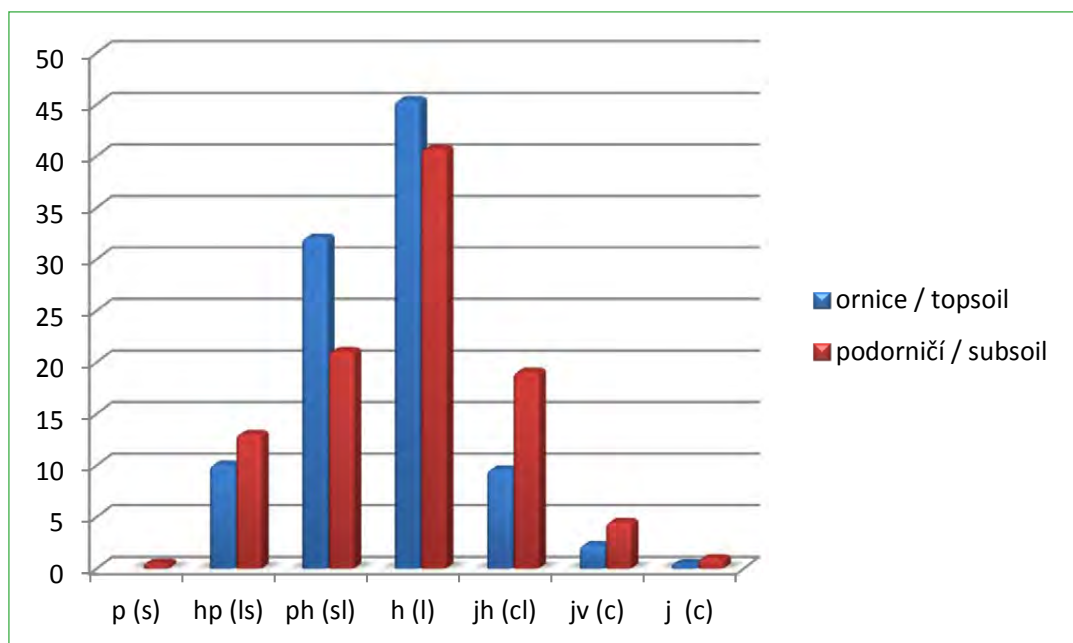
Obrázek 23. Procentické zastoupení jednotlivých skupin půd podle zrnitostního složení v ČR a na plochách BMP

Figure 23. Percentage of individual soil types according the grain size composition in the Czech Republic and in BSMS plots



Obrázek 24. Procentické zastoupení jednotlivých půdních druhů na plochách BMP

Figure 24. Percentage of individual soil types in BSMS plots



půda: p – písčité (sandy soil), hp – hlinitopísčité (loamy sand soil), ph – písčitohlinité (sandy loam soil), h – hlinité (loamy soil), jh – jílovitohlinité (clayey loam soil), jv – jílovité (clayey soil), j – jílo (clay)

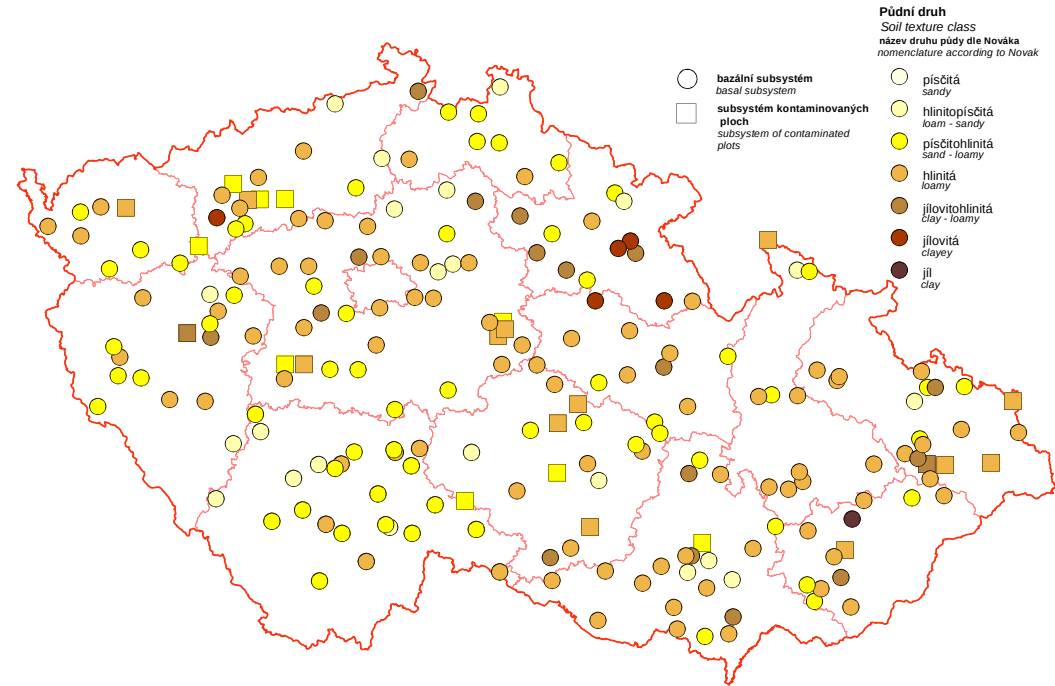
Tabulka 4. Deskriptivní statistika obsahu částic menších než 0,01 mm v půdách BMP (%).

Table 4. Descriptive statistics of the content of particles smaller than 0.01 mm in BSMS soils (%).

Kultura / Cultures	Horizont / Horizon	Průměr / Mean	Min.	Max.	0.25 perc.	Medián / Median	0.75 perc.
Orná půda / Arable land	Ornice / Topsoil	33,80	15,65	78,10	26,51	32,68	39,08
	Podorničí / Subsoil	37,42	4,30	75,45	27,95	36,85	45,78
TTP / Permanent grassland	Ornice / Topsoil	30,40	16,00	61,10	22,59	28,80	36,56
	Podorničí / Subsoil	32,60	10,85	67,60	21,83	29,90	40,23
Sady / Orchards	Ornice / Topsoil	33,09	23,95	39,75	27,08	32,20	39,55
	Podorničí / Subsoil	36,32	29,95	46,05	31,60	34,80	41,80
Vinice / Vineyards	Ornice / Topsoil	31,16	15,00	46,60	17,89	31,58	44,16
	Podorničí / Subsoil	29,98	19,00	41,90	20,11	29,50	40,31
Chmelnice / Hop gardens	Ornice / Topsoil	31,14	27,15	38,90	27,80	28,45	35,83
	Podorničí / Subsoil	35,04	26,70	39,50	28,70	39,15	39,33

Obrázek 25. Zastoupení a rozložení půdních druhů na plochách BMP v ornici (svrchní vrstvě půdy)

Figure 25. Distribution and amounts of individual soil types in BSMS plots in the topsoil (the upper part of the soil)



Obrázek 26. Ke stanovení zrnitostního složení půdy se používá několik různých metod. Pipetovací metoda na obrázku patří mezi přesné způsoby zjištění zrnitosti půdního vzorku

Figure 26. Several different methods are used for determination of the grain size composition of soils. Pipette method belongs among the most accurate test methods for the grain-size analysis



3.3.3 Objemová hmotnost redukována (OHR) a pórovitost

Objemová hmotnost redukována se používá k vyjádření stupně nakypření nebo utužení půdy. Stanovuje se z neporušených vzorků jako hmotnost půdy po vysušení na konstantní hmotnost. Obecně platí, že čím je hodnota objemové hmotnosti vyšší, tím je půda ulehlejší. Pro polní plodiny by se měla hodnota objemové hmotnosti v ornici pohybovat od 1,2 do 1,5 g.cm⁻³, ve spodních vrstvách od 1,6 do 1,8 g.cm⁻³. Objemová hmotnost půdy kolem 1,8 g.cm⁻³ je hranicí biologické činnosti a objemová hmotnost 2,0 g.cm⁻³ charakterizuje půdu bez života.

Zhutňování je problémem především nesprávného zemědělského využívání. V České republice je nadměrným zhutněním v různém stupni postiženo zhruba 45 % zemědělského půdního fondu, z toho u 15 % je zhutnění genetické, dané přirozenými vlastnostmi těžkých půd a zbývající podíl připadá na zhutnění technogenní v důsledku nevhodného způsobu strojního obdělávání půdy (Javůrek, 2008).

Pórovitost půdy je charakterizována celkovým objemem pórů, jejich tvarem, velikostí a prostorovým rozmístěním. Vyjadřuje poměr mezi pevnou fází a volnými půdními částicemi, případně jejich shluky. Má rozhodující vliv na úrodnost půdy, protože umožňuje pronikání kořenů rostlin, vody a vzduchu do půdy a jejich pohyb v ní a existenci půdních mikroorganismů. Pórovitost se vyjadřuje v objemových procentech (objem pórů v určitém objemu půdy), v ornicích kolísá v rozsahu hodnot asi 40–60 % a s rostoucí hloubkou zpravidla klesá. Podle vnitřního průměru pórů rozlišujeme póry na kapilární (< 0,2 mm) a nekapilární (> 0,2 mm). Pro vodní a vzdušný režim půdy je důležitý zejména vzájemný poměr kapilárních a nekapilárních pórů, který je také dobrým ukazatelem ulehlosti a kyprosti půdy.

OHR a pórovitost mohou být jedním z orientačních kritérií pro posuzování strukturního stavu půdy a ulehlosti půdy jak uvádí např. Kutílek (1978) (Tabulka 5, Obrázek 27–30) a Lhotský a kol. (1984) (Tabulka 6, Obrázek 31 a 32), přičemž platí, že obě charakteristiky jsou částečně v nepřímé úměrnosti.

3.3.3 Reduced bulk density (RBD) and porosity

The reduced bulk density is used for determining the degree of soil loosening or compaction. It is determined from undisturbed samples as the weight of dry soil divided by the total soil volume. In principal, bulk density increases with soil compaction. Optimum bulk density for field-grown plants ranges from 1.2 to 1.5 g.cm⁻³ in the topsoil and 1.6 to 1.8 g.cm⁻³ in the subsoil. The critical value of bulk density for restricting biological activity is around 1.8 g.cm⁻³; bulk density exceeding 2.0 g.cm⁻³ indicates a lifeless soil.

Soil compaction is a problem, particularly caused by poor agricultural use. In the Czech Republic, approximately 45% of rural land holdings are to differing degrees endangered by excessive soil compaction, of these up to 15% by soil compaction of genetic nature, determined by natural properties of heavy soils; the remaining percentage accounts for technogenic soil compaction resulting from inappropriate mechanized tillage (Javůrek, 2008).

Soil porosity is determined by pore volume, shape, size, and spatial arrangement. It expresses the ratio of the solid phase to loose soil particles, eventually their clusters. Soil porosity plays a crucial part in soil fertility as it enables plant roots, water and air to penetrate and move in the soil and allows for the life

of microorganisms. It is expressed in percent of volume (the ratio of the pore volume to total soil volume); porosity of topsoil varies within the range of about 40% to 60% and usually decreases with increasing depth. According to the inner diameter, the soil pore sizes can be classified into capillary (< 0.2 mm) and non-capillary (> 0.2 mm) pores. The ratio of capillary to non-capillary pores is particularly important for water and air regimen and is also a good indicator of the degree of soil loosening or compaction.

RBD and porosity may be one of the criteria for assessing the soil condition and compaction, as mentioned by e.g. Kutílek (1978) (Table 5, Figures 27–30) and by Lhotský et al. (1984) (Table 6, Figures 31 and 32), the principle being that both characteristics are partly in inverse proportion.

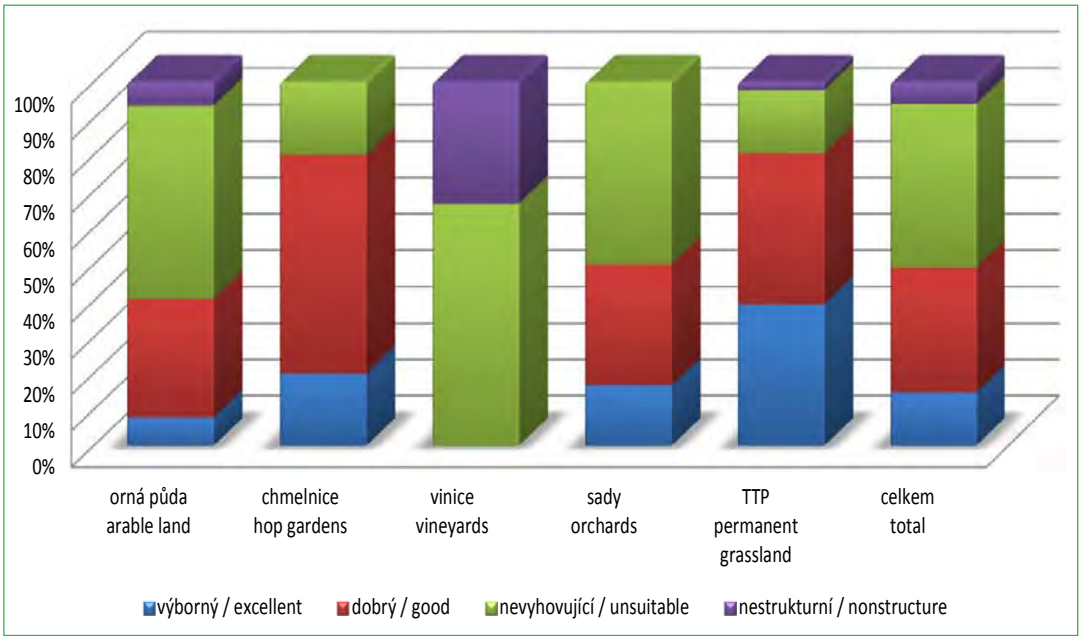
Tabulka 5. Zhodnocení strukturního stavu půdy organominerálních horizontů na pozorovacích plochách BMP v závislosti na objemové hmotnosti redukováne pórovitosti podle Kutíleka (1978).

Table 5. Evaluation of the texture of organo-mineral soils in BSMS plots in relation to reduced bulk density and porosity according to Kutílek (1978).

Kritérium / Criterion		Počet záznamů / Records number	Stav horizontu / Horizons condition	Hodnoty splňující limit / Value meeting the limit	
Název / Name	Limit / Limit			Počet / Number	[%]
Objemová hmotnost redukována / Bulk density [g.cm ⁻³]	< 1,2	218	Výborný / Excellent	32	15
	1,2–1,4		Dobrý / Good	75	34
	1,4–1,6		Nevyhovující / Unsuitable	98	45
	1,6–1,8		Nestrukturní / Nonstructure	13	6
Pórovitost / Porosity [%]	> 54	218	Výborný / Excellent	34	16
	46–54		Dobrý / Good	95	44
	39–46		Nevyhovující / Unsuitable	75	34
	31–39		Nestrukturní / Nonstructure	14	6

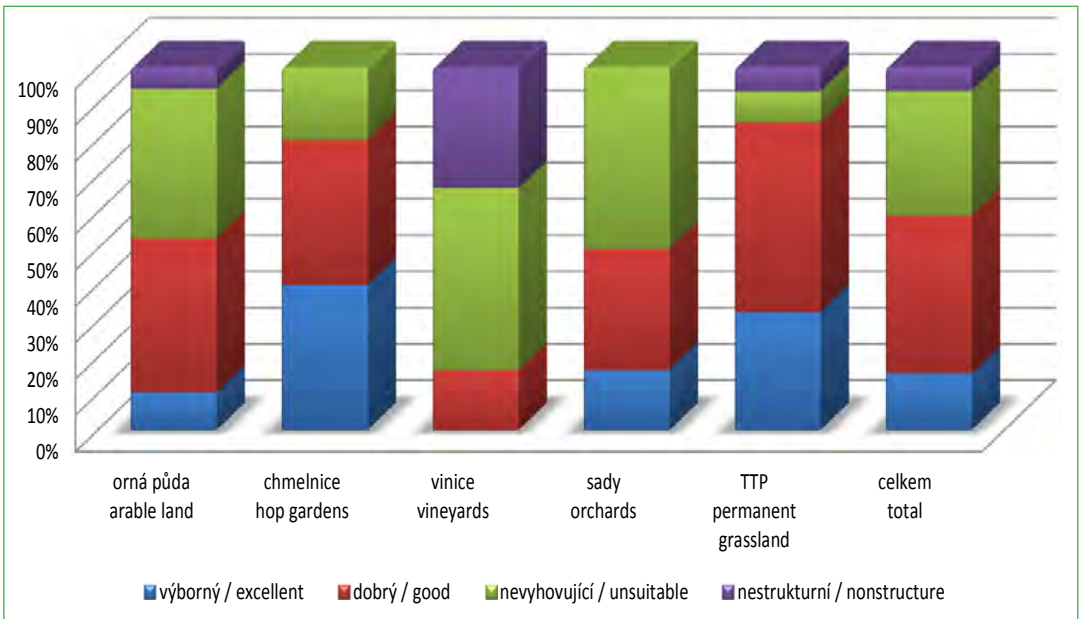
Obrázek 27. Procentické vyjádření strukturního stavu půdy organominerálních horizontů (ornice) pozorovacích ploch BMP podle kultury a objemové hmotnosti redukované

Figure 27. Percentage of the texture of organo-mineral soils (topsoil) in BSMS plots according to culture and reduced bulk density



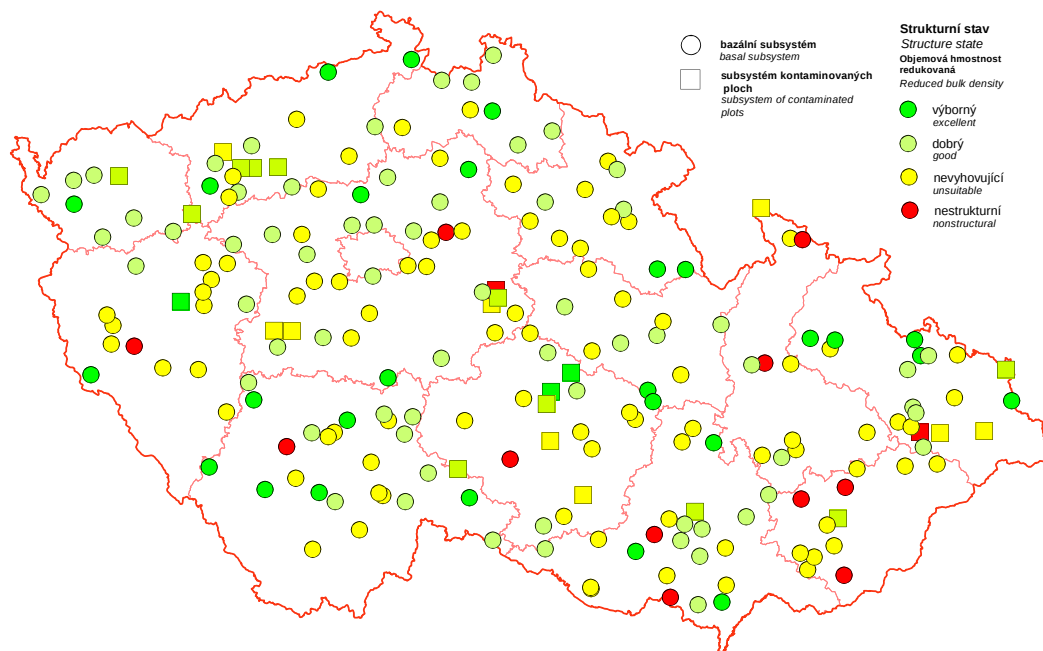
Obrázek 28. Procentické vyjádření strukturního stavu půdy organominerálních horizontů (ornice) pozorovacích ploch BMP podle kultury a pórovitosti

Figure 28. Percentage of the texture of organo-mineral soils (topsoil) in BSMS plots according to culture and porosity



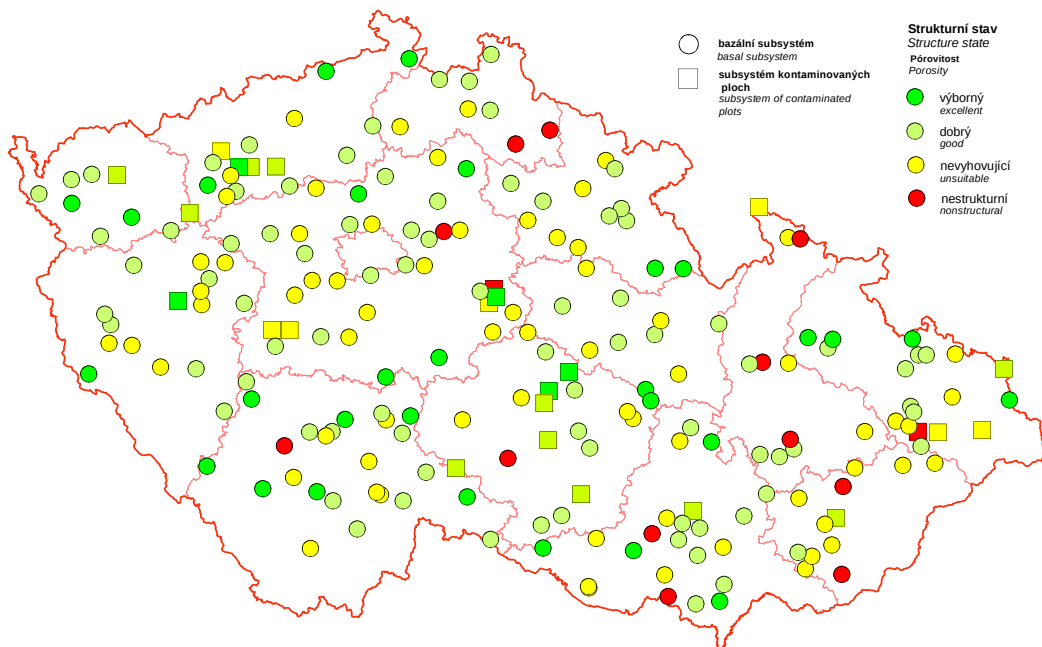
Obrázek 29. Hodnocení strukturního stavu ornice na plochách BMP na základě objemové hmotnosti redukované

Figure 29. Evaluation of the topsoil texture in BSMS plots according to reduced bulk density



Obrázek 30. Hodnocení strukturního stavu ornice na plochách BMP na základě pórovitosti

Figure 30. Evaluation of the topsoil texture in BSMS plots according to porosity



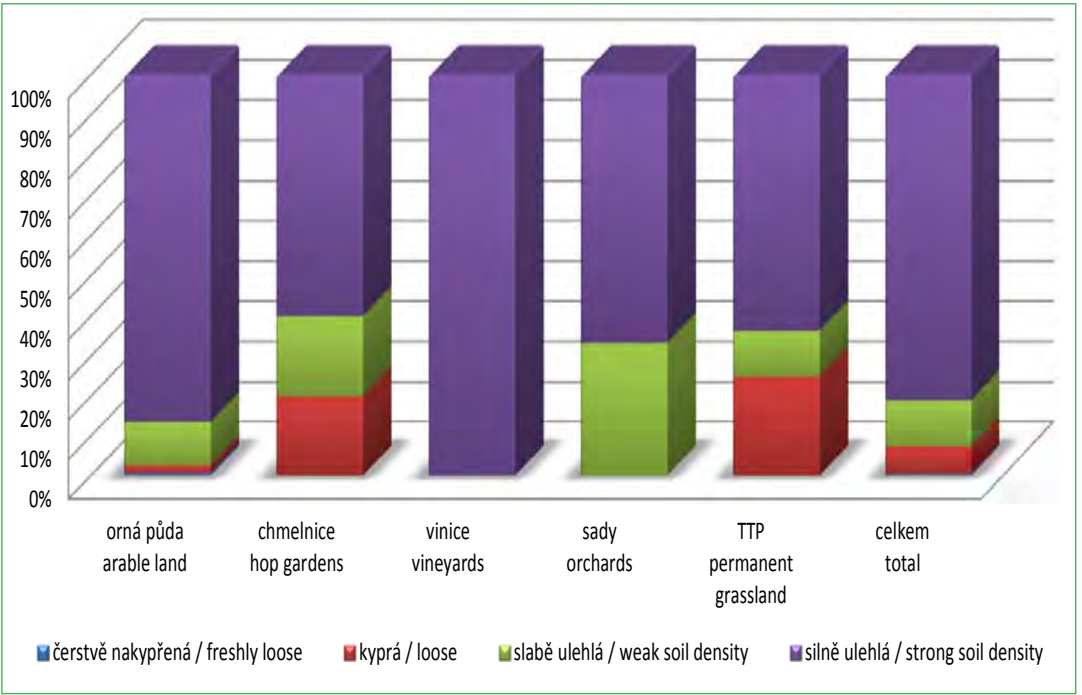
Tabulka 6. Zhodnocení ulehlosti půdy na pozorovacích plochách BMP v závislosti na objemové hmotnosti redukováné podle Lhotského (1984).

Table 6. Evaluation of soil density in BSM plots depending on reduced bulk density according to Lhotský (1984).

Horizont / Horizon	Kritérium / Criterion		Počet záznamů / Records number	Kategorie / Classification	Hodnoty splňující limit / Value meeting the limit	
	Název / Term	Limit / Limit			Počet / Number	[%]
Ornice / Topsoil	Objemová hmotnost redukovávaná / Bulk density [g.cm ⁻³]	< 0,95	218	Čerstvě nakypřená / Freshly loose	5	2
		0,95–1,15		Kyprá / Loose	15	7
		1,15–1,25		Slabě ulehlá / Weak soil density	24	11
		> 1,25		Silně ulehlá / Strong soil density	174	80
Podorničí / Subsoil	Objemová hmotnost redukovávaná / Bulk density [g.cm ⁻³]	< 1,20	214	Velmi kypré / Highly loose	3	1
		1,20–1,35		Slabě ulehlé / Weak soil density	22	10
		1,35–1,45		Ulehlé / Medium soil density	43	20
		> 1,45		Silně ulehlé / Strong soil density	122	57

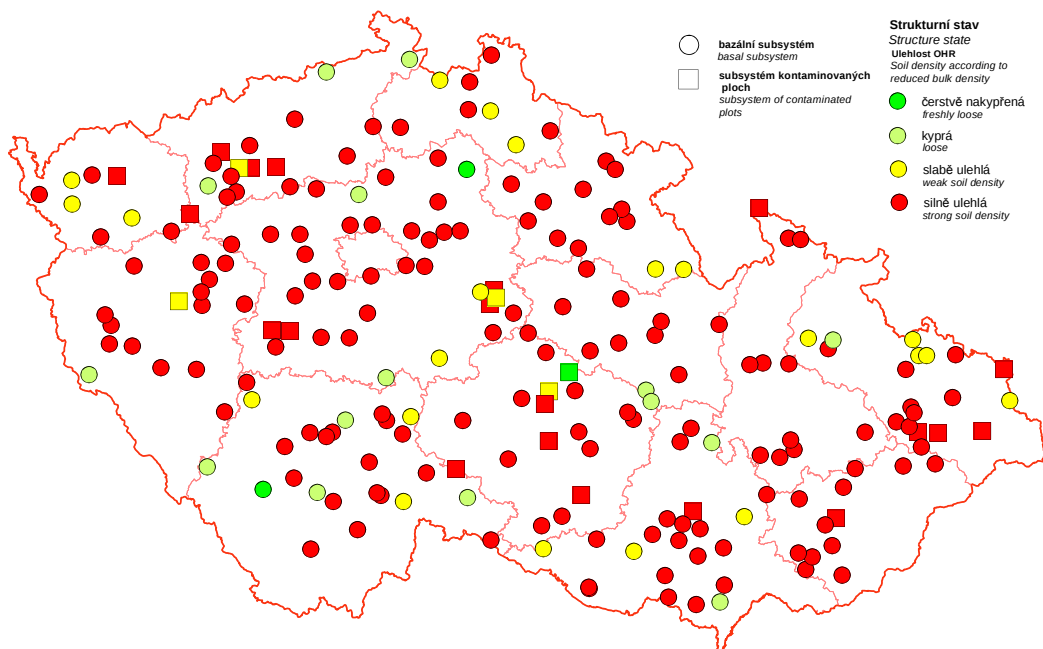
Obrázek 31. Procentické vyjádření ulehlosti půdy organominerálních horizontů (ornice) pozorovacích ploch BMP podle kultury v závislosti na OHR

Figure 31. Percentage of density of organo-mineral soils (topsoil) in BSMS plots according to culture depending on RBD



Obrázek 32. Hodnocení ulehlosti půdy na plochách BMP v závislosti na objemové hmotnosti redukované

Figure 32. Evaluation of soil density in BSMS plots depending on reduced bulk density



4 Půdní reakce a obsah živin

Lenka Prášková

Půdní reakce (pH) neboli kyselost půdy je důležitým ukazatelem stavu půdního prostředí a je jednou z nejvýznamnějších vlastností podílejících se na úrodnosti půdy a příjmu živin. Reakce půdy usměrňuje téměř všechny procesy v půdě od prvopočátečních zvětrávacích a půdotvorných až po chemické, fyzikálně-chemické a biologické procesy v již vytvořených půdách. Jedná se hlavně o koncentraci a zastoupení iontů v půdním roztoku, rozpustnost sloučenin a látek v půdě, sorpci živin, biologickou činnost mikroorganismů nebo půdní koloidy. Půdní pH tak nepřímo vytváří vhodné či nevhodné životní podmínky pro růst rostlin a následně ovlivňuje množství a kvalitu produkce (Vaněk et al., 2012). Půdní reakce patří i mezi ukazatele degradace půdy. V našich podmínkách hrozí zejména nebezpečí acidifikace – okyselování (Vopravil et al., 2010).

Jednotlivé druhy zemědělských plodin mají rozdílné požadavky na pH. Obecně lze shrnout, že polní plodiny bramborářské a horské výrobní oblasti a trvalé travní porosty vyžadují pH kyseléjší, zatímco plodiny řepařské a kukuřičné výrobní oblasti spíše pH neutrální. U zelenin převládá pH neutrální až zásadité (Richter et Hlušek, 1999). Podle Vaňka et al. (2012) je pro růst a výživu rostlin podle půdních podmínek vhodné pH nejčastěji v rozsahu 6,0–6,5.

Celkové množství **fosforu (P)** v půdě kolísá v rozpětí 0,01–0,15 %. Fosfor je obsažen v minerálních a organických formách. Vyšší obsah P vykazují většinou půdy s vyšším obsahem organické hmoty, zatímco půdy lehké s malým obsahem organické hmoty mají obsah P nízký. Převážná část celkového P v půdách je pro rostliny nepřijatelná a slouží jako potenciální zdroj P.

U většiny půd činí celkový obsah **draslíku (K)** 0,5–3,2 %. Draslík se nachází v půdě především v anorganických sloučeninách. V organických molekulách je obsažen zřídka. V půdě lze K (podobně i Ca a Mg) rozlišit na tři kategorie. Nevýměnný K, výměnný a vodorozpustný. Nevýměnný K se nachází ve strukturách primárních minerálů a v mezivrstvách sekundárních jílových minerálů. Primární minerály obsahující draslík tvoří hlavní potenciální zdroj K v půdě. Výměnný draslík je kation K^+ , který je vázán na půdní sorpční komplex a může být „vyměněn“ jiným kationtem. Při hodnocení zastoupení K v sorpční kapacitě je třeba mít na zřeteli relace k ostatním kationtům, hlavně Mg, který by měl mít asi tři krát vyšší zastoupení než K.

Půdy obsahují v průměru 0,4–0,6 % **hořčíku (Mg)**; na dolomitech až 10 %. Významnými sloučeninami obsahujícími Mg jsou uhličitany. Poměrně vysoká rozpustnost a slabší sorpce Mg^{2+} ovlivňuje snadnější vertikální pohyb, a tím jeho ztráty z ornice. V některých půdách proto může být vyšší obsah Mg ve spodních horizontech než v ornici. V sumě kationtů v sorpčním komplexu by měl Mg zaujímat postavení hned za Ca, a to 10–15 % KVK (kationtové výměnné kapacity). Rozhodující je i vztah k dalším kationtům, především ke K. Poměr v ekvivalentním zastoupení Mg : K by měl být 3 : 1, nejméně 2 : 1.

Dostatek **vápníku (Ca)** v půdě má velký význam z hlediska chemických, fyzikálních i biologických procesů (eliminace iontů H^+ , Al^{3+} , Mn^{2+} , koagulace koloidů, syčení sorpčního komplexu, výskyt i aktivita mikroorganismů, aj.). Jeho celkový

obsah se může pohybovat v širokém rozmezí od 0,15 % na kyselých písčitých půdách v humidních oblastech až do 10 % i více na půdách karbonátových. Převážná část Ca v půdách se nachází v těžko rozpustných sloučeninách. Vápník je převažujícím kationtem v půdním roztoku.

Obsahy přístupných živin a výměnného pH v půdě jsou tříděny do kategorií zásobenosti půd podle kritérií uvedených ve vyhlášce č. 275/1998 Sb. v aktuálním znění (P, K, Mg) a v Pracovních postupech ÚKZÚZ pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2011 až 2016 (Ca).

4 Soil reaction and nutrient content

Lenka Prášková

Soil reaction (pH) or soil acidity is an important indicator of conditions of soil environment and is one of the most significant characteristics involved in soil fertility and nutrient intake. The soil reaction directs almost all processes in the soil from primal weathering and soil-forming to chemical, physicochemical and biological processes in soils already existing. This includes the abundance of ions in the soil solution, solubility of compounds and substances in the soil, sorption of nutrients, biological activity of microorganisms or soil colloids. Thus, soil pH indirectly creates suitable or unsuitable living conditions for plant growth and consequently affects the quantity and quality of production (Vaněk et al., 2012). Moreover, soil reactions are included among indicators of soil degradation. Particularly in our conditions, there is a risk of acidification (Vopravil et al., 2010).

Individual types of crops have different pH requirements. The overall conclusion is that field crops in potato and mountain production areas and permanent grassland require a more acidic pH, while crops in sugar beet and corn production areas require rather a neutral pH. Neutral or alkaline pH prevails in vegetables (Richter et Hlušek, 1999). According to Vaněk et al. (2012), a pH range from 6.0 to 6.5 is most often suitable for growth and nutrition of plants regarding soil conditions.

The total content of **phosphorus (P)** in the soil ranges from 0.01 to 0.15%. Phosphorus occurs in mineral and organic forms. Higher P content is usually present in the soils with higher organic matter levels, while light soils with low organic matter levels show low P content. Most of the total P content in soils is unacceptable for plants and serves as a potential source of P.

For most soils, the total content of **potassium (K)** ranges from 0.5 to 3.2%. Potassium is present in the soil mainly in inorganic compounds; rarely occurring in organic molecules. There are three categories of K found in the soil (similarly to Ca and Mg): non-exchangeable, exchangeable and water-soluble K. Non-removable K occurs in the structures of primary minerals and in the interlayers of secondary clay minerals. Primary minerals containing K constitute a major potential source of K in the soil. Exchangeable K is the cation K^+ which is bound to the soil sorption complex and can „exchange“ with other cation. In assessing K content in sorption capacity, consideration should be given to relations to other cations, particularly Mg which should be about three times higher than K.

Soils contain 0.4–0.6% of **magnesium (Mg)** on average; dolomites may contain up to 10% of Mg. Important compounds containing Mg are carbonates. The relatively high solubility and weaker sorption of Mg^{2+} have an influence on easier vertical movement and thereby its loss from the topsoil. Thus, some soils may present higher Mg content in lower horizons than in the topsoil. With 10–15% of CEC (cation-exchange capacity), Mg should occupy a position behind Ca in terms of the sum of cations in the sorption complex. Relations to other cations, particularly to K, are crucial as well. The equivalent representation ratio of Mg to K should be 3:1, or 2:1 at least.

Sufficient content of **calcium (Ca)** in the soil is of great importance in terms of chemical, physical and biological processes (elimination of H^+ , Al^{3+} , Mn^{2+} ions, coagulation of colloids, saturation of sorption complex, occurrence and activity of microorganisms, etc.). The total Ca content may range widely between 0.15% in acid sandy soils in humid areas and 10% and over in more calcareous soils. Most of Ca in the soil occurs in poorly soluble compounds. Calcium is the most abundant cation in the soil solution.

The contents of available nutrients and exchange pH in the soil are placed in categories of soil nutrient supply based on the criteria referred to in the Ministry of Agriculture Decree No. 275/1998, as amended (P, K, Mg), and in ÚKZÚZ work practices on agrochemical testing of agricultural soils in the Czech Republic 2011–2016 (Ca).

4.1 Výměnná půdní reakce (pH/CaCl₂)

V průběhu trvání BMP došlo k poklesu průměrných hodnot výměnného pH. Změny jsou statisticky velmi významné. Ke snížení pH došlo ve všech kulturách, největší změna byla zaznamenána u TTP (pokles výměnného pH o 0,6). U orných půd a sadů kleslo výměnné pH o 0,3, u vinic o 0,4 a u chmelnic o 0,5.

Nejvíce zastoupenou kategorií půdní kyselosti ve všech sledovaných cyklech byla kategorie „slabě kyselá“. Tato kategorie zaujímala v roce 1995 42 % a její procento zastoupení postupně narůstalo na 51 % v roce 2013. Naopak u druhé nejobsáhlejší kategorie – „neutrální“ – se procento zastoupení snižovalo (34 % v roce 1995 až 20 % v roce 2013).

4.1 Exchangeable soil reaction (pH/CaCl₂)

During basal soil monitoring (hereinafter BSMS) the average values of exchangeable pH decreased. The changes are statistically significant. The pH decreased in all cultures, the biggest change was recorded in permanent grassland (exchangeable pH decreased by 0.6). Exchangeable pH in arable land and orchards decreased by 0.3, in vineyards by 0.4 and in hop gardens by 0.5.

The most frequent soil acidity category in all observed cycles was the “weakly acidic” category. In 1995 this category constituted 42% and its percentage representation increased steadily to 51% by 2013. In contrast, the percentage of the second most frequent “neutral” category decreased (from 34% in 1995 to 20% in 2013).

Tabulka 6. Kritéria pro hodnocení výměnné půdní reakce (pH)

Table 6. Criteria for assessing exchangeable soil reaction (pH)

Kategorie půdní reakce / Category of soil reaction	Hodnota pH / pH value
Extrémně kyselá / Extremely acidic	< 4,5
Silně kyselá / Strongly acidic	4,6–5,0
Kyselá / Acidic	5,1–5,5
Slabě kyselá / Weakly acidic	5,6–6,5
Neutrální / Neutral	6,6–7,2
Alkalická / Alkaline	7,3–7,7
Silně alkalická / Strongly alkaline	> 7,7

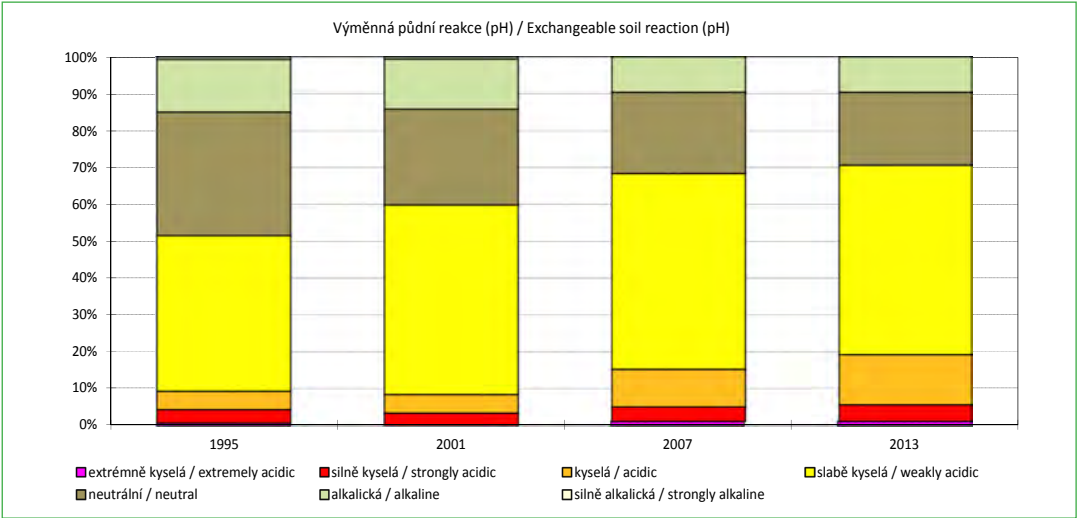
Tabulka 7. Deskriptivní statistika výměnné půdní reakce (pH) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (ornice)

Table 7. Descriptive statistics of exchangeable soil reaction (pH) in the BSMS plots in individual sampling cycles (topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	6,5	4,7	7,7	5,7	6,0	6,5	7,0	7,3
	2001	142	6,4	4,8	7,8	5,6	6,0	6,4	6,9	7,3
	2007	142	6,3	4,7	7,7	5,5	5,9	6,3	6,8	7,2
	2013	142	6,2	4,7	7,5	5,3	5,7	6,1	6,7	7,2
TTP / Permanent grassland	1995	21	6,1	4,1	7,2	4,7	5,7	6,5	6,8	7,0
	2001	21	6,0	4,6	7,5	4,9	5,6	6,2	6,4	6,6
	2007	21	5,7	4,2	7,3	4,9	5,3	5,7	6,0	6,2
	2013	21	5,5	4,2	7,3	4,8	5,4	5,5	5,8	5,9
Sady / Orchards	1995	5	6,7	5,6	7,6	5,6	6,5	6,8	7,0	7,6
	2001	5	6,6	6,3	7,5	6,3	6,3	6,5	6,5	7,5
	2007	5	6,4	5,4	7,5	5,4	6,3	6,4	6,5	7,5
	2013	5	6,4	5,7	7,4	5,7	5,9	6,5	6,5	7,4
Vinice / Vineyards	1995	4	7,7	7,5	7,8	7,5	7,6	7,7	7,8	7,8
	2001	4	7,5	7,3	7,7	7,3	7,4	7,4	7,6	7,7
	2007	4	7,4	7,2	7,7	7,2	7,3	7,4	7,6	7,7
	2013	4	7,3	7,1	7,6	7,1	7,2	7,3	7,5	7,6
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	7,4	7,3	7,5	7,3	7,3	7,3	7,5	7,5
	2001	5	7,0	5,8	7,6	5,8	6,6	7,4	7,6	7,6
	2007	5	7,1	6,8	7,4	6,8	6,9	7,1	7,3	7,4
	2013	5	6,9	6,4	7,3	6,4	6,9	6,9	7,1	7,3

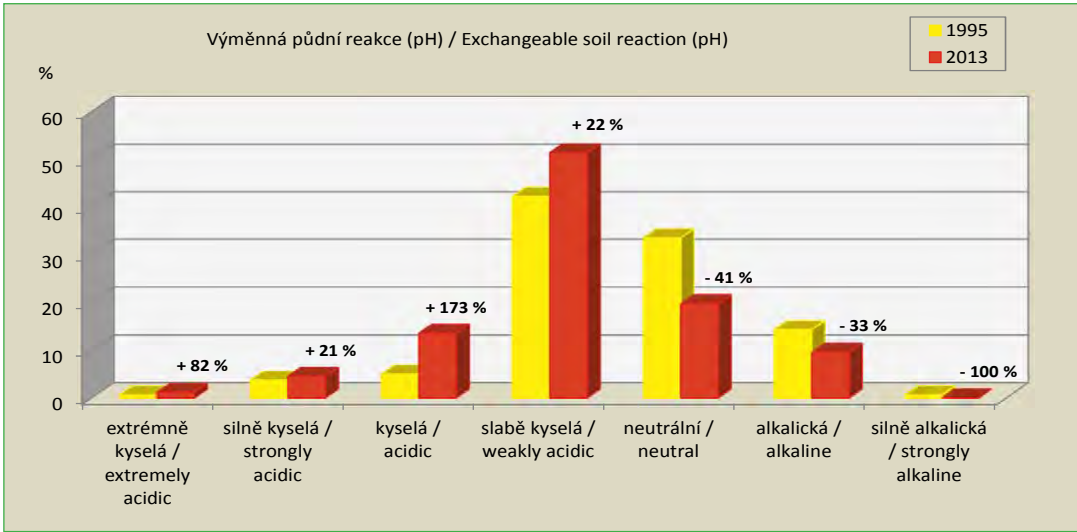
Obrázek 33. Procentické zastoupení ploch BMP v odběrových cyklech v jednotlivých kategoriích výměnné půdní reakce (pH)

Figure 33. Representative percentage of the BSMS plots in sampling cycles in individual categories of exchangeable soil reaction (pH)



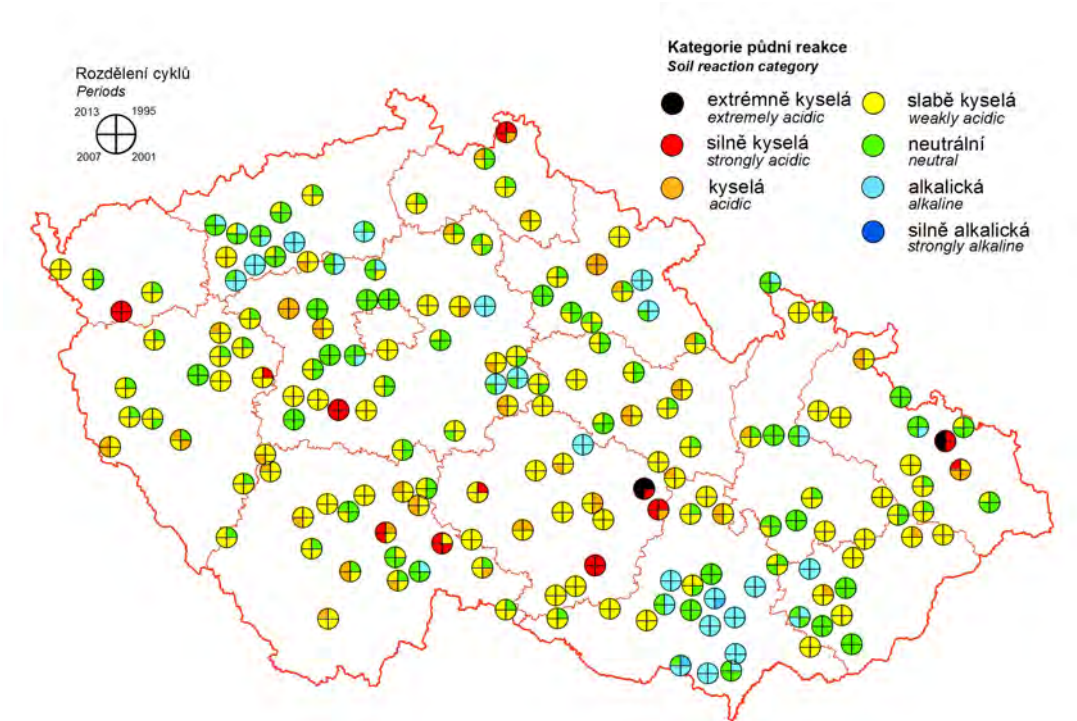
Obrázek 34. Změny procentického zastoupení výměnné půdní reakce (pH) v půdě v jednotlivých kategoriích mezi 1. a 4. odběrovým cyklem na plochách BMP

Figure 34. Changes of representative percentage of exchangeable soil reaction (pH) in the soil in individual categories between the first and the fourth sampling cycle in the BSMS plots



Obrázek 35. Výměnná půdní reakce (pH) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií půdní reakce)

Figure 35. Exchangeable soil reaction (pH) in the BSMS plots in individual sampling cycles (according to soil reaction categories)



4.2 Fosfor (P)

Průměrný obsah přístupného P se v orničním horizontu zemědělských půd BMP mezi prvním a čtvrtým cyklem mírně snížil. K největšímu snížení došlo u sadů (pokles o 39 mg.kg⁻¹) a u vinic (o 31 mg.kg⁻¹).

Nejvíce zastoupenými kategoriemi obsahu přístupného P ve všech sledovaných letech byly kategorie „vyhovující“ a „dobrý“, přičemž kategorie „vyhovující“ postupně narůstala a kategorie „dobrý“ se zmenšovala. Tyto kategorie zaujímaly 26 % a 35 % („vyhovující“ rok 1995 a 2013) a 27 % a 18 % („dobrý“ rok 1995 a 2013). Kategorie „nízký“ měla podobný trend jako kategorie „vyhovující“; její procento zastoupení postupně narůstalo.

4.2 Phosphorus (P)

The average available P content in the topsoil horizon of BSMS agricultural soils decreased slightly between the first and the fourth cycle. The most significant decrease occurred in orchards (decrease by 39 mg.kg⁻¹) and in vineyards (decrease by 31 mg.kg⁻¹).

The most frequent categories of available P content in all observed years were the categories “suitable” and “good”, with the first continuously increasing and the latter decreasing. These categories held 26% and 35% (“suitable” in 1995 and 2013) and 27% and 18% (“good” in 1995 and 2013). The category “low” followed a similar trend to that of the category “suitable”; its percentage representation continuously increased.

Tabulka 8. Vybraná kritéria pro hodnocení obsahu přístupného fosforu (P) v půdě (Mehlich III, mg.kg⁻¹, ornice)

Table 8. Selected criteria for assessing available phosphorus (P) content in the soil (Mehlich III, mg.kg⁻¹, topsoil)

Kategorie obsahu přístupného fosforu / Category of available phosphorus content	Orná půda / Arable land	TTP / Permanent grassland
Nízký / Low	< 50	< 25
Vyhovující / Suitable	51 – 80	26 – 50
Dobrý / Good	81 – 115	51 – 90
Vysoký / High	116 – 185	91 – 150
Velmi vysoký / Very high	> 185	> 150

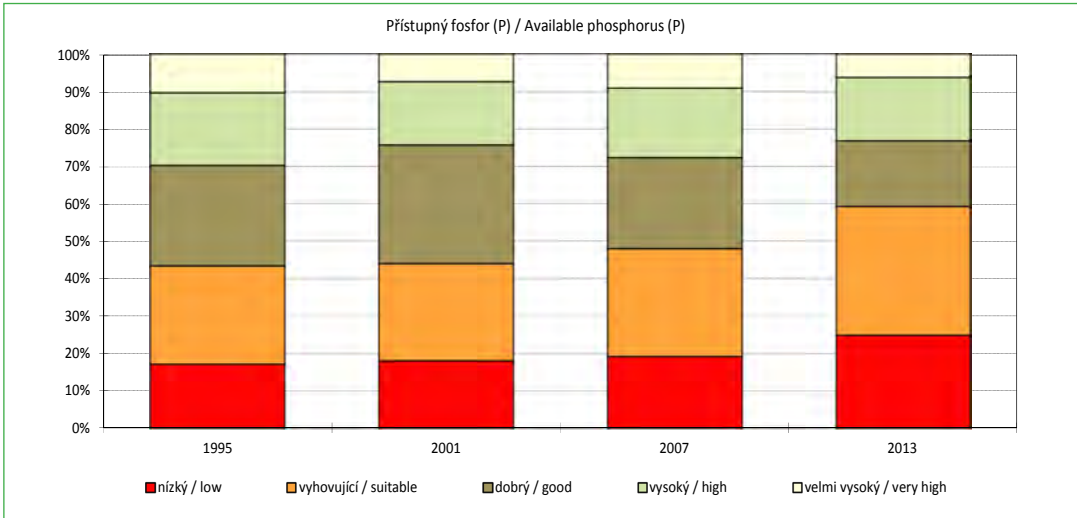
Tabulka 9. Deskriptivní statistika obsahu přístupného fosforu (P) v půdě na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Mehlich III; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 9. Descriptive statistics of available phosphorus (P) content in the soil in the BSMS plots in individual sampling cycles (Mehlich III, mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	105	14	553	40	60	91	128	187
	2001	142	100	19	411	41	58	92	125	182
	2007	142	100	16	510	39	56	82	127	180
	2013	142	89	16	444	31	50	71	117	154
TTP / Permanent grassland	1995	21	69	13	297	20	33	48	91	104
	2001	21	51	9	201	12	25	42	64	77
	2007	21	58	7	255	21	28	48	64	82
	2013	21	55	6	270	15	23	46	53	85
Sady / Orchards	1995	5	139	85	199	85	112	120	180	199
	2001	5	137	93	192	93	105	141	152	192
	2007	5	124	66	176	66	82	128	167	176
	2013	5	100	65	152	65	90	94	97	152
Vinice / Vineyards	1995	4	110	86	127	86	97	113	123	127
	2001	4	131	94	160	94	113	136	150	160
	2007	4	93	62	110	62	78	101	109	110
	2013	4	79	32	122	32	53	81	105	122
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	419	119	1063	119	212	287	415	1063
	2001	5	262	151	374	151	223	272	290	374
	2007	5	484	101	1178	101	172	432	538	1178
	2013	5	429	154	1049	154	160	226	554	1049

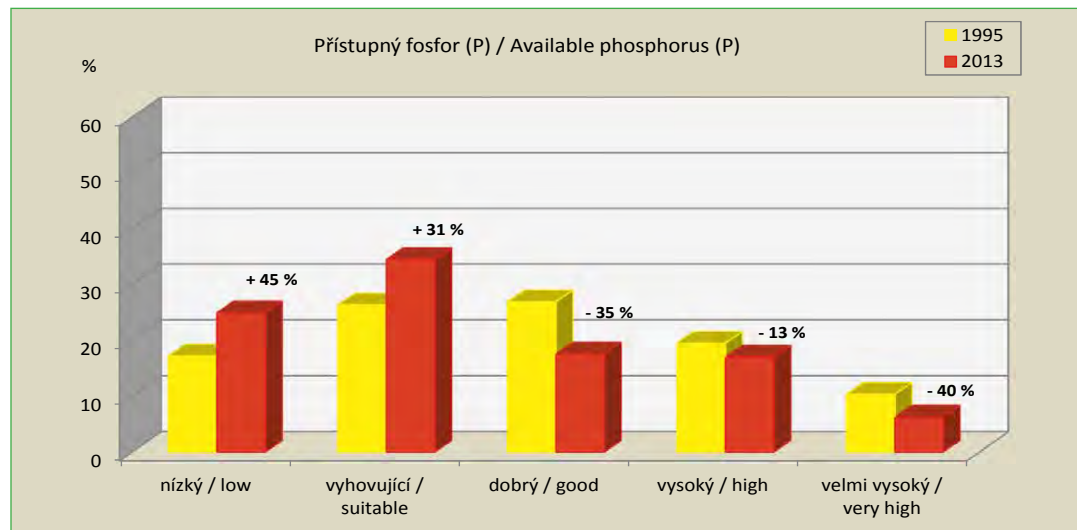
Obrázek 36. Procentické zastoupení ploch BMP v odběrových cyklech v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného fosforu (P)

Figure 36. Representative percentage of the BSMS plots in sampling cycles in individual categories of available phosphorus (P) content



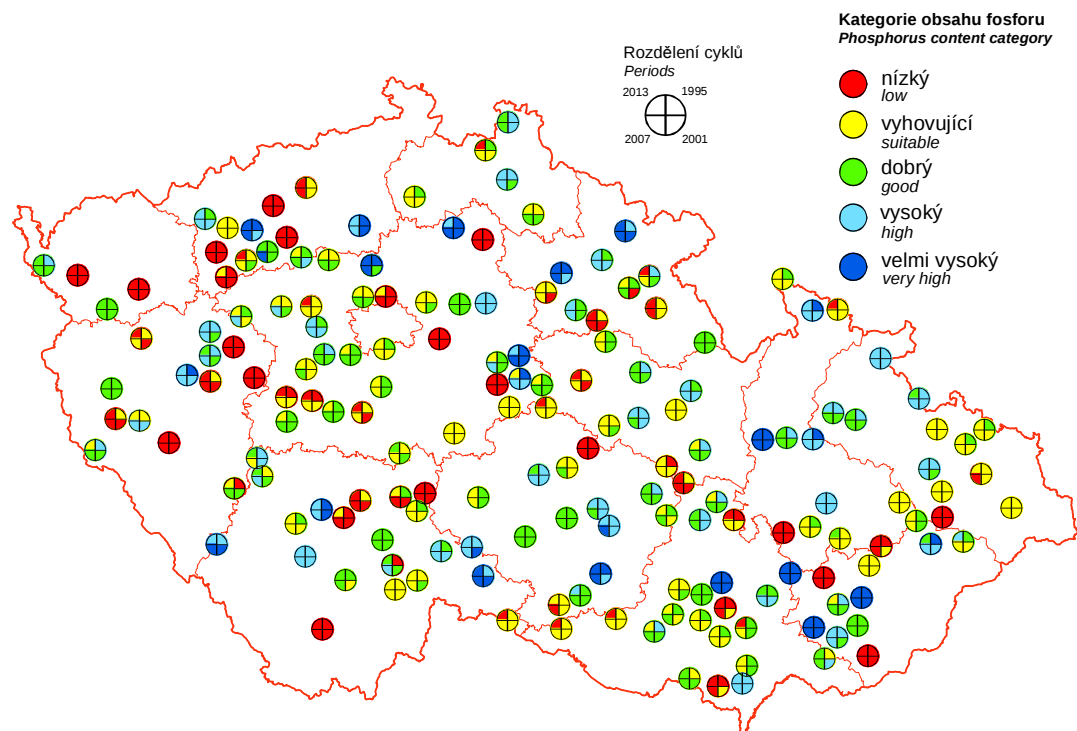
Obrázek 37. Změny procentického zastoupení obsahu přístupného fosforu (P) v půdě v jednotlivých kategoriích mezi 1. a 4. odběrovým cyklem na plochách BMP

Figure 37. Changes of representative percentage of available phosphorus (P) content in the soil in individual categories between the first and the fourth sampling cycle in the BSMS plots



Obrázek 38. Obsah přístupného fosforu (P) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného fosforu)

Figure 38. Available phosphorus (P) content in the BSMS plots in individual sampling cycles (according to categories of available phosphorus content)



4.3 Draslík (K)

Průměrný obsah přístupného K se v orničním horizontu zemědělských půd BMP v sledovaných 4 cyklech mírně snížil. K největšímu úbytku došlo u chmelnic (o 126 mg.kg⁻¹); ostatní kultury vykázaly navzájem si podobný pokles (v řádu desítek mg.kg⁻¹).

Nejvíce zastoupenou kategorií obsahu přístupného K v letech 1995, 2001 a 2007 byla jednoznačně kategorie „dobrý“. V roce 2013 však byla zastoupena pouze 37 % a podíl kategorie „vyhovující“ vzrostl na 43 %.

4.3 Potassium (K)

The average available K content in the topsoil horizon of BSMS agricultural lands decreased slightly in four monitored cycles. The most significant decrease occurred in hop gardens (decrease by 126 mg.kg⁻¹); other cultures showed a similar decline (amounting to tens of mg.kg⁻¹).

The most frequent category of available potassium content in 1995, 2001 and 2007 was clearly the category “good”. However, its percentage representation in 2013 was only 37% and the percentage of the category “suitable” increased to 43%.

Tabulka 10. Vybraná kritéria hodnocení obsahu přístupného draslíku (K) v půdě (Mehlich III, mg.kg⁻¹, ornice)

Table 10. Selected criteria for assessing available potassium (K) content in the soil (Mehlich III, mg.kg⁻¹, topsoil)

Kategorie obsahu přístupného draslíku / Category of available potassium content	Orná půda / Arable land			TTP / Permanent grassland		
	Druh půdy / Soil texture classes			Druh půdy / Soil texture classes		
	Lehká / Light soil	Střední / Medium heavy soil	Těžká / Heavy soil	Lehká / Light soil	Střední / Medium heavy soil	Těžká / Heavy soil
Nízký / Low	< 100	< 105	< 170	< 70	< 80	< 110
Vyhovující / Suitable	101 – 160	106 – 170	171 – 260	71 – 150	81 – 160	111 – 210
Dobrý / Good	161 – 275	171 – 310	261 – 350	151 – 240	161 – 250	211 – 300
Vysoký / High	276 – 380	311 – 420	351 – 510	241 – 350	251 – 400	301 – 470
Velmi vysoký / Very high	> 380	> 420	> 510	> 350	> 400	> 470

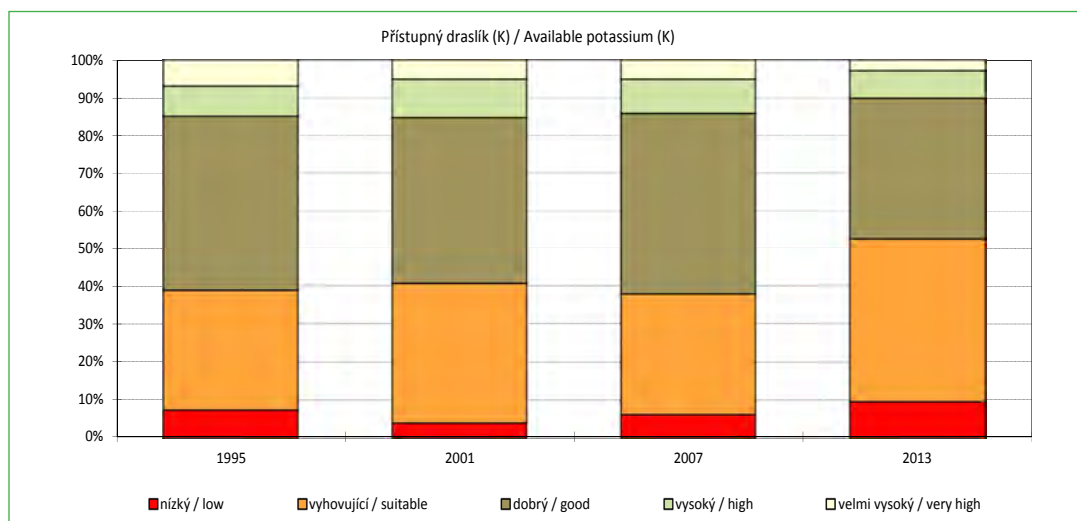
Tabulka 11. Deskriptivní statistika obsahu přístupného draslíku (K) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Mehlich III; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 11. Descriptive statistics of available potassium (K) content in the soil in the BSMS plots in individual sampling cycles (Mehlich III, mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	227	75	834	124	156	204	266	360
	2001	142	220	80	779	124	153	203	265	322
	2007	142	225	75	722	120	156	216	260	340
	2013	142	196	68	555	109	138	177	239	313
TTP / Permanent grassland	1995	21	148	41	539	67	81	125	140	284
	2001	21	161	68	509	73	101	120	157	259
	2007	21	149	61	554	91	95	119	155	217
	2013	21	128	46	468	74	83	94	130	212
Sady / Orchards	1995	5	271	233	315	233	248	256	305	315
	2001	5	288	234	328	234	245	306	325	328
	2007	5	279	237	333	237	252	260	313	333
	2013	5	232	188	286	188	220	233	234	286
Vinice / Vineyards	1995	4	266	223	315	223	227	264	306	315
	2001	4	310	195	366	195	261	339	359	366
	2007	4	281	194	322	194	247	304	315	322
	2013	4	234	126	337	126	175	237	294	337
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	691	309	1193	309	499	689	766	1193
	2001	5	599	349	796	349	429	687	734	796
	2007	5	741	276	1202	276	535	759	933	1202
	2013	5	565	300	1018	300	382	466	658	1018

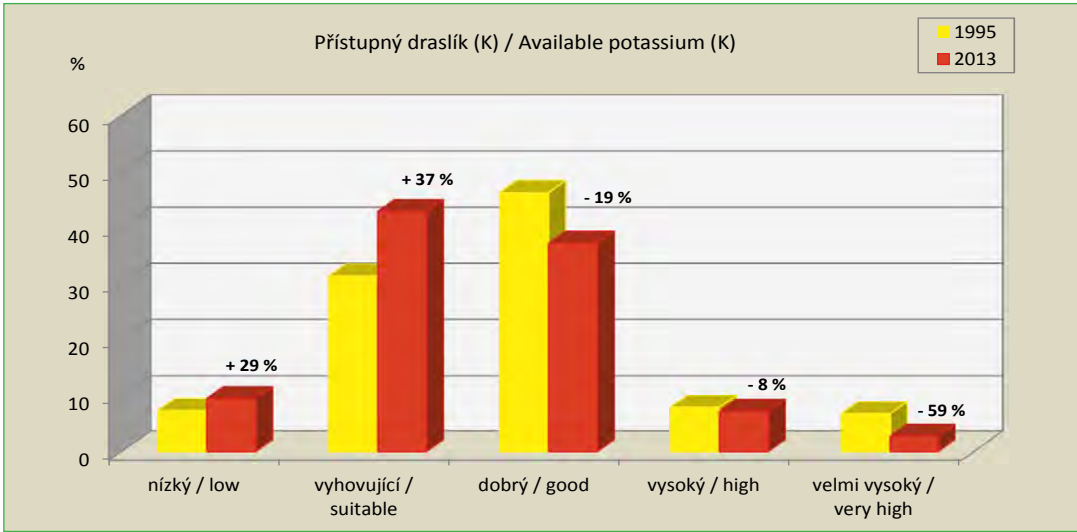
Obrázek 39. Procentické zastoupení ploch BMP v odběrových cyklech v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného draslíku (K)

Figure 39. Representative percentage of the BSMS plots in sampling cycles in individual categories of available potassium (K) content



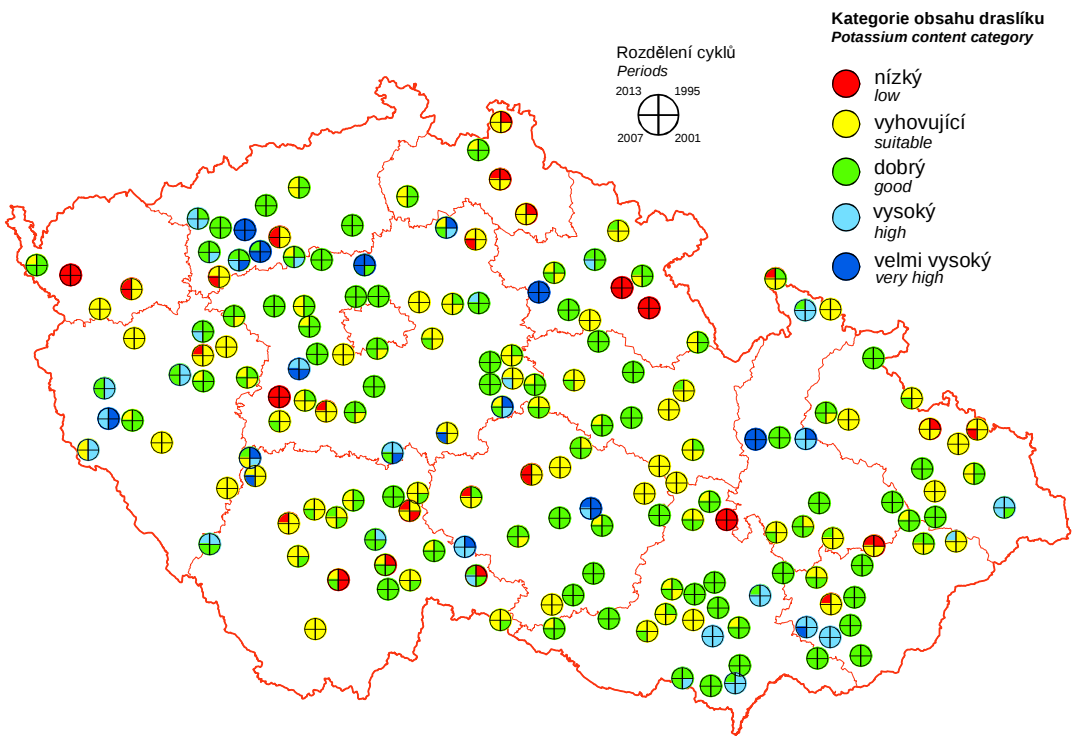
Obrázek 40. Změny procentického zastoupení obsahu přístupného draslíku (K) v půdě v jednotlivých kategoriích mezi 1. a 4. odběrovým cyklem na plochách BMP

Figure 40. Changes of representative percentage of available potassium (K) content in the soil in individual categories between the first and the fourth sampling cycle in the BSMS plots



Obrázek 41. Obsah přístupného draslíku (K) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného draslíku)

Figure 41. Available potassium (K) content in the BSMS plots in individual sampling cycles (according to categories of available potassium content)



4.4 Horčík (Mg)

Průměrný obsah přístupného Mg v zemědělských půdách BMP v sledovaných 18 letech kolísal. Mezi rokem 1995 a 2013 klesl jeho obsah v orničním horizontu o 7 mg.kg^{-1} . K poklesu došlo v orničním i podorničním horizontu u orné půdy a TTP (v řádu jednotek a desítek mg.kg^{-1}) a u sadů (pouze v ornici). U vinic a chmelnic naopak došlo k mírnému nárůstu obsahu Mg.

Nejvíce zastoupenou kategorií obsahu přístupného Mg v letech 1995, 2001 a 2007 byla jednoznačně kategorie „dobrý“, která zaujímala v jednotlivých letech 34 %, 35 % a 36 %. V roce 2013 se této kategorii téměř vyrovnala kategorie „vyhovující“ (32 %). Kategorie „dobrý“ zaujímala v roce 2013 34 %.

4.4 Magnesium (Mg)

The average available Mg content in the BSMS agricultural lands fluctuated over the 18 years. Between 1995 and 2013 its levels in the topsoil horizon decreased by 7 mg.kg^{-1} . The decrease occurred in the topsoil and subsoil horizon in arable soil and permanent grassland (in the range of the unit values and tens of mg.kg^{-1}) and in orchards (only in the topsoil). However, the Mg content increased slightly in vineyards and hop gardens.

The most frequent category of available Mg content in BSMS agricultural lands in 1995, 2001 and 2007 was clearly the category “good”, showing 34%, 35% and 36% in individual years. In 2013 this category was almost equalled by the category “suitable” (32%). The category “good” was recorded as 34% in 2013.

Tabulka 12. Vybraná kritéria pro hodnocení obsahu přístupného hořčíku (Mg) v půdě (Mehlich III, mg.kg^{-1} , ornice)

Table 12. Selected criteria for assessing available magnesium (Mg) content in the soil (Mehlich III, mg.kg^{-1} , topsoil)

Kategorie obsahu přístupného draslíku / Category of available potassium content	Orná půda / Arable land			TTP / Permanent grassland		
	Druh půdy / Soil texture classes			Druh půdy / Soil texture classes		
	Lehká / Light soil	Střední / Medium heavy soil	Těžká / Heavy soil	Lehká / Light soil	Střední / Medium heavy soil	Těžká / Heavy soil
Nízký / Low	< 80	< 105	< 120	< 60	< 85	< 120
Vyhovující / Suitable	81 – 135	106 – 160	121 – 220	61 – 90	86 – 130	121 – 170
Dobrý / Good	136 – 200	161 – 265	221 – 330	91 – 145	131 – 170	171 – 230
Vysoký / High	201 – 285	266 – 330	331 – 460	146 – 220	171 – 245	231 – 310
Velmi vysoký / Very high	> 285	> 330	> 460	> 220	> 245	> 310

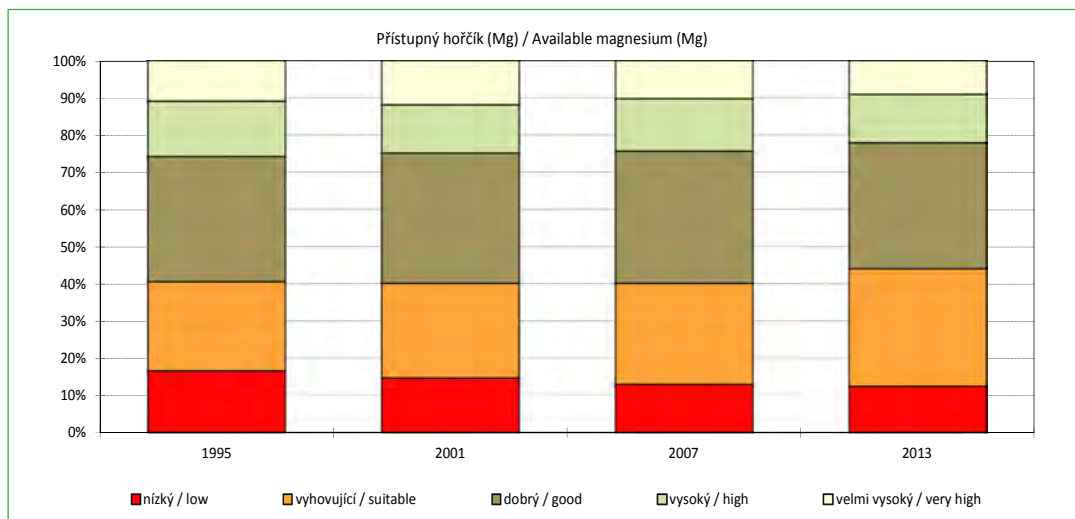
Tabulka 13. Deskriptivní statistika obsahu přístupného hořčíku (Mg) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Mehlich III; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 13. Descriptive statistics of available magnesium (Mg) content in the soil in the BSMS plots in individual sampling cycles (Mehlich III, mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	194	50	1160	87	118	173	239	311
	2001	142	196	51	1081	85	122	171	242	313
	2007	142	192	44	1013	94	123	168	236	304
	2013	142	184	49	992	94	120	158	221	285
TTP / Permanent grassland	1995	21	239	46	444	119	172	231	283	428
	2001	21	253	75	572	138	165	232	300	399
	2007	21	233	76	477	118	162	212	280	365
	2013	21	232	89	496	138	168	208	294	319
Sady / Orchards	1995	5	197	31	312	31	160	229	255	312
	2001	5	237	169	321	169	169	228	300	321
	2007	5	231	152	345	152	167	221	271	345
	2013	5	223	134	329	134	154	232	267	329
Vinice / Vineyards	1995	4	261	147	357	147	167	271	356	357
	2001	4	266	163	361	163	177	269	354	361
	2007	4	277	139	471	139	155	248	398	471
	2013	4	277	149	453	149	170	253	384	453
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	346	251	474	251	261	362	380	474
	2001	5	372	239	517	239	327	367	411	517
	2007	5	429	288	550	288	296	503	509	550
	2013	5	387	242	536	242	284	409	464	536

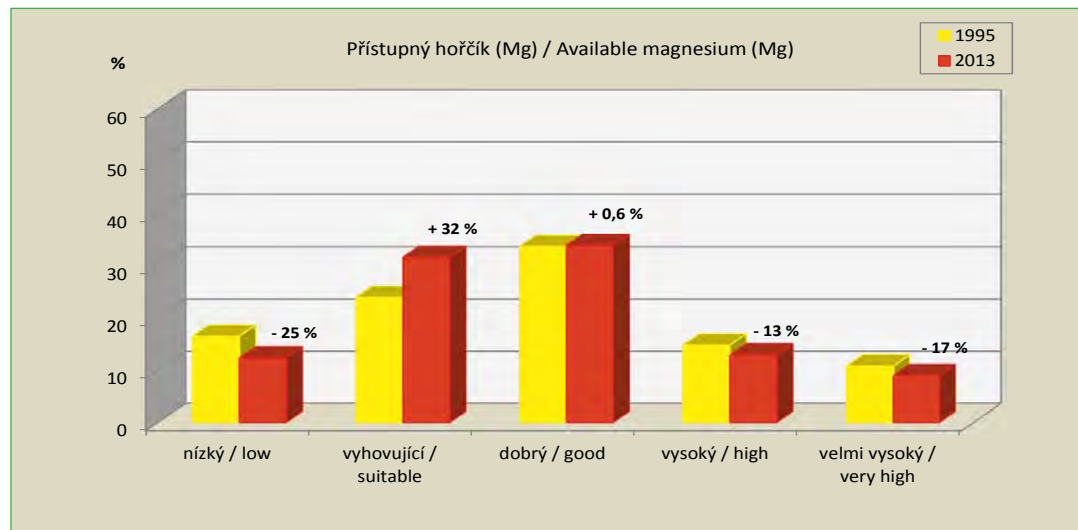
Obrázek 42. Procentické zastoupení ploch BMP v odběrových cyklech v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného hořčíku (Mg)

Figure 42. Representative percentage of the BSMS plots in sampling cycles in individual categories of available magnesium (Mg) content



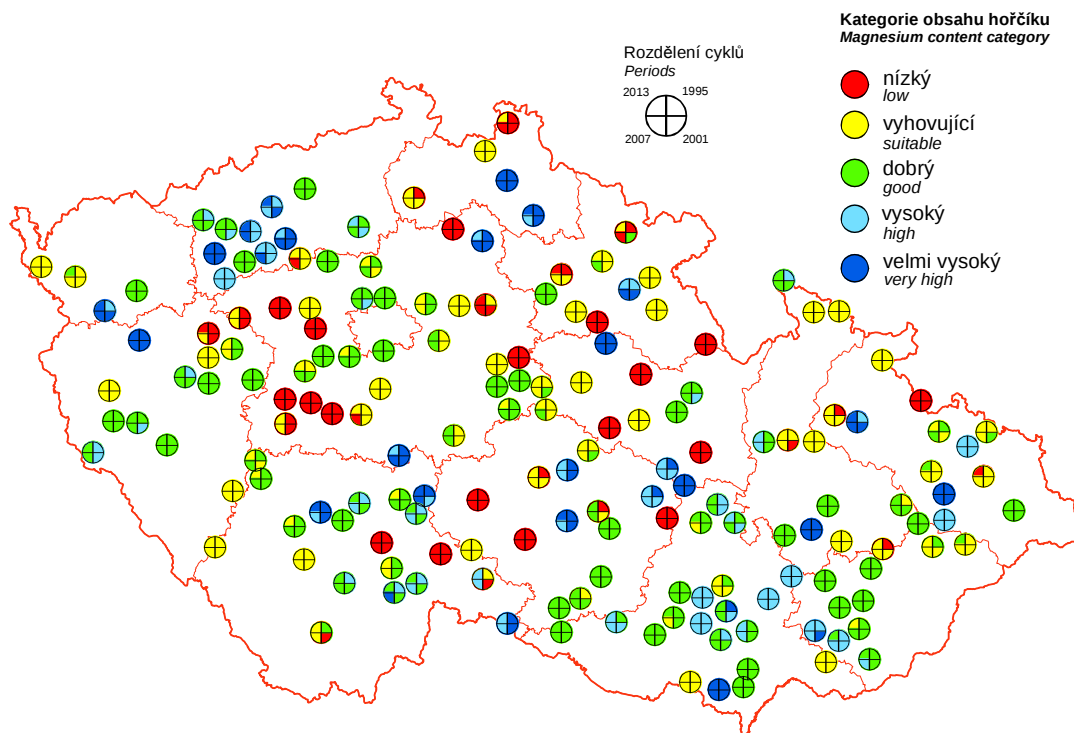
Obrázek 43. Změny procentického zastoupení obsahu přístupného hořčíku (Mg) v půdě v jednotlivých kategoriích mezi 1. a 4. odběrovým cyklem na plochách BMP

Figure 43. Changes of representative percentage of available magnesium (Mg) content in the soil in individual categories between the first and the fourth sampling cycle in the BSMS plots



Obrázek 44. Obsah přístupného hořčíku (Mg) na plochách BMP v odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného hořčíku)

Figure 44. Available magnesium (Mg) content in the BSMS plots in individual sampling cycles (according to categories of available magnesium content)



4.5 Vápník (Ca)

Při porovnání roku odběru 1995 a 2013 (1. a 4. cyklus) klesl průměrný obsah přístupného Ca v orničním horizontu půd BMP o 540 mg.kg⁻¹. Ke snížení došlo u orné půdy, TTP a chmelnic. Zvýšení nastalo u sadů a vinic.

Nejvíce zastoupenou kategorií obsahu přístupného Ca v letech 1995, 2001 a 2007 byla jednoznačně kategorie obsahu „dobrý“ (stejně jako v případě přístupného K a Mg). Kategorie „dobrý“ zaujímala v jednotlivých letech 35 %, 36 % a 37 %. V roce 2013 tuto kategorii předstihla kategorie „vyhovující“, když dosáhla 36 %. Kategorie „dobrý“ zaujímala v roce 2013 33 %.

4.5 Calcium (Ca)

In comparing the sampling years 1995 and 2013 (the first and the fourth cycle), the average available Ca content in the topsoil horizon of BSMS lands decreased by 540 mg.kg⁻¹. The decrease occurred in the arable land, permanent grassland and hop gardens. An increase was shown in orchards and vineyards.

The most frequent category of available Ca content in 1995, 2001 and 2007 was clearly the category “good” (as in the case of available K and Mg). The category “good” showed 35%, 36% and 37% in individual years. In 2013 this category was outstripped by the category “suitable” which reached 36%. The category “good” showed 33% in 2013.

Tabulka 14. Kritéria pro hodnocení přístupného vápníku (Ca) v půdě (Mehlich III, mg.kg⁻¹, ornice)

Table 14. Criteria for assessing available calcium (Ca) content in the soil (Mehlich III, mg.kg⁻¹, topsoil)

Kategorie obsahu přístupného vápníku / Category of available calcium content	Druh půdy / Soil texture classes		
	Lehká / Light soil	Střední / Medium heavy soil	Těžká / Heavy soil
Nízký / Low	< 1000	< 1100	< 1700
Vyhovující / Suitable	1001 – 1800	1101 – 2000	1701 – 3000
Dobrý / Good	1801 – 2800	2001 – 3300	3001 – 4200
Vysoký / High	2801 – 3700	3301 – 5400	4201 – 6600
Velmi vysoký / Very high	> 3700	> 5400	> 6600

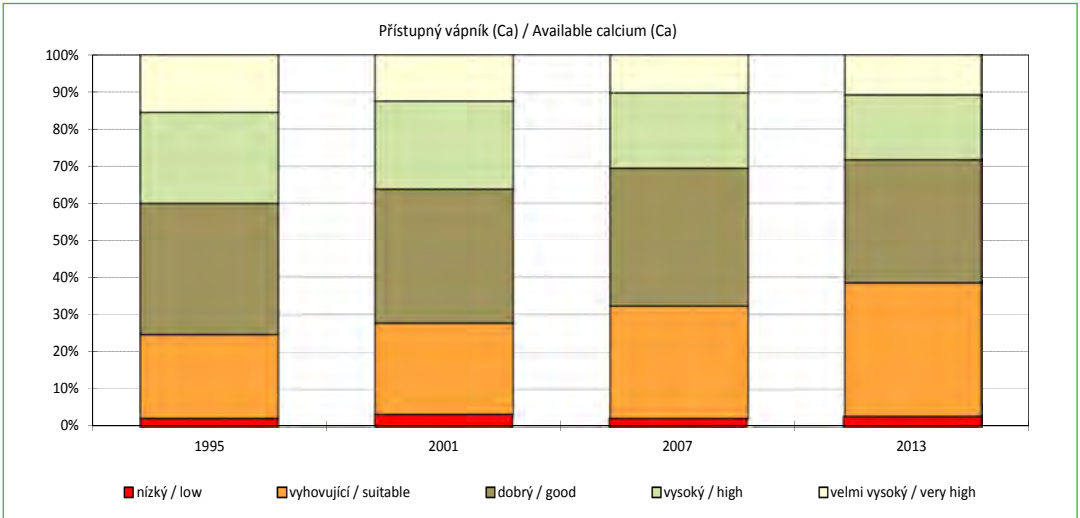
Tabulka 15. Deskriptivní statistika obsahu přístupného vápníku (Ca) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Mehlich III; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 15. Descriptive statistics of available calcium (Ca) content in the soil in the BSMS plots in individual sampling cycles (Mehlich III, mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	3413	920	13050	1627	1975	2593	4063	6209
	2001	142	3162	791	10715	1488	1880	2507	3605	5835
	2007	142	2943	743	11073	1465	1745	2273	3478	5503
	2013	142	2834	760	11225	1303	1660	2238	3335	5425
TTP / Permanent grassland	1995	21	3508	1235	9683	1818	2138	2803	4175	6118
	2001	21	3599	1608	13200	1698	1983	3190	4210	5180
	2007	21	3066	1355	11023	1543	1868	2513	3570	5330
	2013	21	2868	1323	9328	1555	1618	2160	3598	5028
Sady / Orchards	1995	5	3560	348	7945	348	2248	3400	3860	7945
	2001	5	3983	2550	7890	2550	2783	3128	3563	7890
	2007	5	3745	2230	7860	2230	2363	2955	3315	7860
	2013	5	3686	2188	7223	2188	2258	3150	3610	7223
Vinice / Vineyards	1995	4	8539	3643	17775	3643	4243	6369	12835	17775
	2001	4	8656	3470	19975	3470	4220	5590	13093	19975
	2007	4	9662	3100	25075	3100	3380	5237	15944	25075
	2013	4	10220	2768	27125	2768	3881	5493	16559	27125
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	6102	4073	6853	4073	6255	6478	6850	6853
	2001	5	4624	2445	6443	2445	3478	5348	5408	6443
	2007	5	4866	4320	5215	4320	4635	4980	5180	5215
	2013	5	4743	3080	5348	3080	4990	5143	5153	5348

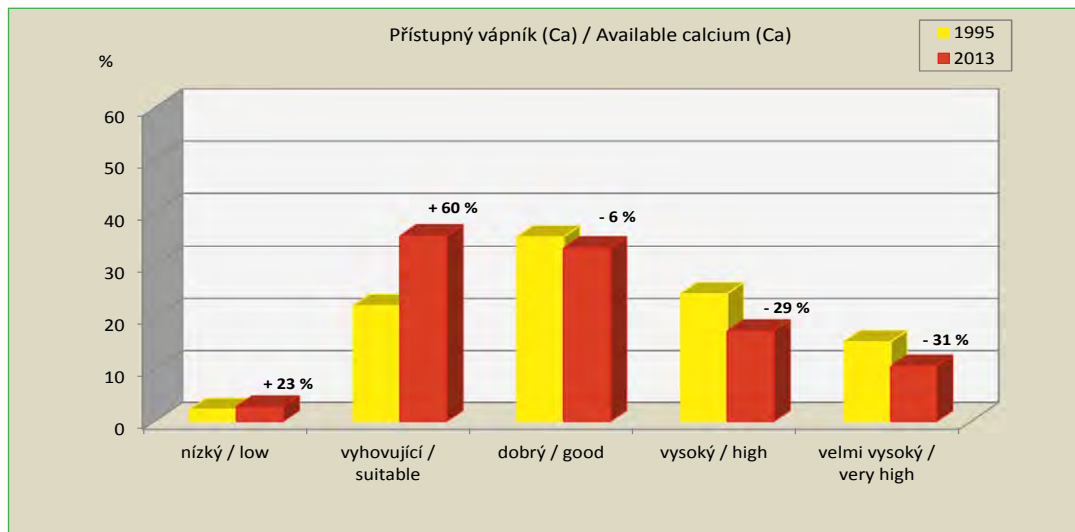
Obrázek 45. Procentické zastoupení ploch BMP v odběrových cyklech v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného vápníku (Ca)

Figure 45. Representative percentage of the BSMS plots in sampling cycles in individual categories of available calcium (Ca) content



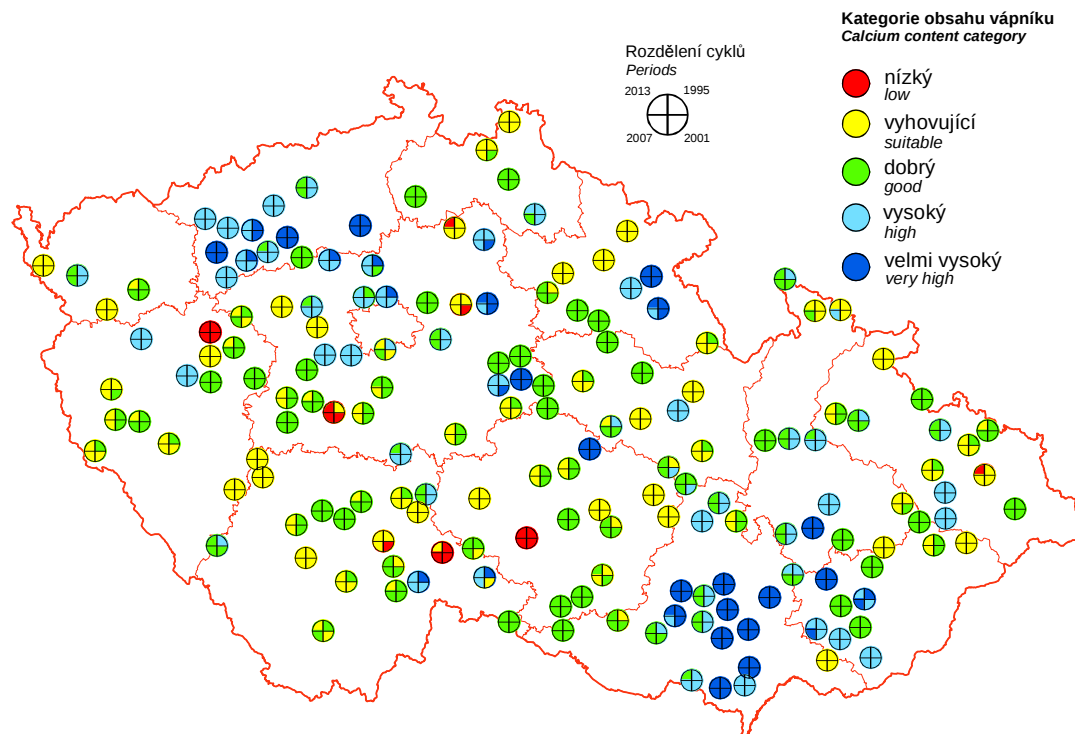
Obrázek 46. Změny procentického zastoupení obsahu přístupného vápníku (Ca) v půdě v jednotlivých kategoriích mezi 1. a 4. odběrovým cyklem na plochách BMP

Figure 46. Changes of representative percentage of available calcium (Ca) content in the soil in individual categories between the first and the fourth sampling cycle in the BSMS plots



Obrázek 47. Obsah přístupného vápníku (Ca) na monitorovacích plochách BMP v odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného vápníku)

Figure 47. Available calcium (Ca) content in the BSMS plots in individual sampling cycles (according to categories of available calcium content)



5 Přístupné mikroelementy

Lenka Prášková

Intenzivní zemědělská výroba vede k vysokým hektarovým výnosům. Vysoké hektarové výnosy odčerpávají z půdy kromě většího množství makroelementů, také odpovídající množství mikroelementů (stopových prvků), které jsou rovněž biogenními prvky nezbytnými pro existenci rostlin a je tedy třeba sledovat jejich obsah v půdě. Zvýšené nebezpečí pasivní půdní bilance mikroelementů vzniká na půdách s chudší přirozenou zásobou určitého prvku, na půdách se zhoršenými podmínkami pro jeho přijetí a také u trvalých kultur, kde se stanoviště trvale jednostranně ochuzuje o určitý prvek, který je pro plodinu specifický. Naopak na druhou stranu je možný i jejich zvýšený obsah v půdě, který představuje možné nebezpečí škodlivosti až toxicity pro vyšší živočichy i rostliny. Pro zvířata i člověka je toxický hlavně Mo a Cu. Obecně v kyselejších prostředí se zvyšuje rozpustnost a tím i přijatelnost Fe, Mn, Zn, Cu a B a naopak se snižuje přijatelnost Mo.

Mikroelementy se v půdě nacházejí v různých formách a jejich obsah i dynamiku ovlivňuje řada faktorů. Jsou to jednak faktory statické jako je matečná hornina, klimatické podmínky, roční období, geomorfologie terénu apod., a jednak faktory dynamické jako je obsah a kvalita humusu, půdní reakce, zrnitost, propustnost, sorpční kapacita, mikrobiální aktivita, redoxpotenciál, celkový chemismus apod. (Beneš, 1994).

V půdách a rostlinách je **bór (B)** přítomen jako trojmocný. Nedostatek B se často vyskytuje v půdách převápněných a přehnojených draslíkem (Beneš, 1994). Bór je dobře přijatelný do hodnoty pH 6,3 a se zvyšující se hodnotou se přijatelnost snižuje (Vaněk et al., 2012). Náročné na B jsou cukrovka, krmná řepa, mák, řepka, vojtěška, len, jetel, jabloň, hrušeň, vinná réva (Richter et Hlušek, 1999).

Měď (Cu) je v půdách a rostlinách přítomna z největší části jako dvojmocný kation, ovšem v organických vazbách často vystupuje jako jednomocná. Nedostatek Cu je nejčastější na lehkých podzolových půdách, v oblastech s vysokými srážkami, na půdách rendzin, na vápnitých sedimentech, ale také na půdách přehnojených N, P, Zn a při převápnění (Beneš, 1994). Vysoké obsahy Cu mohou mít půdy kontaminované z důlní činnosti, z kovohutí a z aplikací fungicidů (Vaněk et al., 2012). Vyšší nároky na Cu mají obiloviny, salát, cibule, špenát, mrkev, slunečnice, bob, jetel a další (Richter et Hlušek, 1999).

Železo (Fe) sehrává důležitou úlohu v chemismu půdy. Jeho oxidační stupně, hlavně Fe^{2+} a Fe^{3+} , se účastní různých půdních reakcí, významně ovlivňují fyzikální a chemické vlastnosti půdy a tím i rozpustnost a přijatelnost živin rostlinami. V kyselých a periodicky zavlažovaných půdách je Fe značně mobilní a může na rostliny působit toxicky. Mimoto je při nadbytku Fe snížen příjem Ca, Mn a B, ale také P a K. Nedostatek Fe se u nás vyskytuje zřídka. Je to v oblastech alkalických, rašelinných a karbonátových půd a na půdách přehnojených P, kde zvláště na lehkých půdách vznikají málo pohyblivé Fe-fosfáty (Beneš, 1994). Nejvíce Fe vyžadují ovocné stromy, vinná réva, brambory, rajčata, oves, kukuřice (Richter et Hlušek, 1999).

Mangan (Mn) je v půdě přítomen ve formě Mn^{2+} , Mn^{3+} a Mn^{4+} , z nichž pouze Mn^{2+} je přijímán rostlinami. Nedostatek Mn se projevuje na suchých stanovištích, neutrálních až alkalických půdách s pH nad 7. Nadbytek Mn je patrný většinou na silně kyselých stanovištích, po hnojení kysele působícími hnojivy a v půdách,

kde je malá aktivita mikroorganismů oxidujících Mn^{2+} na méně přístupný Mn^{3+} a Mn^{4+} . Nadbytek Mn^{2+} v půdách omezuje příjem Mg a Fe rostlinám a podobně jako Fe působí na rostliny toxicky (Beneš, 1994). Mezi rostliny citlivé na nedostatek Mn patří cukrovka, brambory, oves, hrách a ovocné stromy a vinná réva (Richter et Hlušek, 1999).

Molybden (Mo) je v půdách a rostlinách přítomen především jako šestimocný, méně již jako čtyřmocný a pětímocný (Beneš, 1994). Nejméně rozpustný a pro rostliny nejméně přijatelný je v písčitých kyselých půdách a naopak dobře rozpustný a pohyblivý je v půdách neutrálních až alkalických, případně po vápnění (Vaněk et al., 2012). Molybden se může hromadit v pletivech rostlin. Fytotoxicky tyto zvýšené obsahy nepůsobí a tím se může Mo v nadměrném množství dostávat do potravního řetězce a nepříznivě působit na vyšší živočichy. Píce s obsahem Mo nad 5 mg.kg^{-1} je pro skot toxická. Vysoké nároky na Mo mají brukvovité rostliny a rostliny bobovité (Richter et Hlušek, 1999).

V půdách a rostlinách je **zinek (Zn)** přítomen převážně jako dvojmocný kation Zn^{2+} . Nejčastěji se nedostatek vyskytuje v kyselých písčitých půdách humidních oblastí, v půdách s vysokým obsahem jílu a P, v půdách karbonátových a v půdách s vysokým podílem organické hmoty. Vysoké obsahy Zn se vyskytují v půdách městských aglomerací, v blízkosti důlních hald a úpraven rud. Toxicitu může způsobit i používání čistírenských kalů a městských odpadů jako hnojiva (Beneš, 1994). Náročnými plodinami na obsah Zn jsou kukuřice, len, fazol, sója, chmel, ovocné stromy a vinná réva (Richter et Hlušek, 1999).

Obsahy přístupných mikroelementů v půdě jsou hodnoceny podle kategorií zásobenosti půd, které v roce 1990 publikoval Neuberger v Komplexní metodice výživy rostlin.

Tabulka 16. Kritéria pro hodnocení obsahu stopových prvků v půdě (Neuberger, 1990)

Table 16. Criteria for evaluation of the micronutrients in the soil (Neuberger, 1990)

Mikroelement / Microelement	Druh půdy / Soil texture classes	Obsah v půdě (mg.kg^{-1}) / Content in soil (mg.kg^{-1})		
		Nízký / Low	Střední / Medium	Vysoký / High
Bór (B) / Boron (B) (Berger-Truog)	Lehká / Light soil	< 0,40	0,40 – 0,70	> 0,70
	Střední / Medium heavy soil	< 0,60	0,60 – 1,00	> 1,00
	Těžká / Heavy soil	< 0,80	0,80 – 1,50	> 1,50
Molybden (Mo) / Molybdenum (Mo) (Grigg) ¹	Lehká / Light soil	< 6,40	6,40 – 7,00	> 7,00
	Střední / Medium heavy soil	< 6,80	6,80 – 7,80	> 7,80
	Těžká / Heavy soil	< 7,20	7,20 – 8,20	> 8,20
Měď (Cu) / Copper (Cu) (Lindsay-Norvell)	L, S, T / L, M, H	< 0,80	0,80 – 2,70	> 2,70
Mangan (Mn) / Manganese (Mn) (Lindsay-Norvell)	L, S, T / L, M, H	< 10	10 - 100	> 100
Zinek (Zn) / Zinc (Zn) (Lindsay-Norvell)	L, S, T / L, M, H	< 1,00	1,00 – 2,50	> 2,50
Železo (Fe) / Iron (Fe) (Lindsay-Norvell)	L, S, T / L, M, H	< 8	8 – 75	> 75

¹... vyjádřeno tzv. molybdenovým číslem Moc. $Moc = pH(KCl) + 10 \times Mo$ (v mg.kg^{-1} zeminy)

¹... represented by the molybdenum constant Moc. $Moc = pH(KCl) + 10 \times Mo$ (in mg.kg^{-1} in soil)

5 Available microelements

Lenka Prášková

Intensive agricultural production leads to high yields per hectare. Due to high yields per hectare carry away from the soil, in addition to large quantities of macroelements, also a greater amounts of microelements, which are likewise biogenic elements necessary for plants and whose levels in the soil require monitoring. There is an increased risk of passive soil micronutrient balance in soils poorly supplied with a particular natural element, in soils degraded for its absorption and also in the case of perennial crops, where the habitat is permanently and unilaterally deprived of a certain element specific to the crop. Conversely, there may be an increased level of such elements in the soil, which poses a potential risk of harmfulness or even toxicity to higher animals and plants. For both animals and humans, Mo and Cu are primarily toxic. Generally, solubility increases in more acidic environments leading to better absorption of Fe, Mn, Zn, Cu and B. Conversely, absorption of Mo decreases.

Microelements can be found in soils in different forms and their levels and dynamics are influenced by several factors. These are either static factors such as parent material, climate, season, topography, etc., or dynamic factors such as the content and quality of humus, soil reaction, grain size, permeability, sorption capacity, microbial activity, redox potential, the overall chemistry, etc. (Beneš, 1994).

Boron (B) is present in the soil and plants in the trivalent state. Boron deficiency often occurs in soils that have been over-limed or under excessive application of potassium fertilizer (Beneš, 1994). Optimum availability of B is up to pH 6.3; as pH increases, B availability tends to decrease (Vaněk et al., 2012). High boron-demanding crops are, in particular, sugar beet, mangolds, poppy seed, rapeseed, lucerne, linseed, clover, apple tree, pear tree and vines.

Copper (Cu) is most likely to occur in the soil and plants as a divalent cation; however, in organic forms it can be often present in the univalent state. Copper deficiency occurs most frequently in light-textured podzolic soils, in places with high rainfall, on calcareous sediments, but also in soils under excessive application of N, P and Zn fertilizers and in over-limed soils (Beneš, 1994). High Cu levels may be present in soils contaminated by mining activities, smelting plants and application of fungicides (Vaněk et al., 2012). High copper-demanding plants are cereals, lettuce, onions, spinach, carrots, sunflowers, beans, clover, etc. (Richter et Hlušek, 1999).

Iron (Fe) plays an important role in soil chemistry. Iron oxidation states, particularly Fe^{2+} and Fe^{3+} , are involved in many soil reactions, and significantly affect physical and chemical characteristics of the soil together with solubility of the nutrients and their uptake by plants. Iron is very mobile and can cause toxicity in plants in acidic and periodically irrigated soils. Moreover, in the case of high Fe content, uptake of Ca, Mn, B, as well as P and K is reduced. Iron deficiency is rare in the Czech Republic. It may occur in the areas of alkaline, peat and carbonate soils and soils under excessive application of P fertilizer, where, particularly in light-textured soils, low mobile Fe-phosphates are formed

(Beneš, 1994). Iron is essential mainly for fruit trees, vines, potatoes, tomatoes, oats, or maize (Richter et Hlušek, 1999).

Manganese (Mn) is present in the soil as Mn^{2+} , Mn^{3+} and Mn^{4+} , whereas only Mn^{2+} is absorbed by plants. Manganese deficiency occurs on dry sites, and in neutral to alkaline soils with a pH above 7. Excess Mn is evident mostly on strongly acidic sites, after use of acid-acting fertilizers and in soils where there is little activity of microorganisms oxidizing Mn^{2+} to less accessible Mn^{3+} and Mn^{4+} . Excess Mn^{2+} in soils reduces the Mg and Fe uptake by plants and like Fe can cause toxicity in plants (Beneš, 1994). The plants susceptible to Mn deficiency are sugar beet, potatoes, oats, peas, fruit trees, and vines (Richter et Hlušek, 1999).

Molybdenum (Mo) occurs in soils and plants mainly as hexavalent, less frequently as tetravalent and pentavalent (Benes, 1994). Molybdenum is the least soluble and least available to plants in sandy acidic soils, on the other hand, it is highly soluble and mobile in neutral to alkaline soils or after liming (Vaněk et al., 2012). Molybdenum may accumulate in plant tissues, however high concentration of Mo have no phytotoxic effects, which enables excessive amounts of Mo to enter the food chain and negatively affect higher animals. Fodder containing more than 5 mg.kg^{-1} Mo is toxic to cattle. High molybdenum-demanding plants are cruciferous and legume plants (Richter et Hlušek, 1999).

Zinc (Zn) occurs in the soil and plants predominantly as a divalent cation (Zn^{2+}). Zinc deficiency mostly occurs in acidic sandy soils in humid regions, in soils high in clay and P content, in carbonate soils and in soils with a high content of organic matter. High concentration of Zn can be found in soils in conurbations, in the vicinity of mine dumps and ore mills. Toxicity can also be caused by use of sewage sludge and municipal waste as a fertilizer (Beneš, 1994). High zinc-demanding plants are maize, flax, beans, soy, hops, fruit trees, and vines (Richter et Hlušek, 1999).

Contents of available micronutrients in the soil are evaluated by categories of soil reserves (Table 16) that were published in *Komplexní metodika výživy rostlin* (Neuberg, 1990) (Comprehensive Methodology in Plant Nutrition by Neuberg in 1990).

5.1 Bór (B)

V průběhu let 1995–2013 došlo k mírnému snížení průměrného obsahu přístupného B v orničním horizontu zemědělských půd BMP z 0,97 v roce 1995 na 0,87 mg.kg⁻¹ v roce 2013. Pokles mezi 1. a 4. cyklem monitoringu činil 0,10 mg.kg⁻¹ (10,3 %). K největšímu snížení B došlo u sadů (o 0,20 mg.kg⁻¹), naopak u vinic došlo ke zvýšení (o 0,31 mg.kg⁻¹).

Nejvíce zastoupenou kategorií zásobenosti ve všech sledovaných letech byla kategorie obsahu „střední“. Tato kategorie zaujímala 36 % (rok 1995) a 43 % (rok 2013).

5.1 Boron (B)

Between 1995 and 2013, the average content of available B in the topsoil layer of agricultural soils in BSMS slightly decreased from 0.97 in 1995 to 0.87 mg.kg⁻¹ in 2013. The decrease between the first and the fourth monitoring cycle was 0.10 mg.kg⁻¹ (10.3%). The most significant drop occurred in orchards (by 0.20 mg.kg⁻¹), in contrast vineyards saw a rise (of 0.31 mg.kg⁻¹).

The most frequent category of supply in all years considered was the category “medium” which accounted for 36% (1995) and 43% (2013).

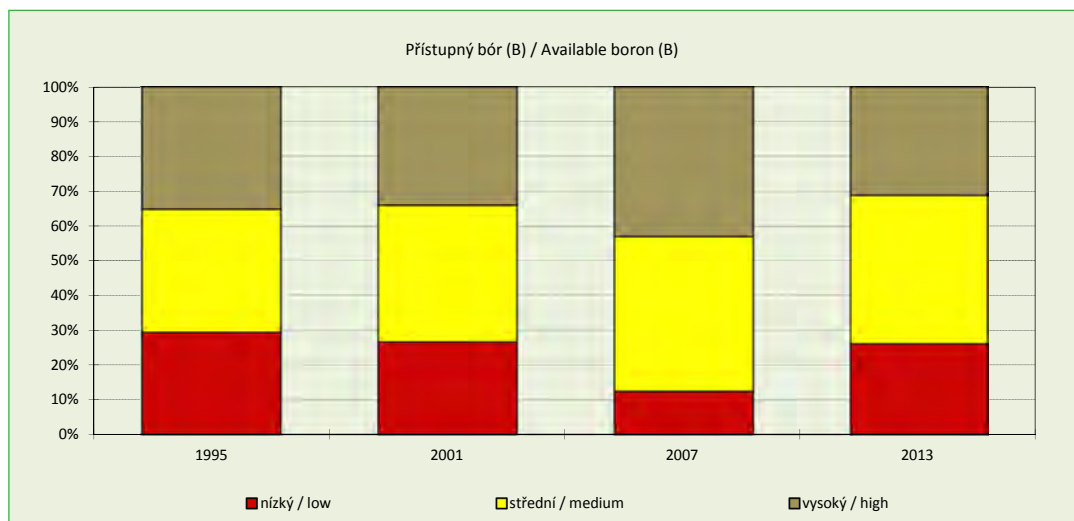
Tabulka 17. Deskriptivní statistika obsahu přístupného bóru (B) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Berger-Truog; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 17. Descriptive statistics of the content of available boron (B) in the BSMS plots in individual sampling cycles (Berger-Truog; mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	0,99	0,12	3,35	0,37	0,52	0,83	1,31	1,85
	2001	142	0,95	0,24	2,95	0,46	0,54	0,78	1,25	1,79
	2007	142	1,20	0,29	7,37	0,56	0,76	0,94	1,38	1,88
	2013	142	0,87	0,16	1,99	0,45	0,59	0,83	1,07	1,42
TTP / Permanent grassland	1995	21	0,71	0,09	1,80	0,21	0,42	0,68	0,82	1,29
	2001	21	0,88	0,43	2,03	0,51	0,57	0,84	0,95	1,60
	2007	21	1,02	0,44	1,93	0,54	0,60	0,97	1,31	1,58
	2013	21	0,75	0,35	1,79	0,39	0,43	0,66	1,02	1,18
Sady / Orchards	1995	5	1,09	0,86	1,58	0,86	0,97	1,02	1,03	1,58
	2001	5	1,06	0,71	1,32	0,71	1,04	1,09	1,13	1,32
	2007	5	1,00	0,74	1,54	0,74	0,77	0,89	1,08	1,54
	2013	5	0,89	0,68	1,13	0,68	0,74	0,95	0,96	1,13
Vinice / Vineyards	1995	4	0,37	0,24	0,65	0,24	0,25	0,29	0,49	0,65
	2001	4	0,88	0,49	1,30	0,49	0,63	0,87	1,13	1,30
	2007	4	0,93	0,54	1,38	0,54	0,71	0,90	1,15	1,38
	2013	4	0,68	0,49	0,82	0,49	0,59	0,70	0,77	0,82
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	1,72	0,95	2,35	0,95	1,48	1,80	2,02	2,35
	2001	5	1,74	1,24	2,20	1,24	1,37	1,78	2,09	2,20
	2007	5	1,68	1,01	2,59	1,01	1,37	1,45	1,96	2,59
	2013	5	1,56	1,04	2,74	1,04	1,26	1,31	1,46	2,74

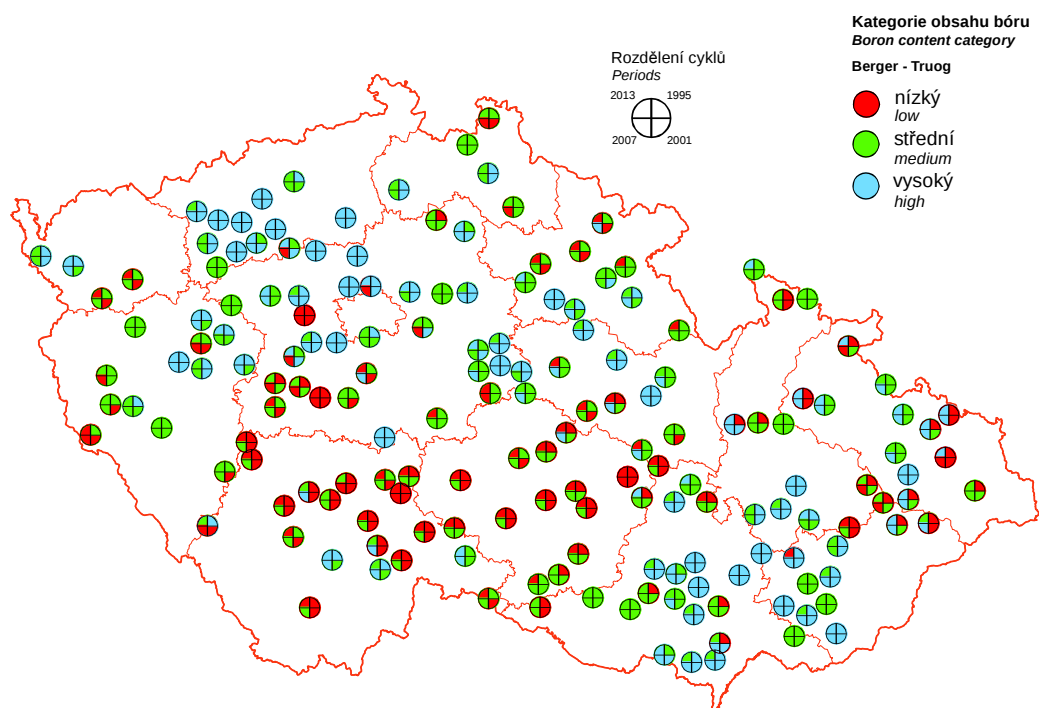
Obrázek 48. Procentické zastoupení ploch BMP v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného bóru (B) (odběrové cykly 1995–2013)

Figure 48. Representative percentage of the BSMS plots in individual categories of the content of available boron (B) (sampling cycles 1995–2013)



Obrázek 49. Obsah přístupného bóru (B) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného bóru)

Figure 49. The content of available boron (B) in the BSMS plots in individual sampling cycles (by categories of the content of available boron)



5.2 Měď (Cu)

Průměrná hodnota obsahu přístupné Cu se v průběhu sledovaného období (1995–2013) v orničním horizontu zemědělských půd BMP zvyšovala z 3,57 mg.kg⁻¹ v roce 1995 na 3,83 mg.kg⁻¹ v roce 2013. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem činilo 0,26 mg.kg⁻¹ (7,3 %). K největšímu zvýšení Cu došlo u vinic a chmelnic (o 2,26 mg.kg⁻¹ a 4,17 mg.kg⁻¹). Naopak v sadech se průměrný obsah mírně snížil.

Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech letech byla jednoznačně kategorie „střední“ obsah Cu. Tato kategorie zaujímala 65 % (rok 1995) a 64 % (rok 2013). Kategorie „vysoký“ obsah Cu se v roce 2013 oproti roku 1995 zvýšila o 3 % na celkových 32 %.

5.2 Copper (Cu)

The average level of the content of available Cu increased during the period considered (1995–2013) in the topsoil layer of agricultural soils in BSMS from 3.57 mg.kg⁻¹ in 1995 to 3.83 mg.kg⁻¹ in 2013. The increase between the first and the fourth cycle was 0.26 mg.kg⁻¹ (7.3%). The most significant rise in Cu occurred in vineyards and hop gardens (by 2.26 mg.kg⁻¹ and 4.17 mg.kg⁻¹), in contrast the average content decreased in orchards.

The most frequent category in all years was clearly the category “medium” Cu content which accounted for 65% (1995) and 64% (2013). The category “high” Cu content increased by 3% to 32% in 2013 compared to 1995.

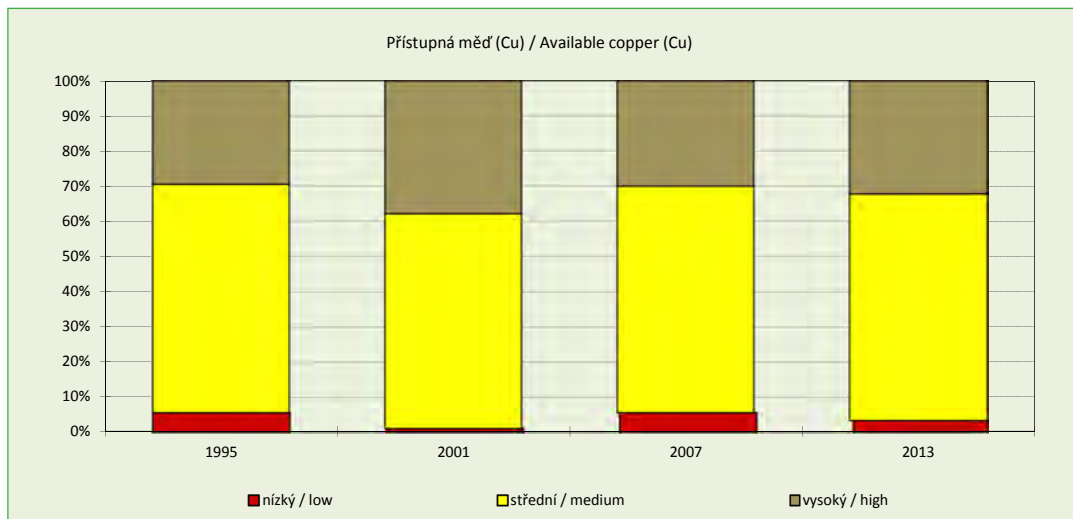
Tabulka 18. Deskriptivní statistika obsahu přístupné mědi (Cu) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 18. Descriptive statistics of the content of available copper (Cu) in the BSMS plots in individual sampling cycles (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	2,85	0,30	44,9	0,94	1,26	1,86	2,55	3,82
	2001	142	3,05	0,71	43,6	1,30	1,58	2,06	2,88	4,26
	2007	142	2,61	0,44	23,5	0,98	1,35	1,84	2,66	3,72
	2013	142	2,90	0,75	37,2	1,09	1,44	1,87	2,69	4,27
TTP / Permanent grassland	1995	21	3,20	0,43	10,7	0,95	1,31	2,14	4,07	7,08
	2001	21	3,70	1,02	10,9	1,48	1,99	2,81	4,28	6,78
	2007	21	3,14	0,73	9,32	1,11	1,72	2,19	3,91	6,03
	2013	21	3,74	0,72	14,7	1,23	1,76	3,14	4,59	6,50
Sady / Orchards	1995	5	4,34	1,18	15,8	1,18	1,37	1,59	1,74	15,8
	2001	5	4,36	1,41	13,8	1,41	1,88	2,32	2,38	13,8
	2007	5	4,30	1,27	14,9	1,27	1,49	1,74	2,08	14,9
	2013	5	4,11	1,52	11,8	1,52	1,66	1,67	3,97	11,8
Vinice / Vineyards	1995	4	5,87	2,72	9,13	2,72	3,60	5,81	8,14	9,13
	2001	4	9,81	3,55	13,7	3,55	7,03	11,0	12,6	13,7
	2007	4	10,9	8,62	12,6	8,62	9,61	11,1	12,1	12,6
	2013	4	8,13	6,78	9,92	6,78	6,93	7,91	9,34	9,92
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	22,9	11,9	43,7	11,9	12,5	16,3	30,2	43,7
	2001	5	31,4	16,0	53,8	16,0	24,3	25,8	37,1	53,8
	2007	5	29,8	18,2	58,7	18,2	19,2	25,3	27,5	58,7
	2013	5	27,1	17,1	48,7	17,1	19,1	20,5	29,9	48,7

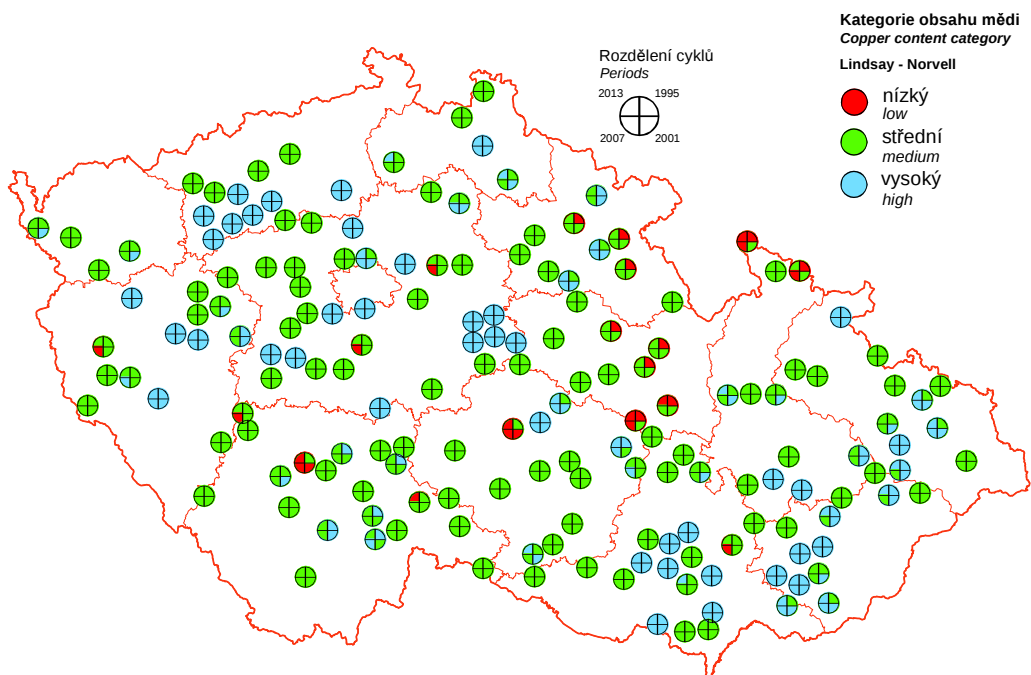
Obrázek 50. Procentické zastoupení ploch BMP v jednotlivých kategoriích obsahu přístupné mědi (Cu) (odběrové cykly 1995–2013)

Figure 50. Representative percentage of the BSMS plots in individual categories of the content of available copper (Cu) (sampling cycles 1995–2013)



Obrázek 51. Obsah přístupné mědi (Cu) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupné mědi)

Figure 51. The content of available copper (Cu) in the BSMS plots in individual sampling cycles (by categories of the content of available copper)



5.3 Železo (Fe)

Za uplynulých 18 let trvání BMP se průměrná hodnota obsahu přístupného Fe v zemědělských půdách v orničním horizontu výrazně zvýšila ze 71,4 mg.kg⁻¹ v roce 1995 na 105 mg.kg⁻¹ v roce 2013. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo statisticky velmi významné a činilo 33,6 mg.kg⁻¹ (47,1 %). Ke zvýšení průměrných hodnot došlo u všech kultur; nejvíce u sadů (o 58,9 mg.kg⁻¹).

Zastoupenými kategoriemi ve všech letech byly kategorie „střední“ a „vysoký“ obsah Fe. Poměry těchto kategorií se při porovnání 1. a 4. cyklu vzájemně vyměnily. Ve 4. cyklu převládá kategorie „vysoký“ obsah (62 %) nad kategorií „střední“ obsah (38 %). V 1. cyklu to bylo naopak. Kategorie „nízký“ obsah se vyskytovala pouze v 1. odběrovém cyklu a byla zastoupena pouze 0,6 %.

5.3 Iron (Fe)

Over the last 18 years of duration of BSMS, the average level of the content of available Fe in the topsoil layer of agriculture soils significantly increased from 71.4 mg.kg⁻¹ in 1995 to 105 mg.kg⁻¹ in 2013. The increase between the first and the fourth cycle was statistically significant and amounted for 33.6 mg.kg⁻¹ (47.1%). The rise in average values was in all cultures; mostly in orchards (by 58.9 mg.kg⁻¹).

Categories represented in all years were categories “medium” and “high” Fe content. Ratios of these categories exchanged bilaterally comparing the first cycle with the fourth cycle. In the fourth cycle the category “high” content (62%) prevailed over the category “medium” content (38%). On the contrary, the category “low” content occurred only in the first sampling cycle and amounted just for 0.6%.

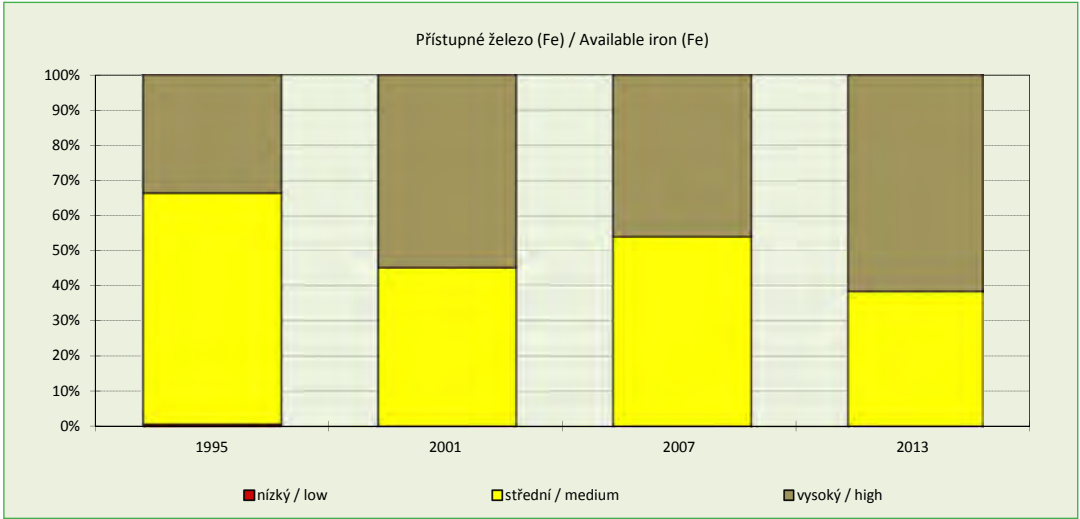
Tabulka 19. Deskriptivní statistika obsahu přístupného železa (Fe) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 19. Descriptive statistics of the content of available iron (Fe) in the BSMS plots in individual sampling cycles (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	71,7	4,30	320	25,7	35,9	58,2	88,6	145
	2001	142	102	15,7	464	31,4	48,5	81,3	132	188
	2007	142	80,2	11,6	411	30,9	44,6	66,8	96,6	134
	2013	142	96,2	15,0	358	38,0	56,0	84,0	111	171
TTP / Permanent grassland	1995	21	94,8	43,8	224	47,7	59,1	97,0	123	150
	2001	21	211	63,4	473	116	134	204	262	335
	2007	21	167	64,9	333	85,7	114	140	200	307
	2013	21	196	55,4	365	113	136	177	248	329
Sady / Orchards	1995	5	45,1	8,23	104	8,23	27,1	34,1	52,0	104
	2001	5	78,8	22,6	132	22,6	57,2	64,2	118	132
	2007	5	80,4	11,1	205	11,1	49,5	53,8	82,9	205
	2013	5	104	10,7	309	10,7	41,3	48,7	110	309
Vinice / Vineyards	1995	4	16,3	13,1	21,9	13,1	13,2	15,2	19,4	21,9
	2001	4	29,4	19,6	51,8	19,6	21,0	23,1	37,9	51,8
	2007	4	22,8	13,7	42,0	13,7	15,0	17,7	30,5	42,0
	2013	4	22,2	16,9	30,9	16,9	17,2	20,6	27,2	30,9
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	36,4	9,98	75,7	9,98	11,8	38,7	45,8	75,7
	2001	5	54,2	34,8	83,7	34,8	41,3	53,4	57,9	83,7
	2007	5	36,6	23,9	58,1	23,9	30,7	30,9	39,2	58,1
	2013	5	51,6	36,5	63,8	36,5	48,6	51,8	57,3	63,8

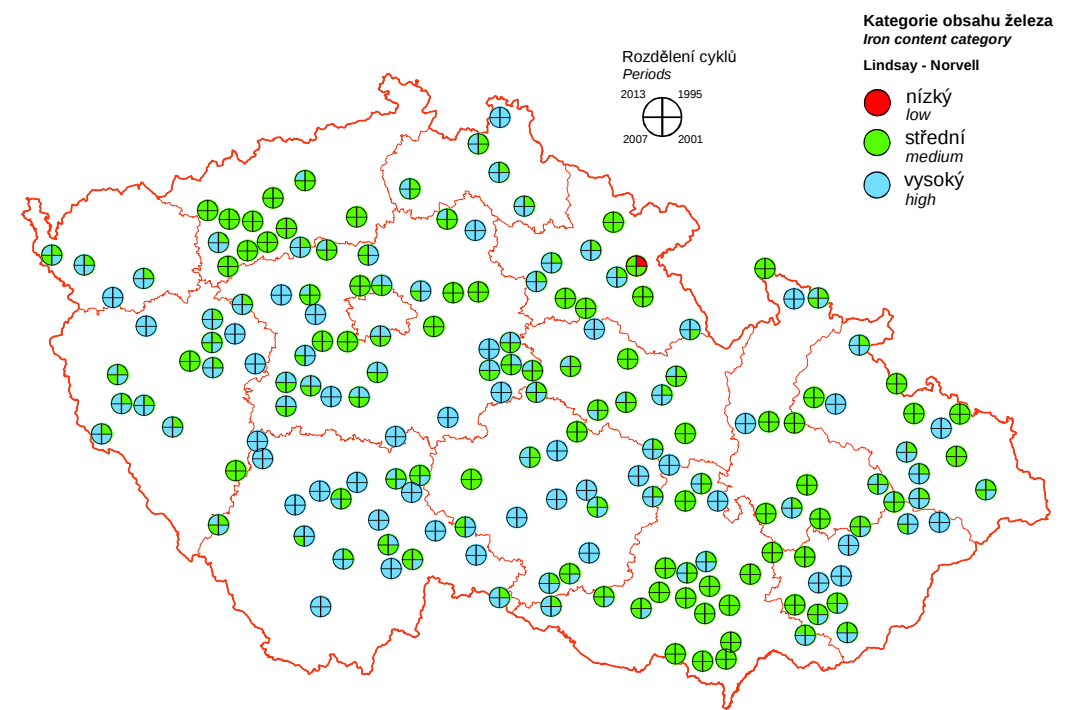
Obrázek 52. Procentické zastoupení ploch BMP v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného železa (Fe) (odběrové cykly 1995–2013)

Figure 52. Representative percentage of the BSMS plots in individual categories of the content of available iron (Fe) (sampling cycles 1995–2013)



Obrázek 53. Obsah přístupného železa (Fe) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného železa)

Figure 53 The content of available iron (Fe) in the BSMS plots in individual sampling cycles (by categories of the content of available iron)



5.4 Mangan (Mn)

Průměrná hodnota obsahu přístupného Mn se v zemědělských půdách v orničním horizontu v rámci BMP v posledních 18 letech mírně zvyšovala z 45,9 mg.kg⁻¹ v roce 1995 na 52,0 mg.kg⁻¹ v roce 2013. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo statisticky velmi významné a činilo 6,10 mg.kg⁻¹ (13,3 %). Nárůst průměrné hodnoty byl zaznamenán u všech kultur kromě vinic.

Nejvíce zastoupenou kategorií ve všech sledovaných letech byla stejně jako v případě B a Cu kategorie „střední“. Tato kategorie byla v případě Mn dominantní a zaujímala 89 % (rok 1995) a 92 % (rok 2013). Podíl kategorie „nízký“ obsah byl v roce 2013 nepatrný (0,6 %).

5.4 Manganese (Mn)

The average level of the content of available Mn in the topsoil layer of agricultural soils in BSMS slightly increased over the last 18 years from 45.9 mg.kg⁻¹ in 1995 to 52.0 mg.kg⁻¹ in 2013. The increase of 6.10 mg.kg⁻¹ (13.3%) between the first and the fourth cycle was statistically significant. The rise of the average level was recorded in all cultures except for vineyards.

The most frequent category in all years considered, as in the case of B and Cu, was the category "medium" which was dominant in Mn and amounted for 89% (1995) and 92% (2013). Percentage of the category "low" content was in 2013 negligible (0.6%).

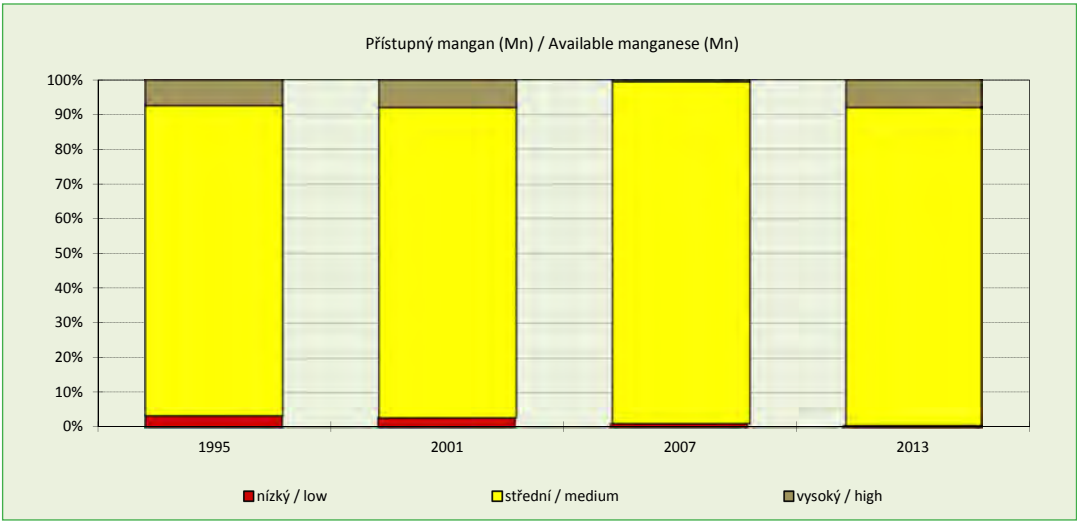
Tabulka 20. Deskriptivní statistika obsahu přístupného manganu (Mn) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 20. Descriptive statistics of the content of available manganese (Mn) in the BSMS plots in individual sampling cycles (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	48,3	5,11	214	17,3	24,8	39,7	57,4	80,4
	2001	142	47,0	7,25	205	15,5	23,4	36,4	56,7	93,5
	2007	142	39,4	6,58	143	18,4	25,2	36,6	49,4	66,2
	2013	142	53,0	12,0	192	21,7	28,8	46,5	64,5	90,7
TTP / Permanent grassland	1995	21	41,1	8,80	124	15,5	22,3	35,5	50,9	65,7
	2001	21	62,1	15,8	156	25,5	39,0	49,2	81,3	99,6
	2007	21	49,8	12,4	78,5	29,0	43,9	53,2	57,3	67,3
	2013	21	56,7	25,7	171	33,5	36,6	48,3	62,3	77,7
Sady / Orchards	1995	5	37,9	16,6	53,7	16,6	26,1	39,5	53,7	53,7
	2001	5	42,7	17,9	72,8	17,9	22,1	40,2	60,7	72,8
	2007	5	41,3	10,7	56,9	10,7	38,5	43,5	56,9	56,9
	2013	5	50,9	7,97	133	7,97	25,2	43,3	44,7	133
Vinice / Vineyards	1995	4	21,7	18,1	29,5	18,1	18,3	19,6	25,1	29,5
	2001	4	22,3	20,7	24,1	20,7	20,9	22,3	23,8	24,1
	2007	4	15,2	11,1	19,9	11,1	12,7	14,8	17,6	19,9
	2013	4	21,6	13,3	32,2	13,3	14,0	20,4	29,1	32,2
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	23,1	10,9	41,9	10,9	18,7	19,3	24,4	41,9
	2001	5	23,6	14,6	45,4	14,6	14,8	18,3	24,7	45,4
	2007	5	25,8	17,3	37,0	17,3	24,4	24,8	25,3	37,0
	2013	5	29,0	20,8	43,7	20,8	22,6	26,1	31,9	43,7

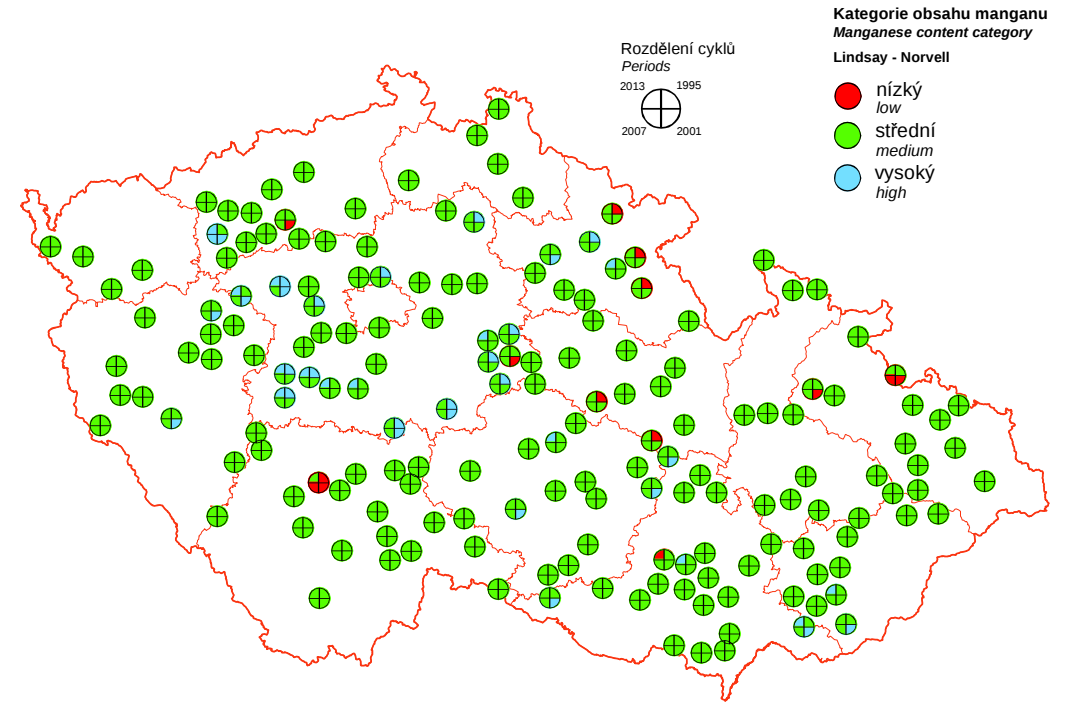
Obrázek 54. Procentické zastoupení ploch BMP v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného manganu (Mn) (odběrové cykly 1995–2013)

Figure 54. Representative percentage of the BSMS plots in individual categories of the content of available manganese (Mn) (sampling cycles 1995–2013)



Obrázek 55. Obsah přístupného manganu (Mn) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného manganu)

Figure 55. The content of available manganese (Mn) in the BSMS plots in individual sampling cycles (by categories of the content of available manganese)



5.5 Molybden (Mo)

Obsah molybdenu v půdách BMP byl analyzován pouze v 1. cyklu odběrů v roce 1995. Z výsledků vyplývá průměrná hodnota obsahu Mo pro orniční horizont 0,15 mg.kg⁻¹. Nejnižší obsah Mo se v roce 1995 vyskytoval na vinicích (0,07 mg.kg⁻¹). Nejvyšší průměrná hodnota byla zjištěna na chmelnicích (0,20 mg.kg⁻¹).

Nejvíce zastoupenou kategorií v roce 1995 byla kategorie „vysoký“ obsah Mo.

5.5 Molybdenum (Mo)

Molybdenum content in soils of BSMS was analysed only in the first sampling cycle in 1995. The results show that the average level of Mo content in the topsoil layer was 0.15 mg.kg⁻¹. The lowest Mo content (0.07 mg.kg⁻¹) occurred in vineyards in 1995. The highest average level (0.20 mg.kg⁻¹) was recorded in hop gardens.

The most frequent category in 1995 was the category “high” Mo content.

Tabulka 21. Deskriptivní statistika obsahu přístupného molybdenu (Mo) na plochách BMP v roce 1995 (Grigg; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 21. Descriptive statistics of the content of available molybdenum (Mo) in the BSMS plots in 1995 (Grigg; mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	174	0,16	0,03	0,90	0,08	0,11	0,14	0,18	0,25
TTP / Permanent grassland	1995	34	0,12	0,05	0,28	0,06	0,08	0,12	0,15	0,20
Sady / Orchards	1995	7	0,14	0,08	0,22	0,08	0,09	0,14	0,18	0,22
Vinice / Vineyards	1995	5	0,07	0,03	0,09	0,03	0,06	0,07	0,09	0,09
Chmelnice / Hop gardens	1995	7	0,20	0,04	0,34	0,04	0,11	0,20	0,31	0,34

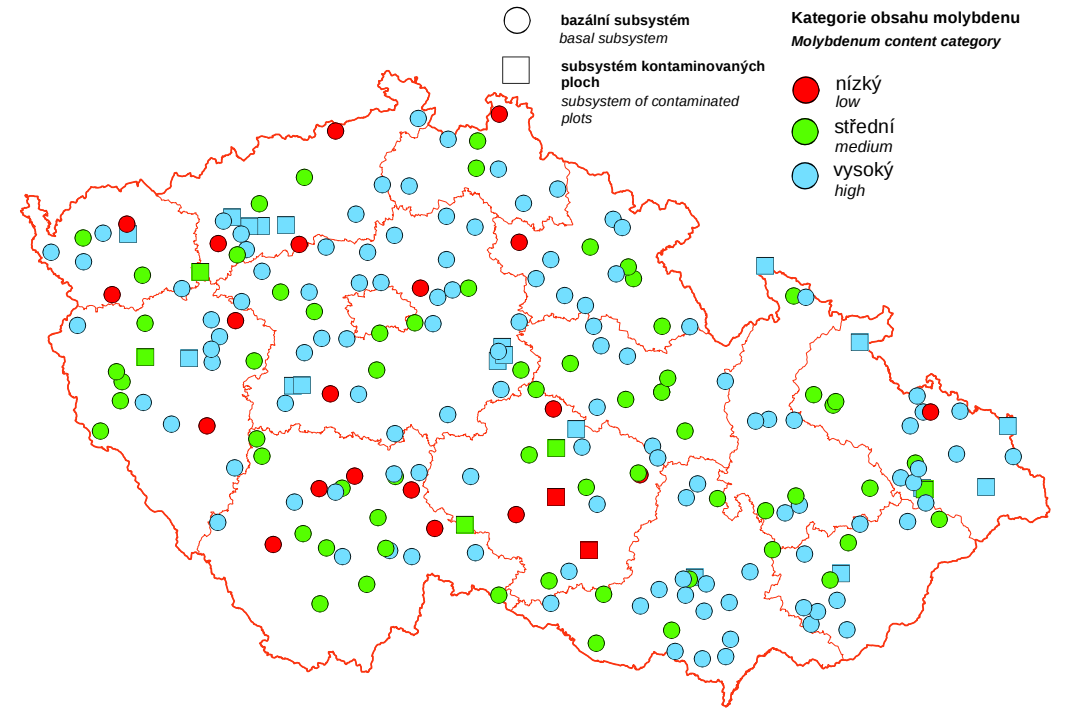
Table 22. Procentické zastoupení ploch BMP v roce 1995 v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného molybdenu (Mo)

Table 22. Representative percentage of the BSMS plots in 1995 in individual categories of the content of available molybdenum (Mo)

Kultura / Culture	Kategorie obsahů / Categories of the content		
	Nízký / Low (%)	Střední / Medium (%)	Vysoký / High (%)
Orná půda / Arable land	7,6	33,1	59,3
TTP / Permanent grassland	28,1	25,0	46,9
Sady / Orchards	0,0	14,3	85,7
Vinice / Vineyards	0,0	20,0	80,0
Chmelnice / Hop gardens	0,0	14,3	85,7

Obrázek 56. Obsah přístupného molybdenu (Mo) na plochách BMP v roce 1995 (podle kategorií obsahu přístupného molybdenu)

Map 56. The content of available molybdenum (Mo) in the BSMS plots in 1995 (by categories of the content of available molybdenum)



5.6 Zinek (Zn)

Průměrná hodnota obsahu přístupného Zn se v zemědělských půdách v orničním horizontu v rámci BMP mírně zvyšovala z 4,89 mg.kg⁻¹ v roce 1995 na 5,41 mg.kg⁻¹ v roce 2013. Navýšení mezi 1. a 4. cyklem bylo statisticky velmi významné a činilo 0,52 mg.kg⁻¹ (10,6 %). U všech kultur kroměsadů bylo zaznamenáno navýšení průměrných obsahů. Největší nárůst byl u chmelnic (o 2,00 mg.kg⁻¹). U sadů průměrná hodnota poklesla o 4,40 mg.kg⁻¹.

Nejvíce zastoupenou kategorií byla kategorie „střední“ a „vysoký“ obsah ve všech letech. Ve 4. cyklu převládala kategorie „vysoký“ obsah (59 %) nad kategorií „střední“ obsah (38 %). V 1. cyklu převládala kategorie „střední“ obsah nad kategorií „vysoký“ obsah (obdobně jako tomu bylo v případě Fe).

5.6 Zinc (Zn)

Over the last 18 years the average level of the content of available Zn in the topsoil layer of agriculture soils in BSMS slightly increased from 4.89 mg.kg⁻¹ in 1995 to 5.41 mg.kg⁻¹ in 2013. The increase between the first and the fourth cycle was statistically significant and amounted for 0.52 mg.kg⁻¹ (10.6%). In all cultures, except for orchards, an increase in average contents was recorded. The biggest increase was in hop gardens (by 2.00 mg.kg⁻¹). The average value decreased by 4.40 mg.kg⁻¹ in orchards.

The most frequent category was the category “medium” and „high” content in all years. In the fourth cycle the category „high” content (59%) prevailed over the category “medium” content (38%). In the first cycle the category “medium” content predominated over the category „high” content (as in the case of Fe).

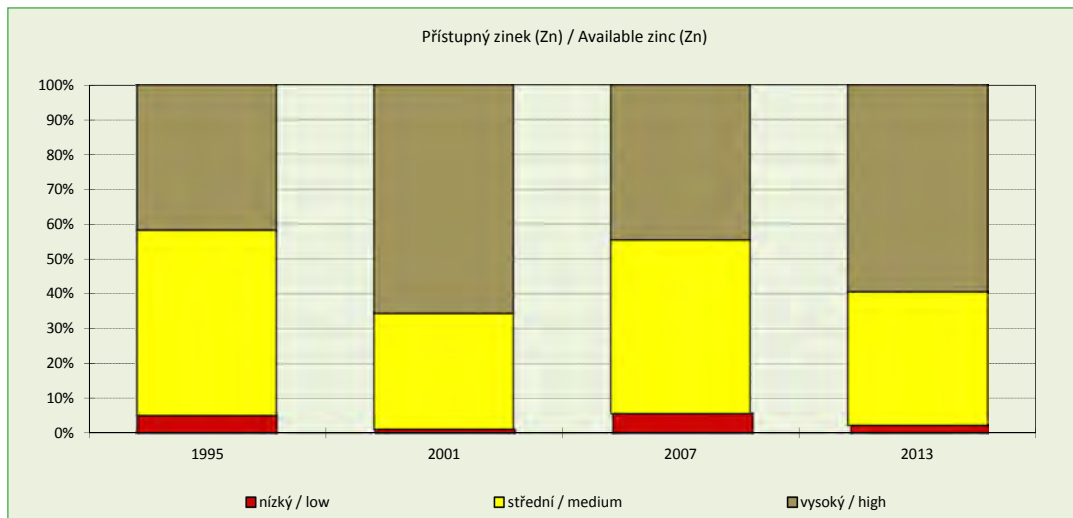
Tabulka 23. Deskriptivní statistika obsahu přístupného zinku (Zn) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, ornice)

Table 23. Descriptive statistics of the content of available zinc (Zn) in the BSMS plots in individual sampling cycles (Lindsay-Norvell; mg.kg⁻¹, topsoil)

Kultura / Cultures	Cyklus / Periods	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	142	4,30	0,40	60,8	1,19	1,62	2,23	3,01	5,36
	2001	142	4,86	0,81	69,5	1,71	2,22	2,77	3,69	5,41
	2007	142	4,39	0,32	67,6	1,25	1,64	2,32	3,34	6,04
	2013	142	4,87	0,65	58,9	1,54	1,98	2,75	3,53	5,87
TTP / Permanent grassland	1995	21	3,18	0,62	9,20	1,08	1,51	2,77	4,10	5,31
	2001	21	4,38	0,84	12,4	1,45	2,27	3,44	5,86	7,14
	2007	21	3,49	0,67	8,79	1,30	1,42	2,62	4,77	6,08
	2013	21	4,12	0,96	8,80	1,60	2,45	3,55	5,47	7,92
Sady / Orchards	1995	5	25,2	1,23	118	1,23	1,51	1,97	3,40	118
	2001	5	18,9	2,40	83,1	2,40	2,55	2,67	4,04	83,1
	2007	5	20,8	1,36	95,9	1,36	1,62	1,95	3,41	95,9
	2013	5	20,8	1,08	96,3	1,08	1,64	2,22	2,65	96,3
Vinice / Vineyards	1995	4	1,79	1,10	2,42	1,10	1,39	1,81	2,18	2,42
	2001	4	4,39	2,35	6,58	2,35	3,18	4,32	5,61	6,58
	2007	4	3,22	2,28	4,60	2,28	2,29	3,01	4,16	4,60
	2013	4	2,81	1,66	5,47	1,66	1,75	2,06	3,88	5,47
Chmelnice / Hop gardens	1995	5	11,0	2,20	21,2	2,20	2,95	9,01	19,8	21,2
	2001	5	13,7	2,84	22,8	2,84	3,25	19,7	19,8	22,8
	2007	5	12,4	2,16	24,8	2,16	2,59	10,7	21,8	24,8
	2013	5	13,0	2,22	24,4	2,22	4,20	9,96	24,2	24,4

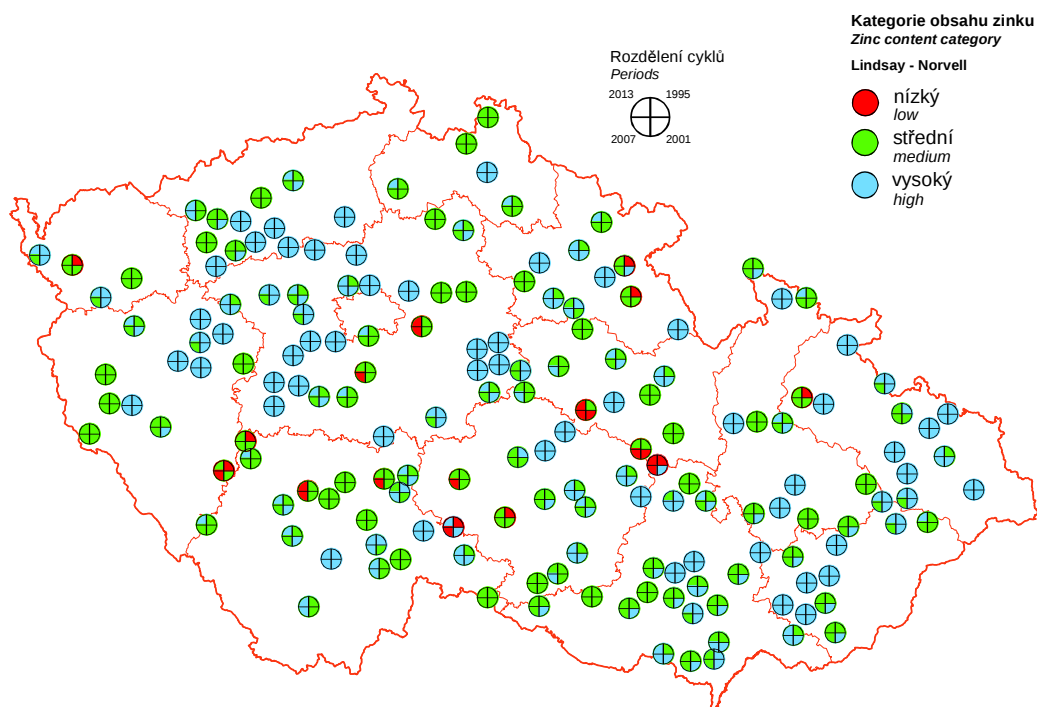
Obrázek 57. Procentické zastoupení ploch BMP v jednotlivých kategoriích obsahu přístupného zinku (Zn) (odběrové cykly 1995–2013)

Figure 57. Representative percentage of the BSMS plots in individual categories of the content of available zinc (Zn) (sampling cycles 1995–2013)



Obrázek 58. Obsah přístupného zinku (Zn) na plochách BMP v jednotlivých odběrových cyklech (podle kategorií obsahu přístupného zinku)

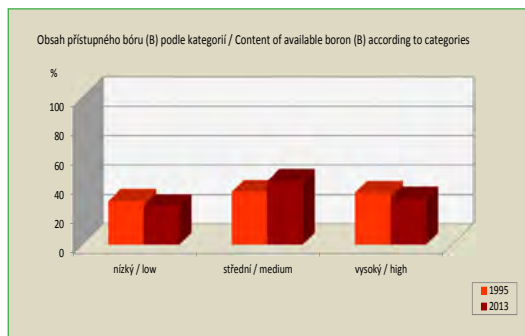
Figure 58. The content of available zinc (Zn) in the BSMS plots in individual sampling cycles (by categories of the content of available zinc)



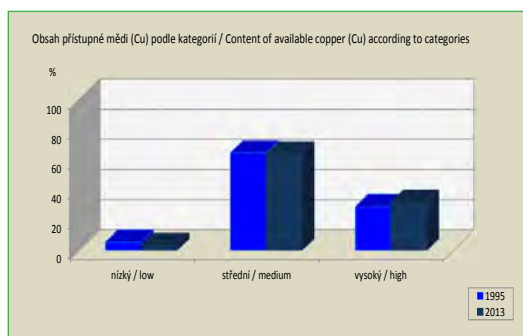
Obrázek 59. Změny procentického zastoupení obsahů přístupných mikroelementů v jednotlivých kategoriích obsahů mezi 1. a 4. odběrovým cyklem (1995 a 2013) na plochách BMP

Figure 59. Changes in percentage of contents of available microelements in individual categories of contents between the first and the fourth sampling cycle (1995 and 2013) in BSMS plots

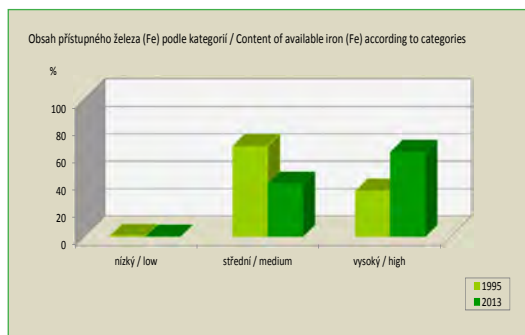
a) Bór (B) / Boron (B)



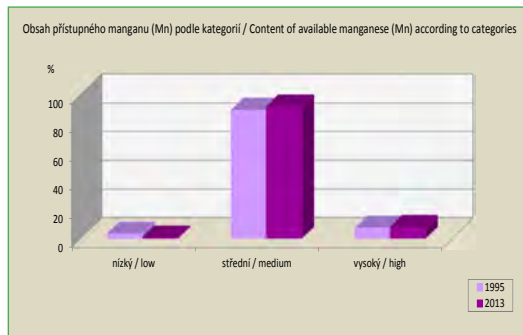
b) Měď (Cu) / Cooper (Cu)



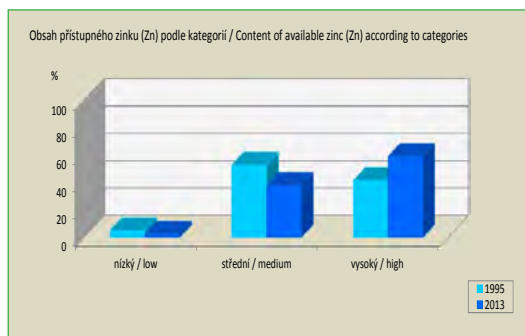
c) Železo (Fe) / Iron (Fe)



d) Mangan (Mn) / Manganese (Mn)



e) Zinek (Zn) / Zinc (Zn)



6 Rizikové prvky

Šárka Poláková

Slovní spojení rizikové prvky se ustálilo relativně nedávno a nahradilo dříve používaný termín těžké kovy. Za těžké kovy jsou považovány prvky s hustotou vyšší než 5 g.cm^{-3} . S rozvojem poznání bylo konstatováno, že rizikové mohou pro jednotlivé složky životního prostředí i člověka být i prvky s nižší hustotou (Be, Se, ...). Za nejrizikovější z hlediska zdraví a životního prostředí jsou považovány As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Tl a Zn (Kabata-Pendias et Pendias, 2001). Většina z těchto prvků však nemůže být za rizikové považována automaticky. O účinku, kterého prvky v živých organismech dosáhnou, rozhoduje jejich koncentrace a faktory prostředí (biotické a abiotické). Tak např. Cu, Mo a Zn jsou prvky zmiňované v kapitole 5 jako prvky nezbytné pro vývoj rostlin. Jestliže však jejich koncentrace přesáhne kritickou hranici, dostaví se negativní odpověď organismu. U jiných prvků (Cd, Pb, Hg) se však žádná kladná reakce organismu (ani při nízkých dávkách) nedostavuje.

Rizikové prvky se v životním prostředí nachází přirozeně, ovšem pouze v malých množstvích a v relativně nepřístupných formách. Komerční způsob života vede k neustálému zvyšování výroby a tím zároveň k stále rostoucímu zatížení všech složek prostředí látkami antropogenního původu. Rizikové prvky vstupující do prostředí prostřednictvím činnosti člověka jsou z hlediska zdravotních rizik nebezpečnější, než prvky původu geogenního a to především díky mobilnějším formám výskytu a zároveň díky neustále se zvyšujícím hladinám jejich obsahů jak v půdě, tak v dalších složkách životního prostředí. Snahou nás všech by mělo být omezování vstupu rizikových prvků na zemědělskou půdu tak, aby nedocházelo ke vzniku žádných zdravotních rizik, nebo k případnému poškození rostlinné produkce.

V roce 2015 vstoupila v platnost novela zákona o ochraně zemědělského půdního fondu, která zásadním způsobem změnila systém hodnocení kvality půdy z hlediska obsahů rizikových prvků a látek v půdě. Byly zrušeny maximální přípustné obsahy látek v půdě a zaveden dvoustupňový systém hodnocení půdy. Byla stanovena horní mez variability přírodního a difúzně-antropogenního pozadí rizikových prvků v půdě (preventivní hodnota), která představuje hranici omezující určité způsoby hospodaření na půdě tak, aby již dále nedocházelo ke zvyšování obsahů prvků a látek v půdě, a dále byly stanoveny pro vybrané prvky a látky indikační hodnoty, které představují hranici, kdy již může být ohroženo zdraví lidí, zvířat a rostlin (tabulka 24).

Systém monitoringu byl v závislosti na obsazích rizikových prvků rozdělen na subsystém základní a subsystém kontaminovaných ploch (kapitola 2) a proto v této kapitole je toto členění zachováno. Rozsah obsahů prvků je charakterizován pro odběrový cyklus 2013 (tj. pro všech 214 monitorovacích ploch), změny obsahů v období 1995 až 2013 jsou popsány pro vybraných 177 stabilních ploch (kapitola 2).

6 Potentially toxic elements

Šárka Poláková

The term potentially toxic elements has stabilized relatively recently and replaced the previously used term heavy metals. Heavy metals refer to elements whose densities are greater than 5 g.cm^{-3} . With increased knowledge, it was concluded that even elements with lower density (Be, Se ...) may pose risks for individual components of the environment and humans. As, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, V, Ti and Zn are considered the most dangerous elements having the potential to threaten the natural environment and or adversely affect people's health (Kabata-Pendias et Pendias, 2001). Most of these elements cannot be automatically considered high risk. The effects that elements in living organisms reach are influenced by their concentration and environmental factors (biotic and abiotic). Thus, e.g. the elements Cu, Mo and Zn are described in Chapter 5 as elements that are essential for plant development; however, should their concentrations exceed a critical threshold, the organism will respond negatively to their occurrence. Nevertheless, regarding occurrence (even in small quantities) of other elements (Cd, Pb, Hg), no positive response in organisms is induced.

Potentially toxic elements occur naturally in the environment but only in small quantities and in relatively unavailable forms. The commercial way of life results in ever-growing production and thus, also in ever-growing burden of substances of anthropogenic origin polluting all environmental compartments. In terms of health risk, potentially toxic elements entering the environment through human activities are more dangerous than elements of geogenic origin, mainly due to more mobile forms of occurrence and at the same time, due to the constantly higher concentrations in both soil and other environmental components. The efforts of all of us should be limiting inputs of hazardous elements into agricultural soil to avoid any health risks or potential crop production losses.

In 2015, the amendment to the Act on the Agricultural Land Fund Protection came into force, which substantially changed the scheme for soil quality assessment with regard to contents of hazardous elements and substances in the soil. The maximum permissible levels of substances in the soil were cancelled and a two-tiered soil assessment scheme was introduced. An upper limit of natural and diffusely-anthropogenic background variability of risk elements in the soil (a precautionary value) was established, which represents a threshold limit restricting certain forms of land management so as to avoid further increase in contents of elements and substances in the soil (Table 24), moreover, indicative values representing a threshold concentration above which health effects may be life threatening to people, animals and plants were established for selected elements and substances (Table 24).

Depending on the contents of potentially toxic elements, the monitoring system was divided into two subsystems: the basal and subsystem of contaminated plots (see chapter 2), and therefore this subdivision was maintained throughout this chapter. The content range of the elements was detected over the sampling cycle in 2013 (i.e. in all 214 monitoring plots); the content changes were described in 177 selected stable plots in the period from 1995 to 2013 (see chapter 2).

Tabulka 24. Preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků v zemědělské půdě zjištěné extrakcí lučavkou královskou (mg.kg⁻¹ sušiny; vyhláška č. 153/2016 Sb.)

Table 24. Precautionary concentration levels of potentially toxic elements in agricultural soils determined by Aqua Regia extraction (mg.kg⁻¹ DM; Decree no. 153/2016 Coll.)

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
Běžné půdy / Other soils	20	2,0	0,5	30	90	60	0,3	50	60	130	120
Lehké půdy / Light soils	15	1,5	0,4	20	55	45	0,3	45	55	120	105

Běžné půdy: písčito-hlinité, hlinité, jílovitohlinité a jílovité půdy, které zaujímají převážnou část zemědělsky využívaných půd. Jedná se o půdy s normální variabilitou prvků, s normálním půdním vývojem v různých geomorfologických podmínkách včetně půd na karbonátových horninách.

Lehké půdy: půdy vzniklé na velmi lehkých a chudých matečních horninách jako jsou písky a štěrkopísky. Při vymezení těchto půd se vychází ze zastoupení jemných částí (do 0,01 mm), které tvoří maximálně 20 %. Tyto půdy se vyznačují velmi nízkou absorpční kapacitou.

Other soils: sandy loam, loam, clay-loam and clay soils which occupy a large share of agricultural land. These soils are soils with a normal variation of soil elements, with normal soil formation in different geomorphological conditions including soils developed from carbonate rocks.

Light soils: soils developed from very light and poor parent rocks such as sands and gravels. These soils are classified according to percentage of fine particles (< 0.01 mm), showing a maximum of 20%. They are characterized by a very low absorption capacity.

6.1 Arzén (As)

V zemědělských půdách v celém souboru dat BMP se obsahy arzenu v roce 2013 pohybovaly v rozsahu 3,59–536 mg.kg⁻¹ (v ornici), medián přibližně kolem hodnoty 8 mg.kg⁻¹ v základním subsystému, v subsystému kontaminovaných ploch byly hodnoty vyšší. Vyšší obsahy As lze očekávat spíše v české části republiky. Z hlediska platného limitu – preventivní hodnoty, náleží As do skupiny tří prvků (As, Cd, Zn), u nichž v rámci BMP dochází k překročení limitu na více než 10 % monitorovacích ploch. Preventivní hodnota pro As byla překročena celkem na 29 plochách BMP (13,6 %).

Mediány obsahů As v základním subsystému se během období 1995–2013 postupně zvyšovaly; statisticky průkazné zvýšení je však doloženo pouze pro orné půdy. V subsystému kontaminovaných ploch jsou mediány v uvedeném období vyrovnané. Ke zvýšení obsahů As došlo na většině ploch BMP. Ze sledovaných 177 ploch se nárůst obsahů projevil na 161 plochách. V průměru se obsah As zvýšil přibližně o 1,7 mg.kg⁻¹ (zvýšení proti roku 1995 činí cca 30 %).

6.1 Arsenic (As)

In 2013, arsenic concentrations in agricultural soils in the whole BSMS data set ranged from 3.59 to 536 mg.kg⁻¹ (in the topsoil) with the median value of approximately 8 mg.kg⁻¹ in the basal subsystem and higher in the subsystem of contaminated plots. Higher concentrations of As were likely to be expected mainly in the Bohemian region in the Czech Republic. In the light of an applicable limit – the precautionary value, As belongs to a group of three elements (As, Cd, Zn) whose contents were exceeded in more than 10% of monitoring areas. Arsenic precautionary value was exceeded in 29 BSMS plots (13.6 %).

Median As content showed a gradual increase in the basal subsystem during the period 1995–2013; however, a statistically significant increase was recorded just in arable soil. Median values in the subsystem of contaminated plots were balanced during the period indicated. The As amounts increased in most BSMS plots. Arsenic content increased in 161 plots out of 177 monitoring plots. On average, As content increased approximately by 1.7 mg.kg⁻¹ (the increase against 1995 is approximately by 30%).

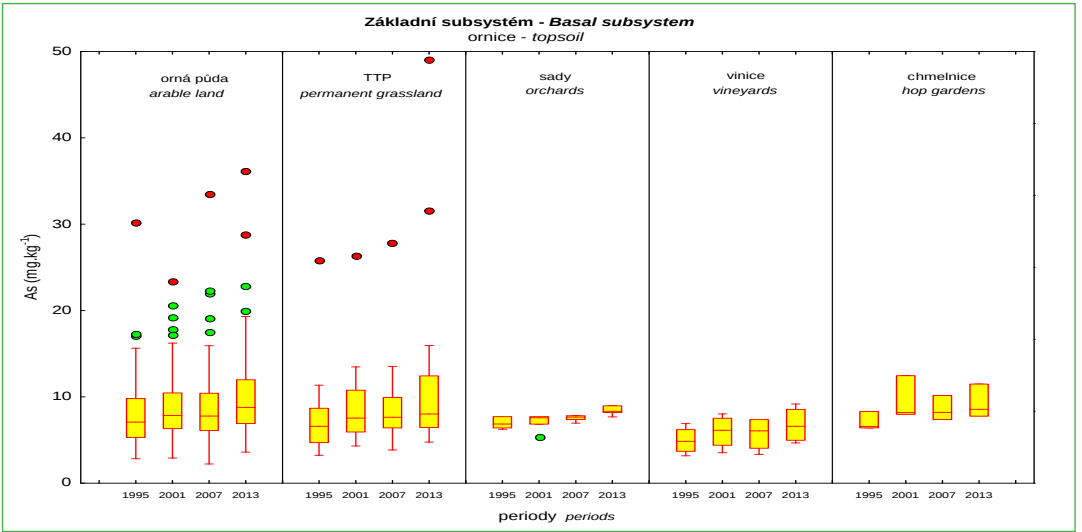
Tabulka 25. Deskriptivní statistika obsahů arzenu (As) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 25 Descriptive statistics of arsenic (As) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	9,73	2,83	202	4,75	5,45	7,25	9,78	13,6
	2001	117	10,4	3,06	165	5,80	6,54	7,96	10,4	14,9
	2007	117	10,9	2,76	221	5,31	6,47	7,79	10,4	14,7
	2013	117	11,7	4,47	196	6,15	7,38	8,90	12,0	15,4
TTP / Permanent grassland	1995	15	8,06	3,23	25,9	4,50	5,20	6,73	8,68	11,4
	2001	15	9,16	4,99	26,3	5,12	5,94	7,67	10,8	13,5
	2007	15	9,30	3,85	27,8	4,47	6,40	7,73	9,93	13,5
	2013	15	12,8	5,39	49,1	5,88	6,45	8,06	12,4	31,6
Sady / Orchards	1995	5	89,4	6,25	420	6,25	6,40	6,85	7,70	420
	2001	5	106	5,37	500	5,37	6,84	7,58	7,70	500
	2007	5	116	6,97	550	6,97	7,37	7,65	7,81	550
	2013	5	93,2	7,68	433	7,68	8,19	8,32	8,96	433
Vinice / Vineyards	1995	2	6,20	5,50	6,90	5,50	5,50	6,20	6,90	6,90
	2001	2	7,51	7,01	8,02	7,01	7,01	7,51	8,02	8,02
	2007	2	7,36	7,35	7,37	7,35	7,35	7,36	7,37	7,37
	2013	2	8,54	7,92	9,17	7,92	7,92	8,54	9,17	9,17
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	7,08	6,40	8,30	6,40	6,40	6,55	8,30	8,30
	2001	3	9,53	7,98	12,4	7,98	7,98	8,18	12,4	12,4
	2007	3	8,57	7,37	10,1	7,37	7,37	8,20	10,1	10,1
	2013	3	9,27	7,77	11,5	7,77	7,77	8,56	11,5	11,5

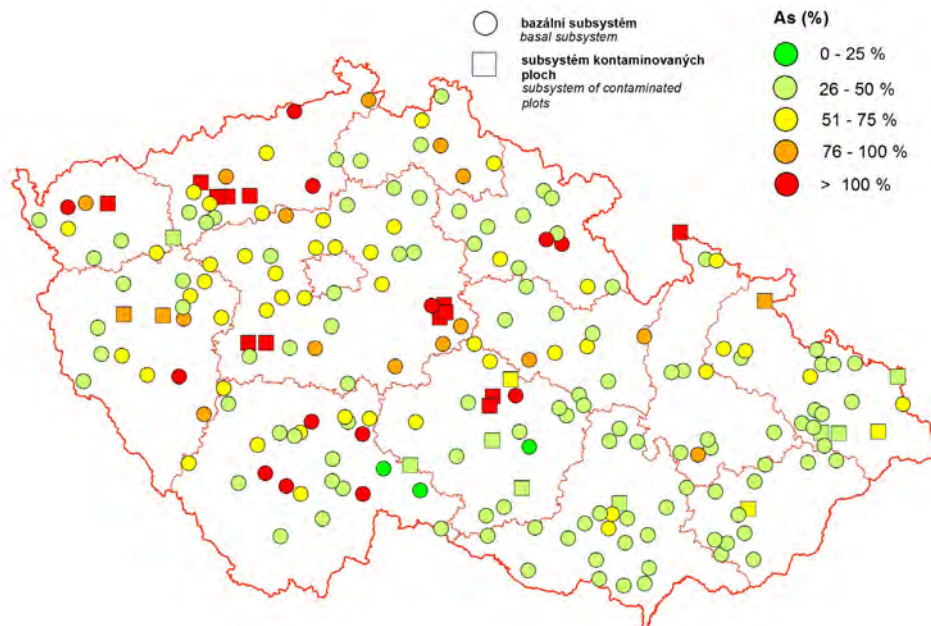
Obrázek 60. Rozpětí obsahů arzenu (As) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 60. Range of arsenic (As) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



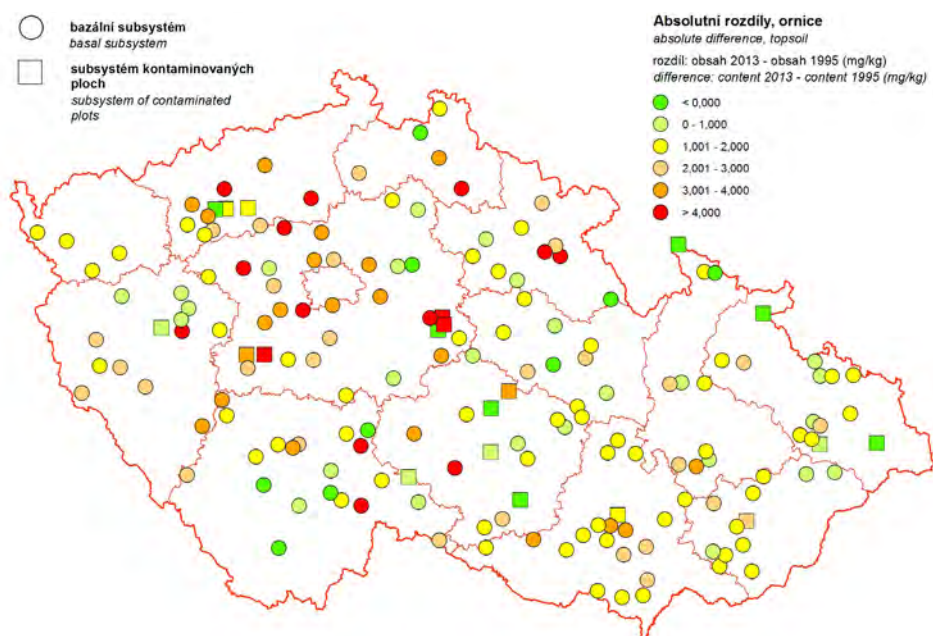
Obrázek 61. Obsahy arzénu (As) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 61. Arsenic (As) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 62. Změny obsahů arzénu (As) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 62. Changes in arsenic (As) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.2 Beryllium (Be)

Rozsah obsahů Be v celém souboru dat BMP pro orniční horizont činil v roce 2013 0,26–9,22 mg.kg⁻¹, mediány se pohybují kolem hodnoty 1 mg.kg⁻¹. Zvýšené obsahy Be nalézáme v karlovarském a sokolovském okrese. V případě hodnocení obsahů Be v půdě na základě preventivních hodnot dochází k překročení limitu častěji u půd lehkých. Limit byl překročen na 12 % monitorovacích ploch s lehkou půdou a na 3,7 % ploch s ostatní půdou. Celkem byla preventivní hodnota překročena na 4,7 % monitorovacích ploch.

Mediány obsahů Be od roku 1995 klesly ve všech kulturách základního subsystému. Snížení obsahů Be je statisticky průkazné pro orniční i podorniční horizonty orných půd, TTP a v případě sadů pro orniční horizont. V subsystému kontaminovaných ploch jsou mediány vyrovnané s výjimkou chmelnic (zde dochází k poklesu obsahů Be). Ke snížení obsahů Be došlo téměř na všech plochách BMP – ze sledovaných 177 ploch došlo k jeho poklesu na 170 monitorovacích plochách. Obsah Be klesl v průměru o 0,25 mg.kg⁻¹ (pokles přibližně o 40 % proti roku 1995).

6.2 Beryllium (Be)

In 2013, Be concentrations in the whole BSMS data set ranged from 0.26 to 9.22 mg.kg⁻¹ in the topsoil horizon with the median value of around 1 mg.kg⁻¹. High levels of Be were recorded in Karlovy Vary and Sokolov region. Assessing the content of Be in the soil in relation to the precautionary value, the limits were exceeded more frequently in light soils. The limit was exceeded in 12% of monitoring plots in light soils and in 3.7% of plots in other soils. In total, the precautionary value was exceeded in 4.7% of monitoring plots.

Median values of Be have shown a decrease in all cultures of the basal subsystem since 1995. The drop in Be concentration was statistically significant for the topsoil and subsoil horizons in arable land, permanent grassland, and for the topsoil horizon in orchards. In the subsystem of contaminated plots, medians were balanced except in cases of hop gardens (there was a drop in Be concentration here). Beryllium content decreased in almost all BSMS plots – of the 177 monitoring plots the decrease in contents was recorded in 170 monitoring plots. On average, the Be content decreased approximately by 0.25 mg.kg⁻¹ (a decrease by about 40% in relation to 1995).

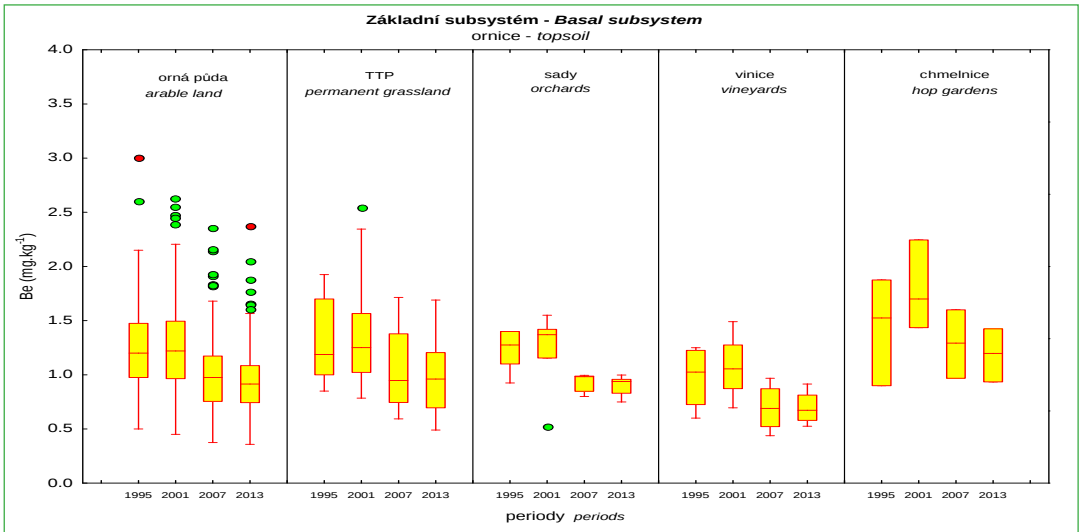
Tabulka 26. Deskriptivní statistika obsahů berylia (Be) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 26. Descriptive statistics of beryllium (Be) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	1,26	0,60	3,00	0,85	1,00	1,25	1,48	1,65
	2001	117	1,29	0,57	2,63	0,78	1,00	1,25	1,51	1,71
	2007	117	1,03	0,49	2,36	0,66	0,76	0,98	1,17	1,42
	2013	117	0,97	0,47	2,37	0,63	0,76	0,92	1,11	1,31
TTP / Permanent grassland	1995	15	1,38	0,90	1,93	1,00	1,10	1,25	1,73	1,88
	2001	15	1,50	0,79	2,55	1,00	1,20	1,38	1,82	2,35
	2007	15	1,11	0,62	1,72	0,65	0,82	1,01	1,38	1,68
	2013	15	1,07	0,63	1,69	0,64	0,75	1,06	1,34	1,59
Sady / Orchards	1995	5	1,22	0,93	1,40	0,93	1,10	1,28	1,40	1,40
	2001	5	1,20	0,52	1,55	0,52	1,16	1,37	1,42	1,55
	2007	5	0,92	0,80	1,00	0,80	0,85	0,98	0,99	1,00
	2013	5	0,89	0,75	1,00	0,75	0,83	0,94	0,96	1,00
Vinice / Vineyards	1995	2	1,23	1,20	1,25	1,20	1,20	1,23	1,25	1,25
	2001	2	1,27	1,05	1,49	1,05	1,05	1,27	1,49	1,49
	2007	2	0,87	0,78	0,97	0,78	0,78	0,87	0,97	0,97
	2013	2	0,81	0,71	0,92	0,71	0,71	0,81	0,92	0,92
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	1,43	0,90	1,88	0,90	0,90	1,53	1,88	1,88
	2001	3	1,79	1,44	2,25	1,44	1,44	1,70	2,25	2,25
	2007	3	1,29	0,97	1,60	0,97	0,97	1,29	1,60	1,60
	2013	3	1,19	0,94	1,43	0,94	0,94	1,20	1,43	1,43

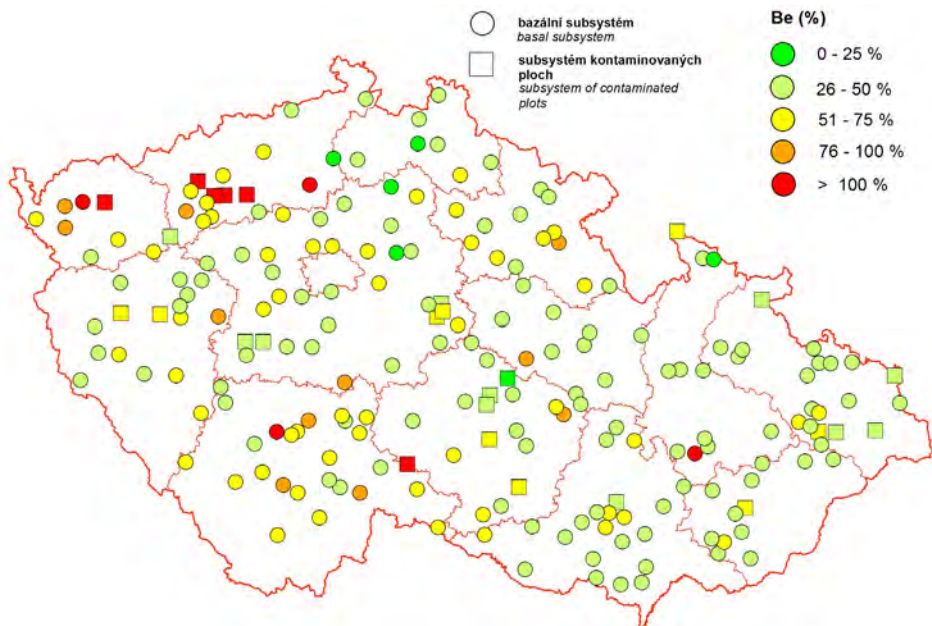
Obrázek 63. Rozpětí obsahů berylia (Be) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 63. Range of beryllium (Be) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



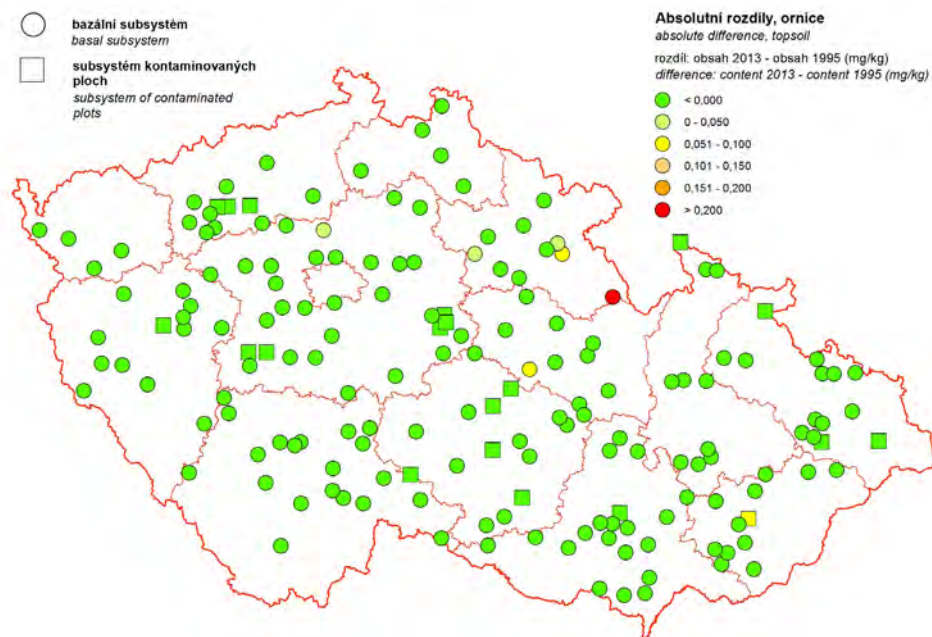
Obrázek 64. Obsahy berylia (Be) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 64. Beryllium (Be) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 65. Změny obsahů berylia (Be) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 65. Changes in beryllium (Be) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.3 Kadmium (Cd)

V celém souboru dat BMP se obsahy Cd v roce 2013 v orničním horizontu pohybovaly v rozmezí $<0,2\text{--}7,45\text{ mg.kg}^{-1}$. Mediány v základním subsystému jsou v rozsahu $<0,2\text{--}0,36\text{ mg.kg}^{-1}$, v subsystému kontaminovaných ploch jsou hodnoty vyšší. Zvýšené obsahy tohoto typického antropogenního kontaminantu lze očekávat v okolí Ostravy, v průmyslových oblastech severních a severozápadních Čech, v okolí Příbrami, Berouna, Kladna, Slaného, Liberce a také v Praze. Z hlediska hodnocení obsahů Cd v půdě pomocí preventivních hodnot řadíme Cd do skupiny tří prvků (As, Cd, Zn), u nichž v rámci BMP dochází k překročení limitu na více než 10 % monitorovacích ploch. Preventivní hodnota pro Cd byla překročena na 32 plochách BMP (15 %).

Mediány obsahů Cd v základním subsystému kolísají, trend není jasný, pouze v orničním horizontu orných půd lze pozorovat pokles hodnot. V subsystému kontaminovaných ploch lze pozorovat výrazný pokles hodnot mediánů, s výjimkou chmelnic. Na chmelnicích se obsahy Cd drží stále na stejné úrovni.

6.3 Cadmium (Cd)

In 2013, Cd concentrations in the whole BSMS data set ranged from $<0.2\text{--}7.45\text{ mg.kg}^{-1}$ for the topsoil horizon; the median values were between $<0.2\text{--}0.36\text{ mg.kg}^{-1}$, higher values were recorded in the subsystem of contaminated plots. High concentrations of this typical anthropogenic contaminant were likely to occur in Ostrava region, in the industrial areas of northern and north-western Bohemia, in Příbram, Beroun, Kladno, Slaný and Liberec region as well as in Prague. Assessing contents of Cd in the soil in relation to the precautionary value, this element belongs to a group of three elements (As, Cd, Zn) whose contents were exceeded in more than 10% of monitoring plots. Cadmium precautionary value was exceeded in 32 BSMS plots (15%).

Median values of Cd fluctuated in basal subsystem, the trend was not clear; a decline in the values could be seen in the topsoil in arable lands. A severe drop in median values was recorded in the subsystem of contaminated plots, except in cases of hop gardens where the Cd concentrations were maintained at the same level.

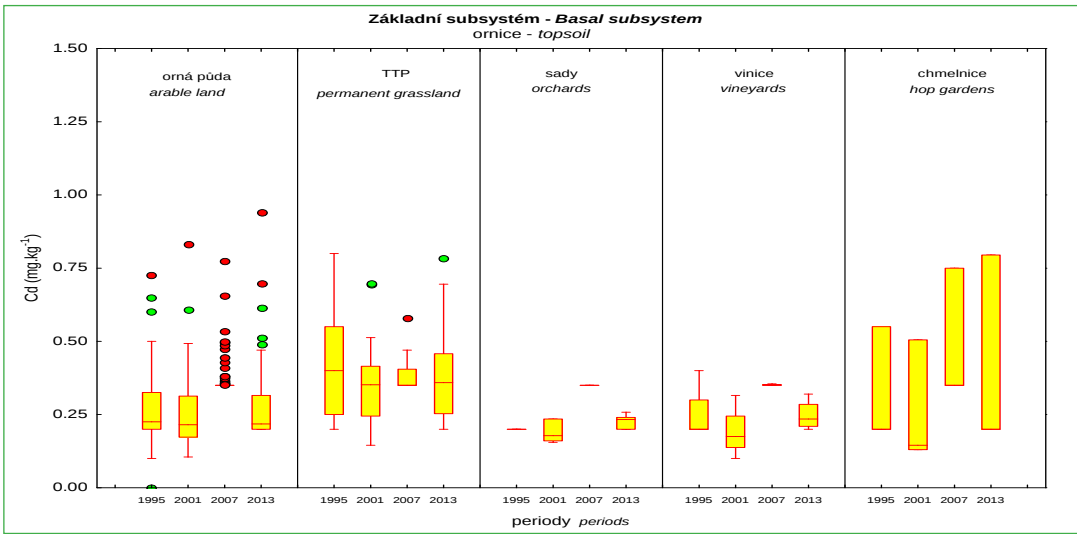
Tabulka 27. Deskriptivní statistika obsahů kadmia (Cd) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 27. Descriptive statistics of cadmium (Cd) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	0,28	0,00	0,73	0,20	0,20	0,23	0,33	0,40
	2001	117	0,26	0,11	0,83	0,14	0,18	0,22	0,31	0,43
	2007	117	0,37	0,35	0,78	0,35	0,35	0,35	0,35	0,38
	2013	117	0,27	0,20	0,94	0,20	0,20	0,22	0,32	0,44
TTP / Permanent grassland	1995	15	0,41	0,20	0,80	0,20	0,25	0,40	0,58	0,60
	2001	15	0,37	0,15	0,70	0,18	0,25	0,34	0,46	0,69
	2007	15	0,39	0,35	0,58	0,35	0,35	0,35	0,41	0,47
	2013	15	0,39	0,20	0,79	0,20	0,25	0,37	0,47	0,70
Sady / Orchards	1995	5	1,00	0,20	4,20	0,20	0,20	0,20	0,20	4,20
	2001	5	1,07	0,16	4,61	0,16	0,16	0,18	0,24	4,61
	2007	5	1,14	0,35	4,28	0,35	0,35	0,35	0,35	4,28
	2013	5	0,23	0,20	0,26	0,20	0,20	0,23	0,24	0,26
Vinice / Vineyards	1995	2	0,30	0,20	0,40	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40
	2001	2	0,25	0,18	0,32	0,18	0,18	0,25	0,32	0,32
	2007	2	0,35	0,35	0,36	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36
	2013	2	0,27	0,22	0,32	0,22	0,22	0,27	0,32	0,32
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	0,32	0,20	0,55	0,20	0,20	0,20	0,55	0,55
	2001	3	0,26	0,13	0,51	0,13	0,13	0,15	0,51	0,51
	2007	3	0,48	0,35	0,75	0,35	0,35	0,35	0,75	0,75
	2013	3	0,40	0,20	0,80	0,20	0,20	0,20	0,80	0,80

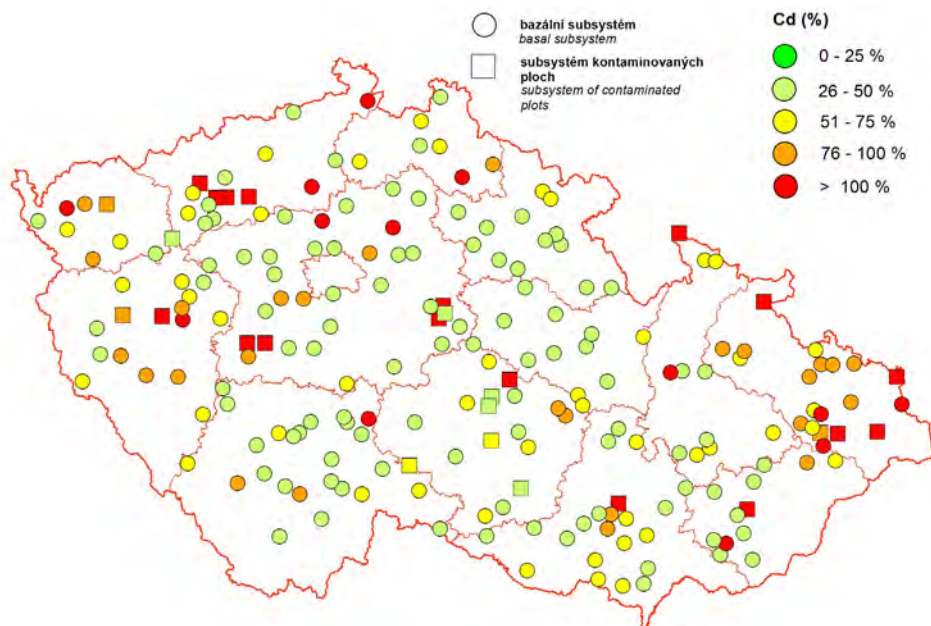
Obrázek 66. Rozpětí obsahů kadmia (Cd) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 66. Range of cadmium (Cd) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



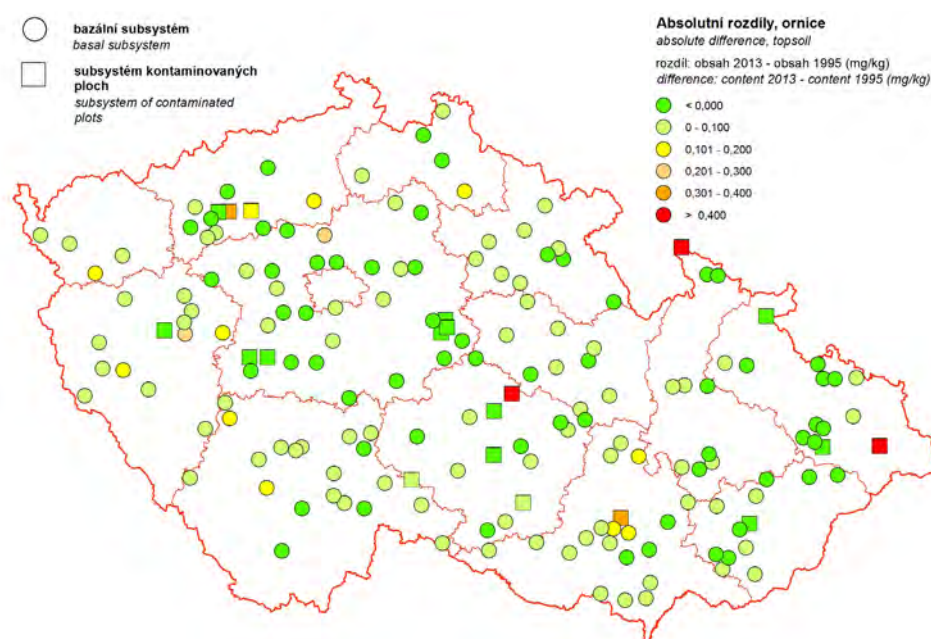
Obrázek 67. Obsahy kadmia (Cd) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 67. Cadmium (Cd) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 68. Změny obsahů kadmia (Cd) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 68. Changes in cadmium (Cd) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.4 Kobalt (Co)

Rozsah obsahů Co v půdách BMP v roce 2013 v orničním horizontu činil 1,94–32,9 mg.kg⁻¹. Mediány pro jednotlivé kultury v základním subsystému se pohybují kolem hodnoty 11 mg.kg⁻¹, v subsystému kontaminovaných ploch jsou hodnoty vyšší. Lze konstatovat, že obsahy Co mírně rostou směrem do hloubky, průkazné rozdíly mezi vzorkovanými horizonty však nebyly statisticky prokázány. Preventivní hodnoty pro Co byly překročeny pouze na čtyřech monitorovacích plochách (1,9 %). Zvýšené obsahy Co lze očekávat v severočeském regionu a případně v říčních nivách.

Mediány obsahů Co v základním subsystému od roku 1995 mírně rostou, statisticky průkazné zvýšení obsahů však nebylo prokázáno. V subsystému kontaminovaných ploch jsou mediány vyrovnané. Ke zvýšení obsahu Co v orničním horizontu došlo na 85 % orných půd v základním subsystému; v celém systému monitoringu vzrostl obsah Co na 75 % ploch přibližně o 1,1 mg.kg⁻¹ (zvýšení cca o 10 % proti roku 1995).

6.4 Cobalt (Co)

In 2013, Co concentrations in the whole BSMS data set ranged from 1.94 to 32.9 mg.kg⁻¹ in the topsoil horizon; the median values for individual cultures in the basal subsystem showed approximately 11 mg.kg⁻¹, higher values were recorded in the subsystem of contaminated plots. It can be concluded that the concentrations of Co showed a downward trend; however, significant differences between the sampled horizons were not statistically proven. The precautionary value for Co was exceeded in four monitoring plots (1.9%). High concentrations of Co were likely to occur in the North Bohemian region and possibly in river basins.

Median values of Co in the basal subsystem have been growing moderately since 1995; however, no statistically significant increase was recorded. The median values were balanced in the subsystem of contaminated plots. An increase in the Co content in the topsoil horizon occurred in 85% of arable land in basal subsystem; in the whole monitoring scheme, the Co content increased to 75% of monitoring plots by approximately 1.1 mg.kg⁻¹ (an increase by about 10% in relation to 1995).

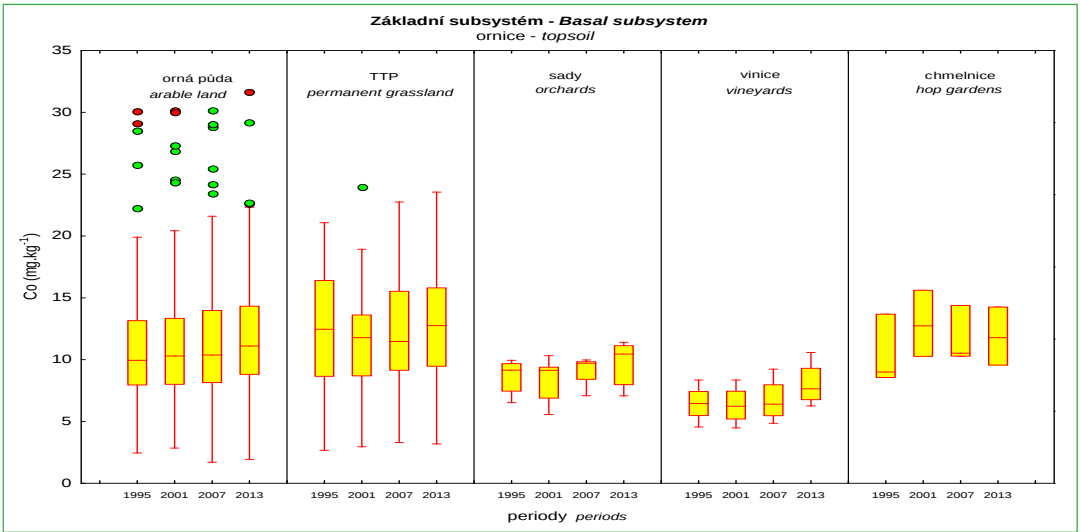
Tabulka 28. Deskriptivní statistika obsahů kobaltu (Co) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 28. Descriptive statistics of cobalt (Co) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	10,9	3,80	28,5	6,20	8,40	10,1	13,2	16,3
	2001	117	11,2	3,13	30,1	6,52	8,21	10,3	13,3	16,5
	2007	117	11,4	3,38	30,2	6,61	8,24	10,4	14,0	16,7
	2013	117	12,0	3,55	31,6	7,01	9,15	11,1	14,3	17,1
TTP / Permanent grassland	1995	15	13,2	3,63	21,1	8,55	9,05	12,9	16,6	20,8
	2001	15	12,7	3,63	24,0	8,03	8,69	12,2	16,5	18,9
	2007	15	12,8	3,75	22,8	8,40	9,38	11,7	16,4	20,7
	2013	15	13,8	3,70	23,6	8,90	9,84	13,6	17,1	22,6
Sady / Orchards	1995	5	8,55	6,53	9,95	6,53	7,45	9,15	9,68	9,95
	2001	5	8,26	5,56	10,3	5,56	6,89	9,15	9,39	10,3
	2007	5	9,00	7,09	9,98	7,09	8,42	9,71	9,84	9,98
	2013	5	9,60	7,08	11,4	7,08	7,97	10,5	11,1	11,4
Vinice / Vineyards	1995	2	7,43	6,50	8,35	6,50	6,50	7,43	8,35	8,35
	2001	2	7,13	5,92	8,35	5,92	5,92	7,13	8,35	8,35
	2007	2	7,66	6,08	9,23	6,08	6,08	7,66	9,23	9,23
	2013	2	8,92	7,26	10,6	7,26	7,26	8,92	10,6	10,6
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	10,4	8,55	13,7	8,55	8,55	9,00	13,7	13,7
	2001	3	12,9	10,3	15,6	10,3	10,3	12,7	15,6	15,6
	2007	3	11,7	10,3	14,4	10,3	10,3	10,5	14,4	14,4
	2013	3	11,9	9,56	14,3	9,56	9,56	11,8	14,3	14,3

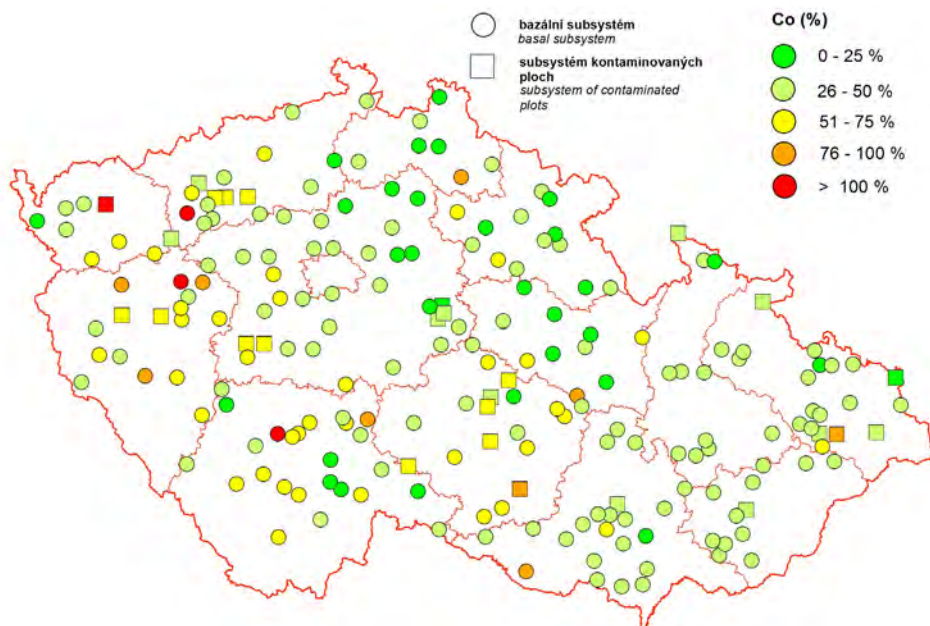
Obrázek 69. Rozpětí obsahů kobaltu (Co) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 69. Range of cobalt (Co) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



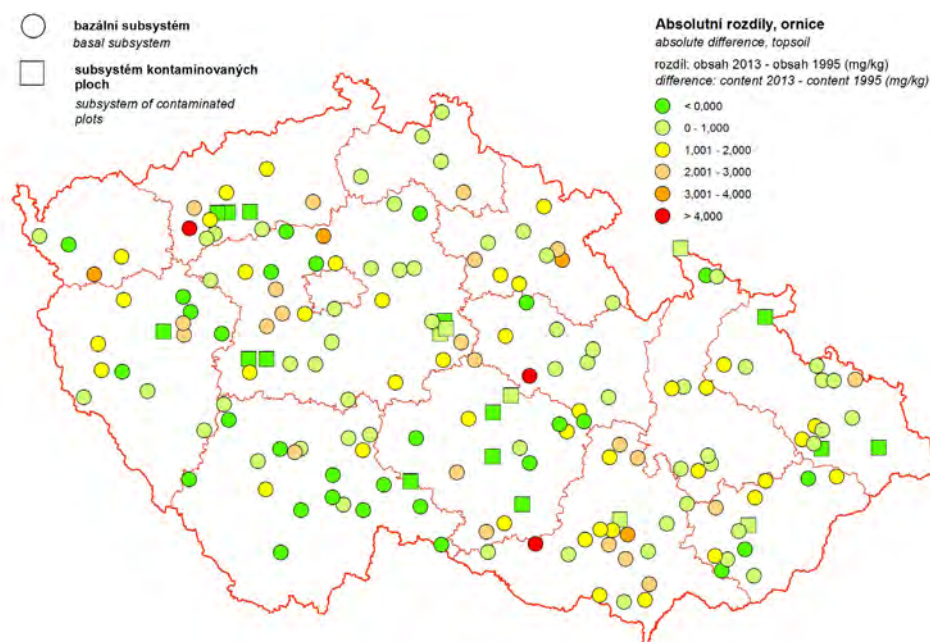
Obrázek 70. Obsahy kobaltu (Co) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 70. Cobalt (Co) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 71. Změny obsahů kobaltu (Co) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 71: Changes in cobalt (Co) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.5 Chrom (Cr)

Obsahy Cr v orničním horizontu celého souboru dat BMP se v roce 2013 nacházely v rozsahu hodnot 10,2–18 050 mg.kg⁻¹. Mediány vypočtené pro jednotlivé kultury základního subsystému BMP jsou v rozmezí 34–38 mg.kg⁻¹. V České republice existují oblasti typické zvýšenými obsahy Cr v půdě, např. oblast třebíčského masívu. V půdách BMP nalézáme zvýšené obsahy Cr na Vysočině a v jižních Čechách. U chromu jako typického geogenního kontaminantu je očekáván nárůst obsahů směrem do hloubky. Na lokalitách BMP však nebyly rozdíly v obsazích Cr mezi horizonty potvrzeny. Preventivní hodnota pro Cr byla překročena celkem na 9 plochách BMP (4,2 %).

Obsahy Cr v orničním horizontu v celém systému monitoringu na 60 % ploch od roku 1995 klesly, přičemž pokles činí přibližně 20 %. Na ostatních plochách došlo cca k 10% nárůstu obsahů. Ke zvýšení obsahů došlo zejména v oblasti Jihomoravského kraje a přiléhajících částech kraje Zlínského, Olomouckého a kraje Vysočina. Celkové obsahy Cr v uvedené oblasti nijak nevybočují z celorepublikového průměru, ale v tomto území došlo k největšímu zvýšení obsahů chromu v rámci BMP.

6.5 Chromium (Cr)

In 2013, Cr concentrations in the whole BSMS data set ranged from 10.2 to 18,050 mg.kg⁻¹ in the topsoil horizon; the median values calculated for individual cultures of BSMS basal subsystem were between 34 and 38 mg.kg⁻¹. There are some locations in the Czech Republic characterised by elevated levels of Cr in the soil, for example an area around the Třebíč Massif. High concentrations of Cr in BSMS soils were recorded in Vysočina region and in South Bohemia. Concentrations of Cr as a typical geogenic contaminant were likely to show a downward trend. In BSMS plots, no differences in Cr contents between horizons were confirmed. The precautionary value for Cr was exceeded in 9 BSMS plots (4.2%).

Since 1995, Cr contents in the topsoil horizon in the whole monitoring scheme have decreased in 60% of monitoring plots, approximately by 20%. In other plots, there was an increase in the content by about 10%. The South Moravian Region and the adjacent areas of Zlín and Olomouc regions showed the largest increase in Cr concentration compared to initial values. The total content of Cr in these areas did not deviate from the national average; however, this area showed the highest increase in Cr content within the BSMS scheme.

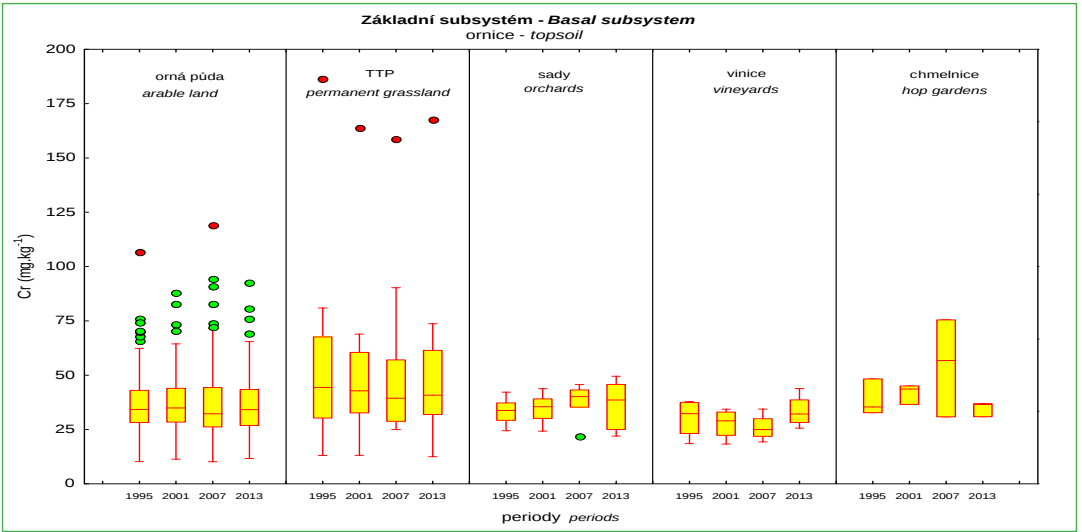
Tabulka 29. Deskriptivní statistika obsahů chromu (Cr) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 29. Descriptive statistics of chromium (Cd) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	37,7	17,1	106	22,1	28,5	34,7	43,0	53,8
	2001	117	37,9	15,8	87,8	22,8	29,8	35,8	44,0	55,5
	2007	117	37,2	13,3	119,1	20,7	26,9	32,9	44,6	54,2
	2013	117	37,3	17,6	92,8	22,2	28,0	34,4	43,9	54,3
TTP / Permanent grassland	1995	15	48,1	13,9	80,9	29,3	32,7	51,5	67,6	68,7
	2001	15	45,9	13,5	68,9	30,6	32,8	48,6	60,5	64,3
	2007	15	44,6	25,0	90,3	26,3	28,5	43,8	57,1	62,2
	2013	15	45,5	12,5	73,7	27,2	31,9	45,3	61,5	69,2
Sady / Orchards	1995	5	33,4	24,4	42,2	24,4	29,3	33,8	37,3	42,2
	2001	5	34,5	24,2	43,8	24,2	30,1	35,5	39,1	43,8
	2007	5	37,2	21,8	45,7	21,8	35,3	40,1	43,2	45,7
	2013	5	36,2	22,0	49,6	22,0	25,0	38,6	45,8	49,6
Vinice / Vineyards	1995	2	37,4	36,9	37,9	36,9	36,9	37,4	37,9	37,9
	2001	2	33,0	31,7	34,4	31,7	31,7	33,0	34,4	34,4
	2007	2	30,0	25,6	34,4	25,6	25,6	30,0	34,4	34,4
	2013	2	38,6	33,4	43,9	33,4	33,4	38,6	43,9	43,9
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	38,8	32,8	48,3	32,8	32,8	35,4	48,3	48,3
	2001	3	41,7	36,5	45,0	36,5	36,5	43,6	45,0	45,0
	2007	3	54,3	30,9	75,5	30,9	30,9	56,7	75,5	75,5
	2013	3	34,8	30,9	36,9	30,9	30,9	36,5	36,9	36,9

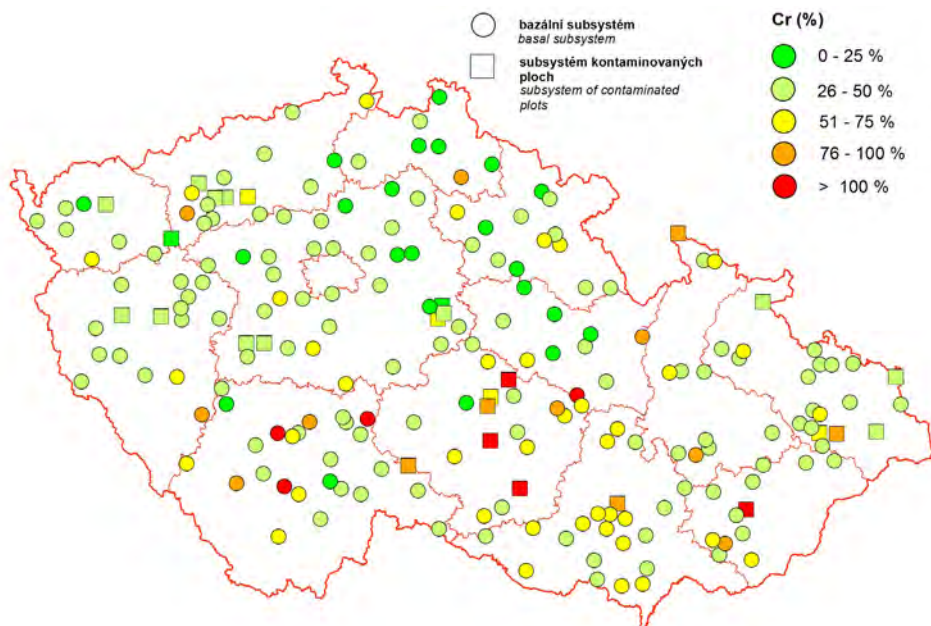
Obrázek 72. Rozpětí obsahů chromu (Cr) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 72. Range of chromium (Cr) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



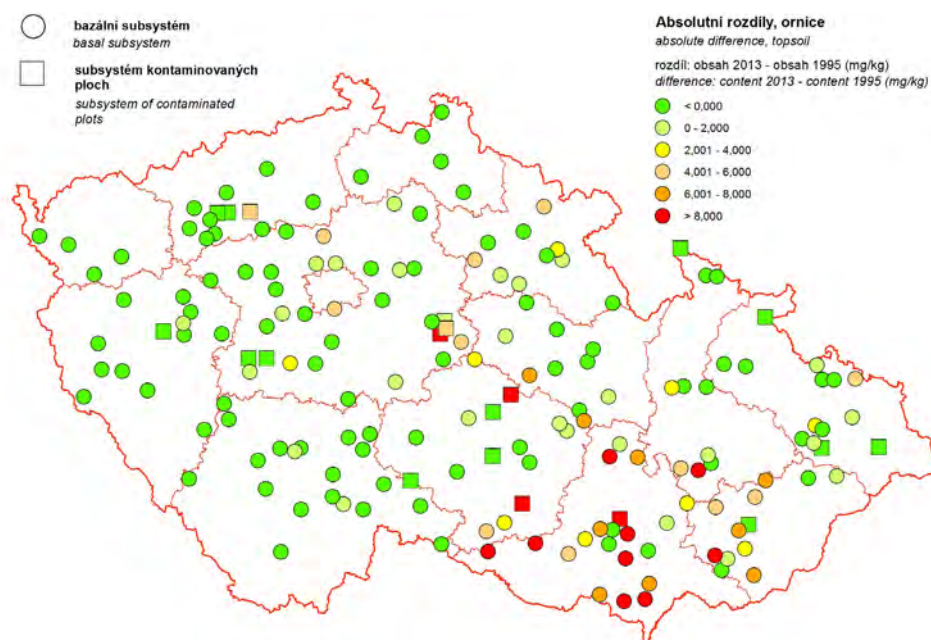
Obrázek 73. Obsahy chromu (Cr) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 73. Chromium (Cr) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 74. Změny obsahů chromu (Cr) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 74. Changes in chromium (Cr) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.6 Měď (Cu)

Obsahy Cu ve vzorcích orničního horizontu kolísaly v roce 2013 v rozsahu 4,7–231 mg.kg⁻¹. Vyšší obsahy Cu lze očekávat zejména v severních Čechách (v Ústeckém kraji), na Kutnohorsku a vysoký obsah byl zjištěn také v okrese Bruntál. V případě Cu byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi obsahy v jednotlivých kulturách. Obsahy Cu v orných půdách, TTP a sadech v základním subsystému jsou vyrovnané a statisticky průkazně nižší, než obsahy z vinic a chmelnic. Vysoké obsahy Cu ve vinicích a chmelnicích jsou jasným důsledkem dlouhodobého používání přípravků na ochranu rostlin s obsahem mědi. U vinic a chmelnic byly dále zjištěny průkazně vyšší obsahy Cu v orničním horizontu proti obsahům z horizontu podorničního. Preventivní hodnota pro Cu byla překročena ve 12 % ploch na lehkých půdách, na půdách ostatních v 5,8 %. Celkem byla preventivní hodnota překročena na 14 monitorovacích plochách (6,5 %).

Obsahy Cu na monitorovacích plochách BMP jsou vyrovnané s výjimkou vinic a chmelnic, na nichž dochází k neustálému zvyšování obsahů Cu. V České republice lze vytyčit dvě oblasti s absolutními rozdíly mezi obsahy v roce 2013 a 1995 většími než 4 mg.kg⁻¹. První oblast, na jižní Moravě, je tvořena převážně vinicemi, druhá oblast se nachází v Čechách a převážně ji tvoří chmelnice.

6.6 Copper (Cu)

In 2013, Cu concentrations in the topsoil horizon ranged 4.7–231 mg.kg⁻¹. Higher Cu contents were likely to be expected mainly in northern Bohemia (in Ústí nad Labem region), Kutná Hora region and decreased levels were also recorded in the region of Bruntál. In the case of Cu, statistically significant differences between the contents in various cultures were found. The Cu contents in arable land, grassland and orchards in the basal subsystem were balanced and statistically significantly lower than the contents recorded in vineyards and hop gardens. High contents of Cu in vineyards and hop gardens were a clear consequence of the prolonged use of plant protection products containing copper. Moreover, the topsoil in vineyards and hop gardens showed significantly higher levels of Cu in comparison to the subsoil. The precautionary value for Cu was exceeded in 12% of the areas in light soils, and 5.8% in other soils. Overall, the precautionary value for Cu was exceeded in 14 monitoring plots (6.5%).

The Cu contents in BSMS plots were balanced with the exception of vineyards and hop gardens which showed a constant increase in Cu content. In the Czech Republic, two regions with absolute differences between the contents higher than 4 mg.kg⁻¹ recorded in 2013 and 1995 were determined. The first area, located in South Moravia, consists mainly of vineyards; the second area, located in Bohemia, consists mainly of hop gardens.

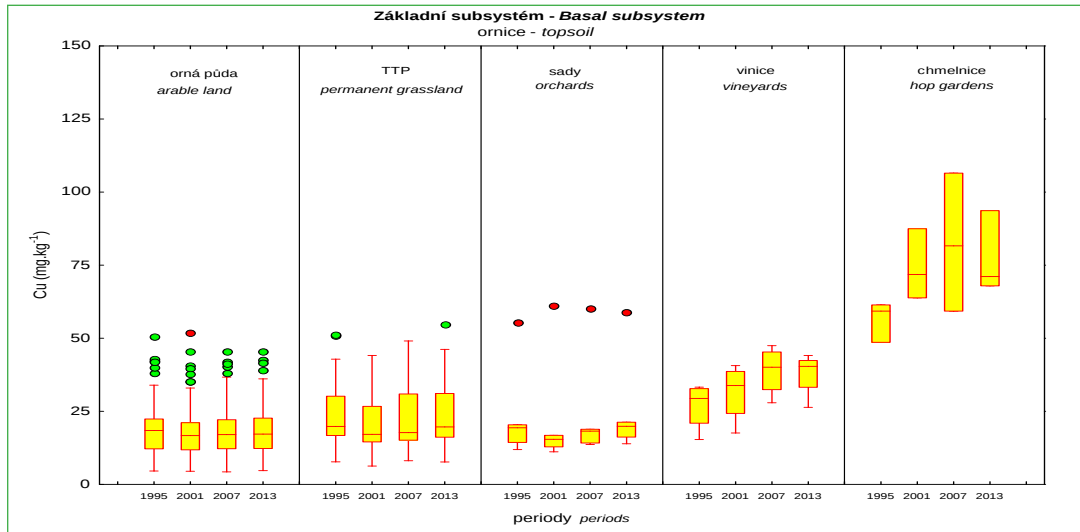
Tabulka 30. Deskriptivní statistika obsahů mědi (Cu) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 30. Descriptive statistics of copper (Cu) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	19,2	6,62	50,7	9,73	12,7	18,6	22,7	31,4
	2001	117	18,2	6,36	52,0	9,03	12,8	17,1	21,2	28,6
	2007	117	18,7	5,34	45,4	9,86	12,7	17,2	22,2	29,9
	2013	117	19,2	6,54	45,4	10,8	13,0	18,2	22,9	30,2
TTP / Permanent grassland	1995	15	24,8	7,74	51,2	11,2	16,8	19,3	30,2	50,9
	2001	15	21,3	6,29	44,1	11,5	14,6	16,9	30,7	37,4
	2007	15	22,4	8,10	49,1	12,5	15,2	17,2	31,0	36,7
	2013	15	23,3	7,70	46,2	12,1	16,2	18,6	31,1	38,8
Sady / Orchards	1995	5	24,3	11,9	55,4	11,9	14,4	19,4	20,4	55,4
	2001	5	23,4	11,1	61,0	11,1	12,8	15,4	16,8	61,0
	2007	5	25,0	13,7	60,1	13,7	14,2	18,2	18,9	60,1
	2013	5	26,0	13,9	59,0	13,9	16,2	19,9	21,3	59,0
Vinice / Vineyards	1995	2	29,9	26,6	33,3	26,6	26,6	29,9	33,3	33,3
	2001	2	35,8	31,0	40,7	31,0	31,0	35,8	40,7	40,7
	2007	2	45,3	43,2	47,5	43,2	43,2	45,3	47,5	47,5
	2013	2	42,4	40,7	44,1	40,7	40,7	42,4	44,1	44,1
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	56,4	48,6	61,4	48,6	48,6	59,3	61,4	61,4
	2001	3	74,4	63,8	87,5	63,8	63,8	71,9	87,5	87,5
	2007	3	82,5	59,3	107	59,3	59,3	81,7	106,5	107
	2013	3	77,6	67,9	93,7	67,9	67,9	71,1	93,7	93,7

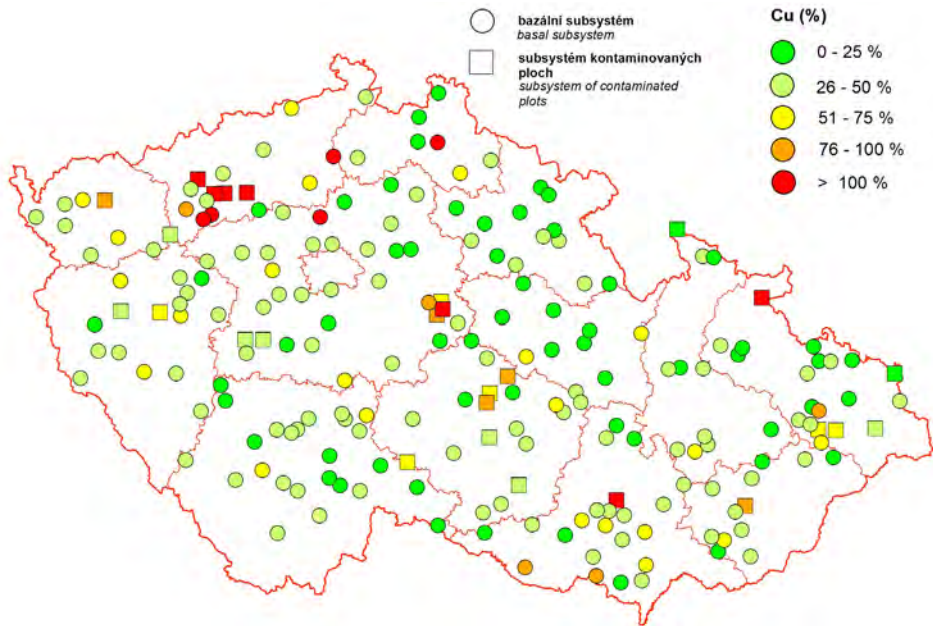
Obrázek 75. Rozpětí obsahů mědi (Cu) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 75. Range of copper (Cu) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



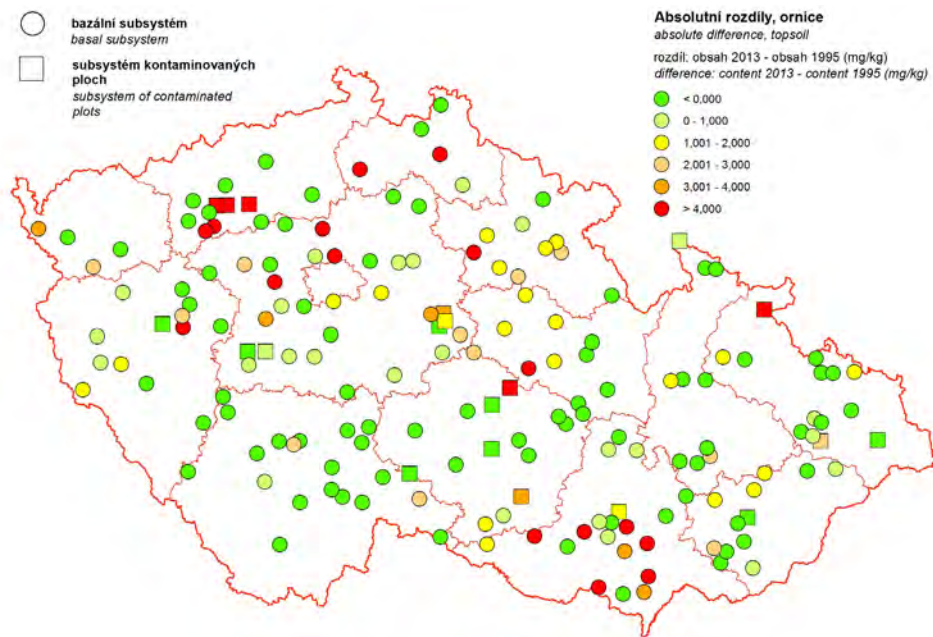
Obrázek 76. Obsahy mědi (Cu) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 76. Copper (Cu) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 77. Změny obsahů mědi (Cu) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 77. Changes in copper (Cu) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.7 Molybden (Mo)

V rámci BMP činil v roce 2013 rozsah obsahů Mo v orničním horizontu celého souboru dat $<0,3\text{--}3,58\text{ mg.kg}^{-1}$. Nejvyšší obsahy Mo byly zjištěny na chmelnicích v subsystému kontaminovaných ploch v severních Čechách. Preventivní hodnoty pro Mo nejsou stanoveny. Mapa obsahů Mo v roce 2013 zde není zobrazena, protože mapy obsahů prvků v roce 2013 jsou vztaženy k preventivním hodnotám.

Mediány obsahů Mo ve všech kulturách a horizontech v období 1995–2013 vzrostly. Nárůst obsahů je statisticky průkazný pro ornou půdu, TTP a sady v základním subsystému. Na 175 plochách (ze 177 sledovaných) vzrostl obsah Mo přibližně o $0,32\text{ mg.kg}^{-1}$, na zbývajících dvou plochách klesl obsah Mo o $0,2\text{ mg.kg}^{-1}$ (cca o 40 %). Relativně došlo ke zvýšení obsahu Mo o 110 % proti roku 1995.

6.7 Molybdenum (Mo)

In 2013, Mo concentrations in the whole BSMS data set ranged from $<0.3\text{--}3.58\text{ mg.kg}^{-1}$ in the topsoil horizon. The highest Mo contents were found in hop gardens in the subsystem of contaminated plots in Northern Bohemia. Precautionary Mo values were not recorded. There is no map showing Mo contents in 2013 since the maps of element contents in 2013 were related to precautionary values.

Median values of Mo in all cultures and horizons in the period 1995–2013 increased. The increase in content was statistically significant for arable land, grassland and orchards in the basal subsystem. In 175 plots (out of 177 considered), the Mo content increased by about 0.32 mg.kg^{-1} , in the other two plots, the Mo content decreased by 0.2 mg.kg^{-1} (by about 40%). The Mo content showed a relative increase by 110% compared to 1995.

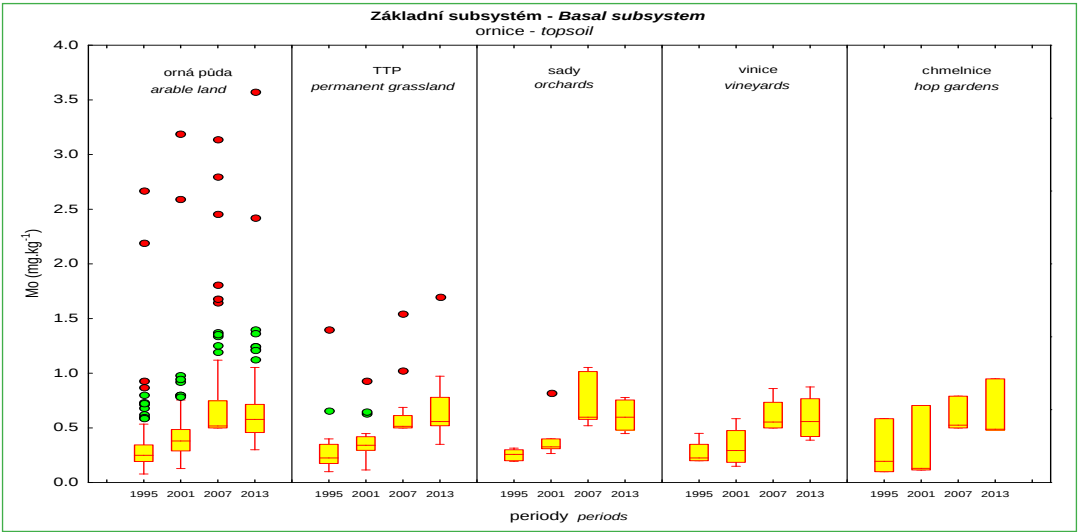
Tabulka 31. Deskriptivní statistika obsahů molybdenu (Mo) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 31. Descriptive statistics of molybdenum (Mo) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	0,33	0,08	2,67	0,14	0,20	0,25	0,35	0,59
	2001	117	0,45	0,13	3,19	0,21	0,29	0,38	0,50	0,72
	2007	117	0,72	0,50	3,14	0,50	0,50	0,53	0,80	1,12
	2013	117	0,67	0,30	3,58	0,38	0,48	0,59	0,74	1,01
TTP / Permanent grassland	1995	15	0,31	0,12	1,40	0,12	0,18	0,24	0,35	0,40
	2001	15	0,39	0,13	0,93	0,24	0,30	0,36	0,42	0,63
	2007	15	0,61	0,50	1,54	0,50	0,50	0,53	0,61	0,69
	2013	15	0,68	0,43	1,70	0,48	0,52	0,56	0,78	0,97
Sady / Orchards	1995	5	0,25	0,20	0,32	0,20	0,20	0,26	0,30	0,32
	2001	5	0,43	0,27	0,82	0,27	0,31	0,33	0,40	0,82
	2007	5	0,75	0,52	1,05	0,52	0,58	0,60	1,02	1,05
	2013	5	0,61	0,45	0,78	0,45	0,48	0,60	0,76	0,78
Vinice / Vineyards	1995	2	0,35	0,25	0,45	0,25	0,25	0,35	0,45	0,45
	2001	2	0,48	0,37	0,58	0,37	0,37	0,48	0,59	0,59
	2007	2	0,73	0,61	0,86	0,61	0,61	0,73	0,86	0,86
	2013	2	0,77	0,66	0,88	0,66	0,66	0,77	0,88	0,88
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	0,29	0,10	0,58	0,10	0,10	0,20	0,59	0,59
	2001	3	0,32	0,12	0,70	0,12	0,12	0,13	0,71	0,71
	2007	3	0,61	0,50	0,79	0,50	0,50	0,53	0,79	0,79
	2013	3	0,64	0,48	0,95	0,48	0,48	0,49	0,95	0,95

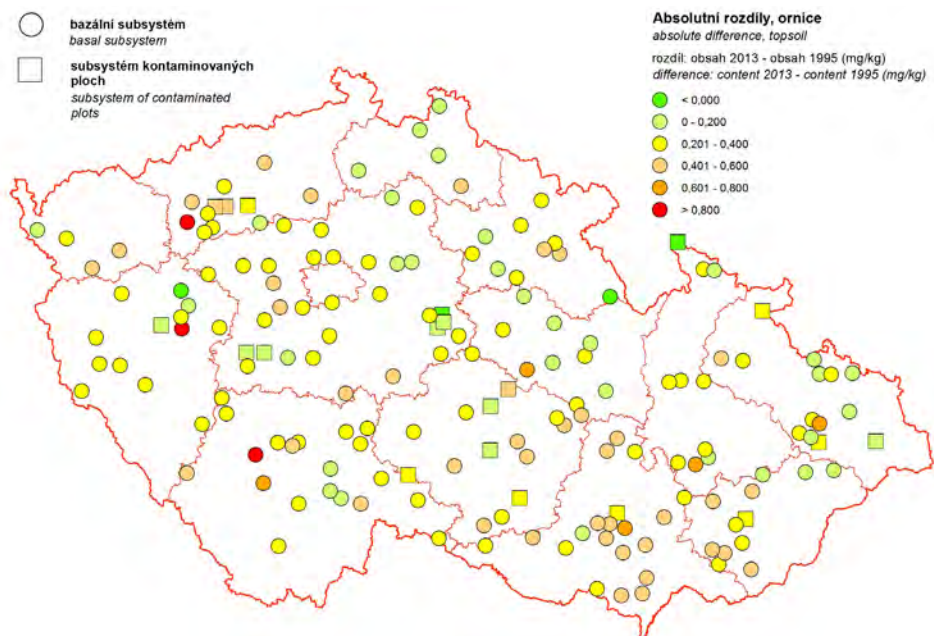
Obrázek 78. Rozpětí obsahů molybdenu (Mo) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 78. Range of molybdenum (mo) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



Obrázek 79. Změny obsahů molybdenu (Mo) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 79. Changes in molybdenum (Mo) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.8 Nikl (Ni)

Rozsah obsahů Ni v orničním horizontu celého souboru dat BMP činil v roce 2013 3,9–136 mg.kg⁻¹. Tradičně vyšší obsahy Ni se nachází v oblasti třebíčského masivu a jižní Moravy, zejména v severní části okresu Znojmo a v okresech Zlín a Uherské Hradiště. Mezi obsahy Ni v různých kulturách nebyly zjištěny žádné průkazné rozdíly, ale byly potvrzeny statisticky průkazně nižší obsahy Ni v ornici orných půd základního subsystému, vzhledem k podornici. Preventivní hodnota pro Ni byla překročena celkem na 13 monitorovacích plochách (6,1 %).

Obsahy Ni v půdách základního subsystému od roku 1995 mírně rostou, více v sadech a vinicích. V půdách subsystému kontaminovaných ploch jsou obsahy Ni od roku 1995 vyrovnané. Z hodnocených 177 monitorovaných ploch došlo ke snížení obsahu Ni na 67 plochách, přičemž snížení činilo přibližně 10 % proti roku 1995. Naopak ke zvýšení obsahů Ni došlo na 108 plochách a vzhledem k roku 1995 činilo cca 17 %. Největší počet ploch, na kterých byl zaznamenán nárůst obsahů Ni, se nachází v Jihomoravském kraji a přilehlých částech kraje Zlínského, Olomouckého a kraje Vysočina. Zvýšení obsahů se projevuje jak v ornici, tak v podornici.

6.8 Nickel (Ni)

In 2013, Ni concentrations in the whole BSMS data set ranged from 3.9 to 3.58 mg.kg⁻¹ in the topsoil horizon. Traditionally, higher contents of Ni were recorded in the region of Třebíč Massif and South Moravia, especially in the northern district of Znojmo and in the districts of Zlín and Uherské Hradiště. No significant differences among the Ni contents in various cultures were recorded; however, lower Ni contents in the topsoil of arable land in basal subsystem were found statistically significant in relation to the subsoil. The precautionary value for Ni was exceeded in 13 monitoring plots (6.1%).

Since 1995, Ni content in the soils of the basal subsystem have been slightly rising, more in orchards and vineyards. In the soils of the subsystem of contaminated plots, the content of Ni has been balanced since 1995. Of the 177 evaluated monitoring plots, Ni levels were reduced in 67 plots, whereby the reduction was approximately 10% compared to 1995. In contrast, an increase in Ni content occurred in 108 plots and compared to 1995 it was about 17%. The largest number of plots in which there was an increase of Ni content is located in the Southern Moravia Region and adjacent parts of the region of Zlín and Olomouc. An increase in the contents reflected both in the topsoil and in the subsoil.

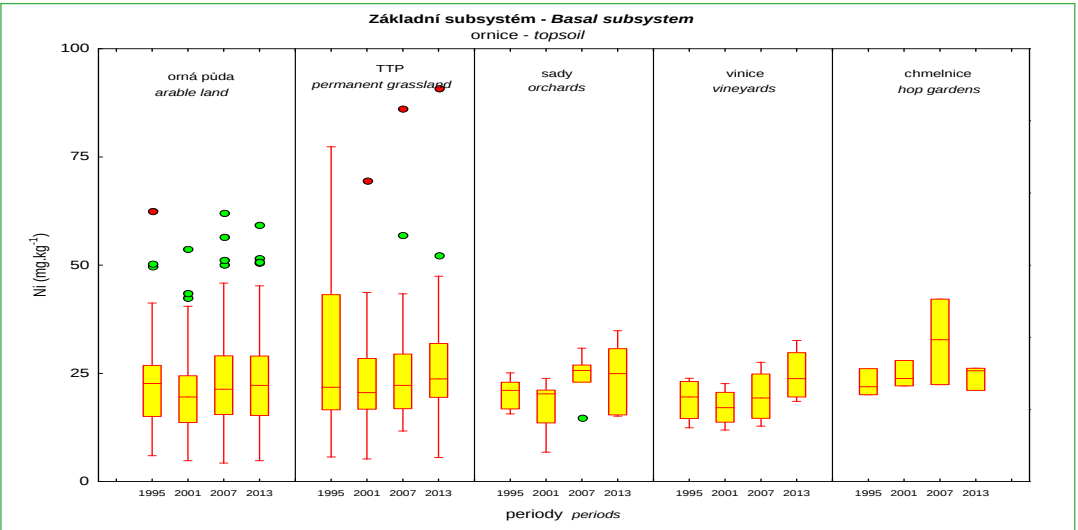
Tabulka 32. Deskriptivní statistika obsahů niklu (Ni) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 32. Descriptive statistics of nickel (Ni) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	22,7	8,52	62,6	11,9	16,1	23,1	26,9	33,3
	2001	117	20,5	7,25	53,8	10,1	14,0	19,6	24,3	29,8
	2007	117	23,6	5,98	62,0	11,3	15,7	21,4	29,2	37,4
	2013	117	24,1	8,56	59,2	11,7	15,9	22,4	29,2	39,0
TTP / Permanent grassland	1995	15	26,2	7,54	47,6	14,5	16,9	21,9	43,2	45,1
	2001	15	23,3	7,01	43,7	11,9	16,7	20,9	28,4	42,9
	2007	15	26,4	11,7	56,8	13,8	18,5	22,6	29,5	43,4
	2013	15	27,7	6,53	52,3	17,4	20,2	24,4	31,9	47,5
Sady / Orchards	1995	5	20,3	15,7	25,1	15,7	16,8	21,1	23,0	25,1
	2001	5	17,1	6,80	23,8	6,8	13,6	20,3	21,2	23,8
	2007	5	24,2	14,8	30,8	14,8	23,0	25,7	26,9	30,8
	2013	5	24,2	15,1	34,9	15,1	15,4	24,9	30,7	34,9
Vinice / Vineyards	1995	2	23,1	22,4	23,9	22,4	22,4	23,1	23,9	23,9
	2001	2	20,6	18,6	22,6	18,6	18,6	20,6	22,6	22,6
	2007	2	24,9	22,2	27,6	22,2	22,2	24,9	27,6	27,6
	2013	2	29,8	27,0	32,6	27,0	27,0	29,8	32,6	32,6
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	22,7	20,1	26,1	20,1	20,1	21,9	26,1	26,1
	2001	3	24,6	22,1	28,0	22,1	22,1	23,8	28,0	28,0
	2007	3	32,4	22,4	42,1	22,4	22,4	32,8	42,1	42,1
	2013	3	24,3	21,1	26,2	21,1	21,1	25,6	26,2	26,2

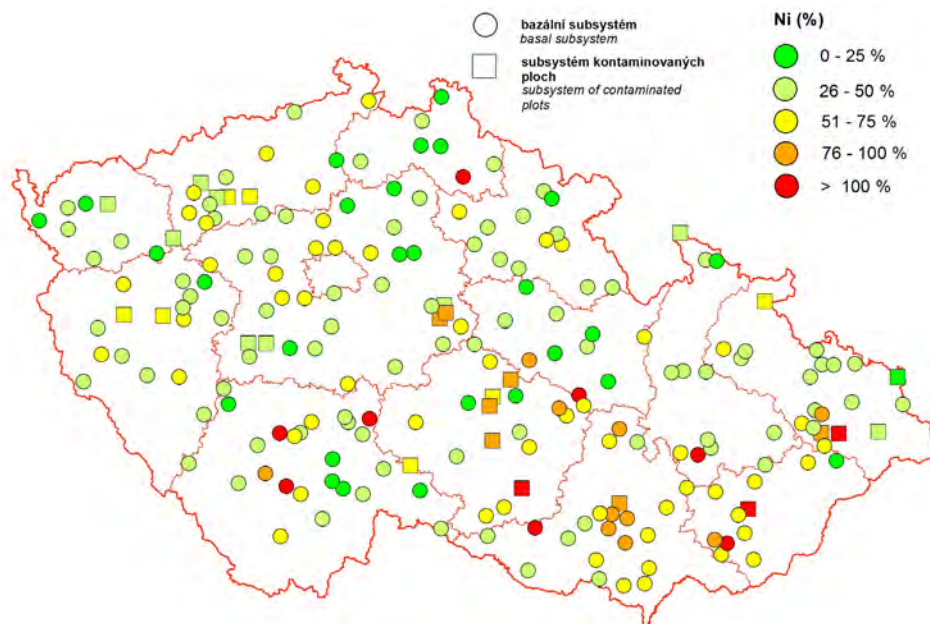
Obrázek 80. Rozpětí obsahů niklu (Ni) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 80. Range of nickel (Ni) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



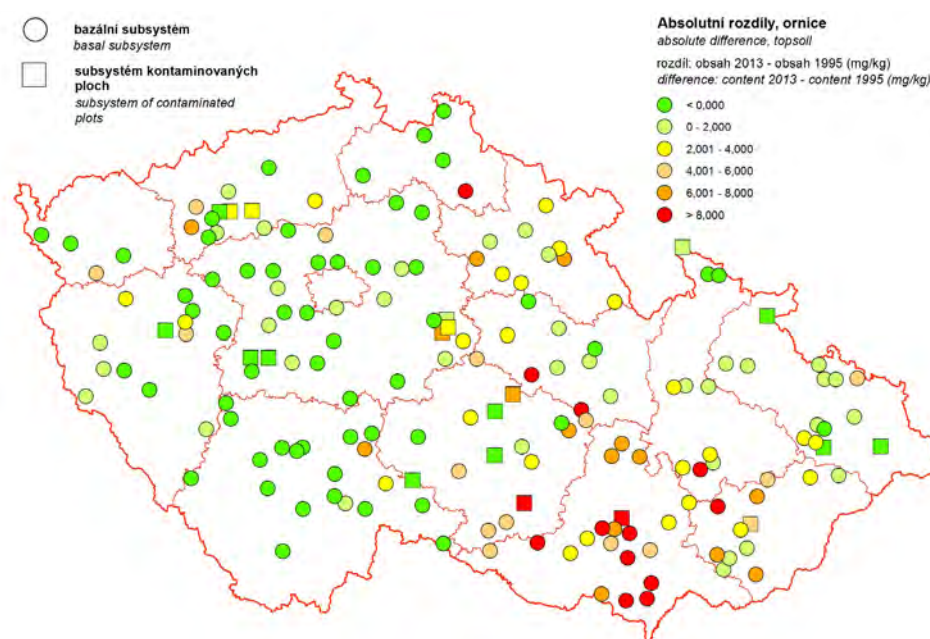
Obrázek 81. Obsahy niklu (Ni) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty.

Figure 81. Nickel (Ni) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value.



Obrázek 82. Změny obsahů niklu (Ni) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 82. Changes in nickel (Ni) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.9 Olovo (Pb)

Obsahy Pb v orniční vrstvě Bazálního monitoringu půd v roce 2013 se pohybovaly v rozsahu 11,5–894 mg.kg⁻¹. Typické oblasti se zvýšenými obsahy Pb se nachází na Plzeňsku, Příbramsku a Kutnohorsku, v případě BMP tyto oblasti doplňuje lokalita z k.ú. Utín, okres Havlíčkův Brod. Zvýšené obsahy Pb se nachází na celém katastrálním území Utína. Obsahy Pb v ornici jsou vyšší, než v podorníci a to u všech kultur v základním subsystému, což je pro Pb jako antropogenní kontaminant typické. Statisticky průkazný rozdíl obsahů Pb mezi horizonty byl potvrzen pro orné půdy a TTP. Dále byly statisticky potvrzeny průkazně nižší obsahy Pb ve vinicích a chmelnicích proti orným půdám, sadům a TTP. K překročení preventivní hodnoty pro Pb došlo celkem na 17 monitorovacích plochách (7,9 %).

Mediány obsahů Pb v půdách základního subsystému od roku 1995 rostou. Statisticky průkazné zvýšení obsahů bylo v základním subsystému doloženo u orných půd, TTP a vinic. Mediány obsahů Pb v subsystému kontaminovaných ploch jsou u TTP a chmelnic vyrovnané, u orných půd dochází k meziročnímu kolísání. V celém souboru ploch BMP klesly obsahy Pb proti roku 1995 pouze na 28 plochách ze 177 sledovaných, přičemž pokles činil přibližně 2,5 mg.kg⁻¹ (cca 10% pokles). Na zbývajících plochách se obsahy Pb zvýšily přibližně o 5 mg.kg⁻¹ (cca 25% zvýšení). Ke zvyšování obsahů Pb dochází na celém území České republiky.

6.9 Lead (Pb)

In 2013, Pb concentrations in the whole BSMS data set ranged from 11.5 to 894 mg.kg⁻¹ in the topsoil horizon. Areas with elevated levels of Pb are typically located in the region of Plzeň, Příbram and Kutná Hora; regarding the BSMS scheme, the cadastral area Utín, the district of Havlíčkův Brod complements these areas. Increased concentrations of Pb were recorded within the whole cadastral area of Utín. The contents of Pb in the topsoil were higher than in the subsoil, namely in all cultures in the basal subsystem, which is typical of an anthropogenic contaminant such as Pb. A statistically significant difference between the contents of Pb horizons was confirmed for arable land and permanent grassland. Further on, lower contents of Pb in vineyards and hop gardens in comparison to arable soils, orchards and permanent grassland were confirmed statistically significant. The precautionary value for Pb was exceeded in a total of 17 monitoring plots (7.9%).

Since 1995, median contents of Pb in the soils of basal subsystem have been growing. A statistically significant increase in the basal subsystem was recorded in arable land, permanent grassland and vineyards. Medians contents of Pb in the subsystem of contaminated plots were balanced in permanent grassland and hop gardens, there were annual variations in arable land. Compared with 1995, the contents of Pb decreased only in 28 plots of the 177 considered, whereas the decline amounted to approximately 2.5 mg.kg⁻¹ (a decrease by approximately 10%). In other plots, Pb content increased by about 5 mg.kg⁻¹ (an increase by about 25%). In the Czech Republic, the contents of Pb increased.

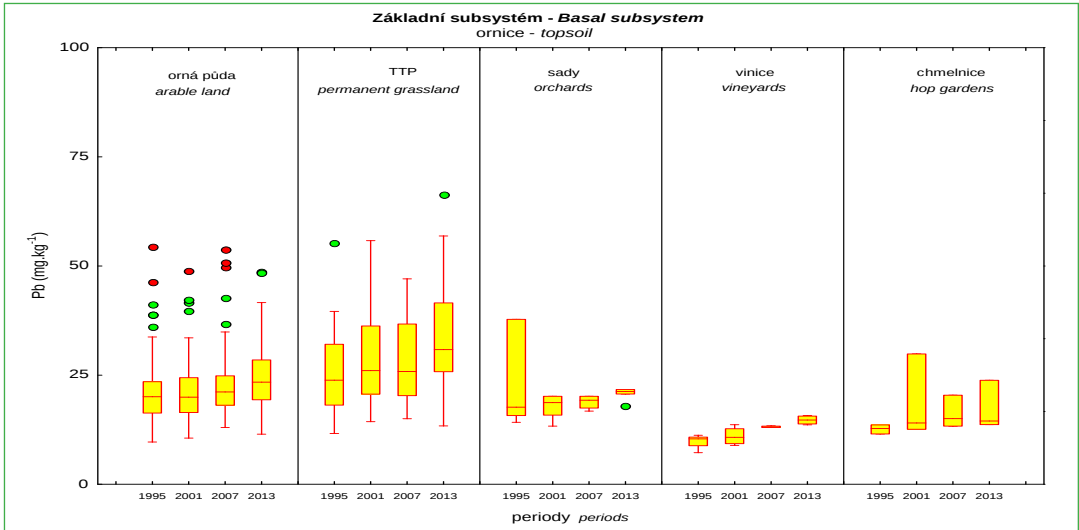
Tabulka 33. Deskriptivní statistika obsahů olova (Pb) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 33. Descriptive statistics of lead (Pb) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	20,8	9,68	54,5	14,1	16,4	20,2	23,3	27,7
	2001	117	21,3	10,6	48,8	14,3	17,0	20,2	24,4	28,6
	2007	117	22,7	13,0	53,7	16,1	18,2	21,3	24,9	30,8
	2013	117	25,3	15,4	102	17,2	20,2	23,5	28,7	34,3
TTP / Permanent grassland	1995	15	25,8	11,6	39,6	16,4	21,0	24,4	32,1	36,5
	2001	15	28,6	18,7	45,0	19,8	22,3	26,6	36,3	41,3
	2007	15	29,4	18,7	47,1	19,3	22,4	26,0	36,7	39,8
	2013	15	33,6	20,3	56,9	22,1	27,3	31,3	41,6	44,7
Sady / Orchards	1995	5	50,8	14,2	169	14,2	15,7	17,7	37,8	169
	2001	5	65,5	13,3	260	13,3	15,9	18,7	20,2	260
	2007	5	82,9	16,8	341	16,8	17,5	19,3	20,2	341
	2013	5	67,4	18,0	256	18,0	20,7	21,3	21,7	256
Vinice / Vineyards	1995	2	10,8	10,4	11,2	10,4	10,4	10,8	11,2	11,2
	2001	2	12,7	11,8	13,7	11,8	11,8	12,7	13,7	13,7
	2007	2	13,3	13,2	13,4	13,2	13,2	13,3	13,4	13,4
	2013	2	15,6	15,4	15,8	15,4	15,4	15,6	15,8	15,8
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	12,6	11,5	13,6	11,5	11,5	12,8	13,6	13,6
	2001	3	18,8	12,6	29,9	12,6	12,6	14,1	29,9	29,9
	2007	3	16,3	13,3	20,4	13,3	13,3	15,1	20,4	20,4
	2013	3	17,3	13,7	23,8	13,7	13,7	14,5	23,8	23,8

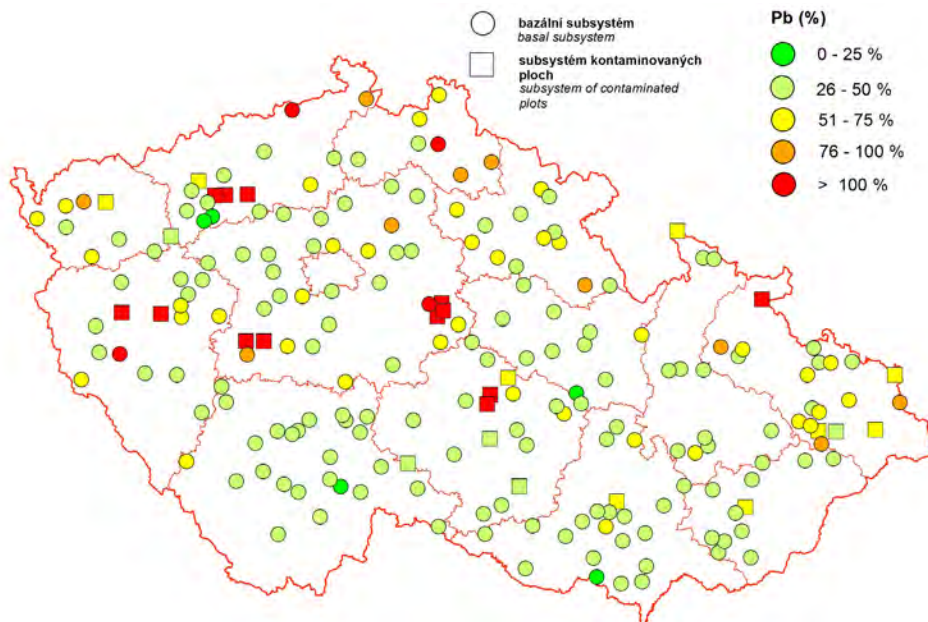
Obrázek 83. Rozpětí obsahů olova (Pb) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 83. Range of lead (Pb) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



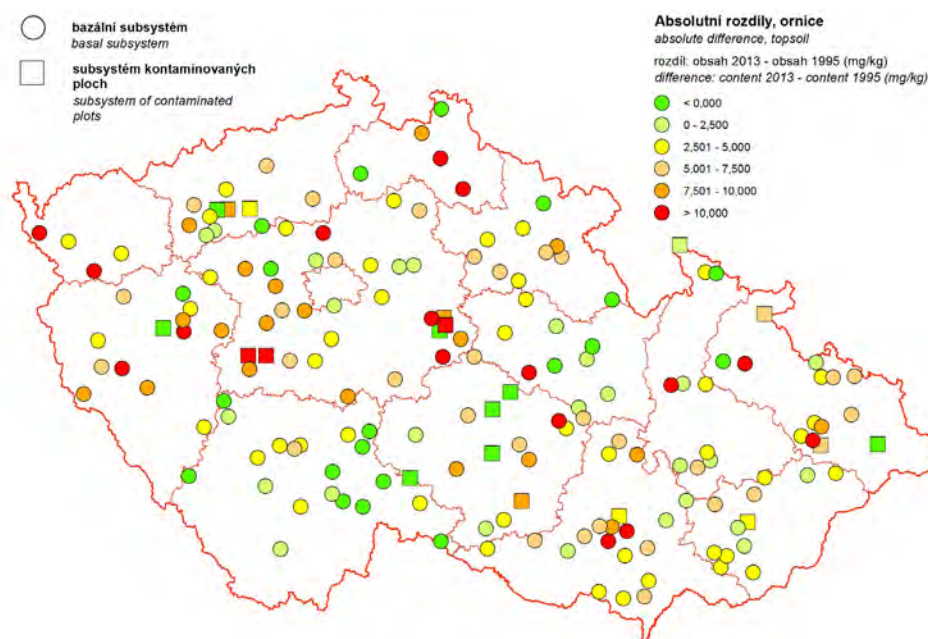
Obrázek 84. Obsahy olova (Pb) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 84. Lead (Pb) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 85. Změny obsahů olova (Pb) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 85. Changes in lead (Pb) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.10 Vanad (V)

Rozsah obsahů vanadu v orničním horizontu v půdách BMP činil v roce 2013 13,8–203 mg.kg⁻¹. Mediány obsahů vanadu pro jednotlivé kultury základního subsystému se pohybují kolem hodnoty 40 mg.kg⁻¹ v půdách ostatních a kolem hodnoty 24 mg.kg⁻¹ v půdách lehkých. Ve vzorcích ze subsystému kontaminovaných ploch jsou hodnoty mediánů vyšší. Oblasti se zvýšeným obsahem vanadu lze nalézt v severních Čechách (okresy Karlovy Vary, Chomutov, Louny) a na Klatovsku. Preventivní hodnota pro vanad byla překročena pouze na dvou lokalitách BMP (0,9 %).

Mediány obsahů vanadu od roku 1995 v základním subsystému i subsystému kontaminovaných ploch ve všech kulturách klesají; v trvalých travních porostech základního subsystému statisticky významně. Celkem došlo ke snížení obsahů vanadu na 127 monitorovacích plochách a to přibližně o 5 mg.kg⁻¹ (cca 10% snížení). Na ostatních plochách byly zjištěny vyšší obsahy vanadu v roce 2013 než v roce 1995, přičemž zvýšení činí necelých 6 % (cca 2,3 mg.kg⁻¹). Většina ploch se vzrůstajícím obsahem vanadu se nachází na Moravě.

6.10 Vanadium (V)

In 2013, vanadium concentrations in the whole BSMS data set ranged from 13.8 to 203 mg.kg⁻¹ for the topsoil horizon. Median contents of vanadium for individual cultures in the basal subsystem were roughly between 40 mg.kg⁻¹ in other soils, and around 24 mg.kg⁻¹ in light soils. Median values were higher in samples from the subsystem of contaminated plots. Areas with high vanadium concentrations were found in northern Bohemia (districts of Karlovy Vary, Chomutov, Louny) and in Klatovsko region. The precautionary value for vanadium was exceeded in only two BSMS plots (0.9%).

Since 1995, the median content of vanadium in the basal subsystem and the subsystem of contaminated plots in all cultures have been in decline; it has increased in permanent grassland in the basal subsystem significantly. In total, there was a reduction in vanadium content in 127 monitoring plots by about 5 mg.kg⁻¹ (a reduction by about 10%). In other plots, higher levels of vanadium were detected in 2013 in comparison to 1995, while the increase was less than 6% (approximately 2.3 mg.kg⁻¹). Most plots with increasing vanadium content were located in Moravia.

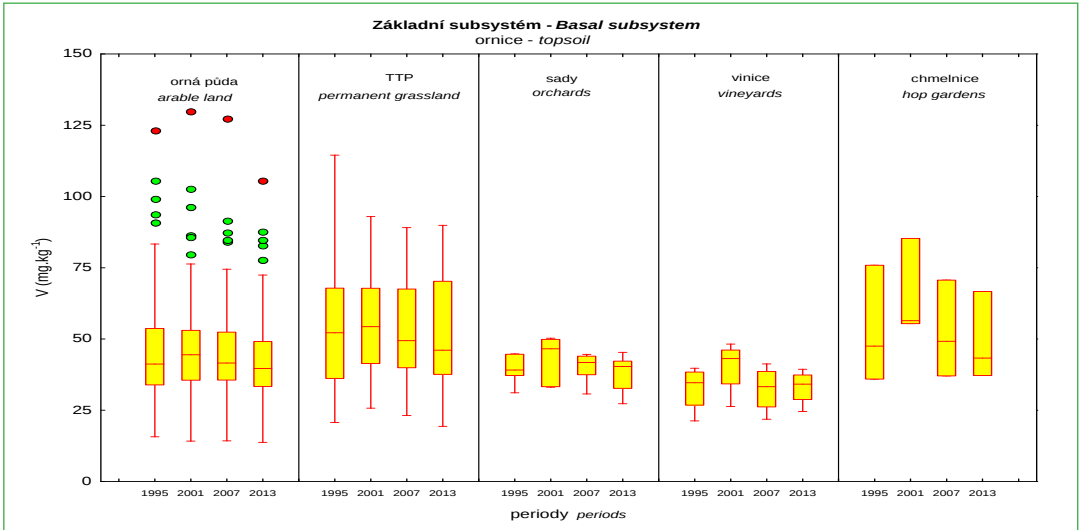
Tabulka 34. Deskriptivní statistika obsahů vanadu (V) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 34. Descriptive statistics of vanadium (v) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	47,5	22,6	194	29,3	35,3	42,4	53,7	71,0
	2001	117	49,2	19,7	210	31,9	38,5	45,6	53,0	70,0
	2007	117	46,8	18,2	211	29,8	37,1	42,2	52,4	63,2
	2013	117	44,6	20,5	203	27,6	34,5	39,7	49,6	59,3
TTP / Permanent grassland	1995	15	59,4	21,4	115	31,8	41,6	53,3	73,1	90,2
	2001	15	57,6	25,8	93,0	37,0	41,4	55,7	77,0	85,7
	2007	15	56,0	24,2	89,1	37,4	40,4	51,6	69,4	81,0
	2013	15	54,4	19,4	89,9	34,0	41,4	46,3	71,7	81,0
Sady / Orchards	1995	5	39,4	31,2	44,8	31,2	37,2	39,1	44,7	44,8
	2001	5	42,6	33,1	50,3	33,1	33,3	46,6	49,9	50,3
	2007	5	39,7	30,8	44,6	30,8	37,5	41,8	44,0	44,6
	2013	5	37,6	27,3	45,3	27,3	32,7	40,4	42,2	45,3
Vinice / Vineyards	1995	2	38,4	37,0	39,8	37,0	37,0	38,4	39,8	39,8
	2001	2	46,1	44,0	48,2	44,0	44,0	46,1	48,2	48,2
	2007	2	38,7	36,0	41,3	36,0	36,0	38,7	41,3	41,3
	2013	2	37,4	35,4	39,4	35,4	35,4	37,4	39,4	39,4
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	53,1	36,0	75,9	36,0	36,0	47,5	75,9	75,9
	2001	3	65,7	55,4	85,3	55,4	55,4	56,4	85,3	85,3
	2007	3	52,3	37,1	70,7	37,1	37,1	49,2	70,7	70,7
	2013	3	49,1	37,2	66,7	37,2	37,2	43,3	66,7	66,7

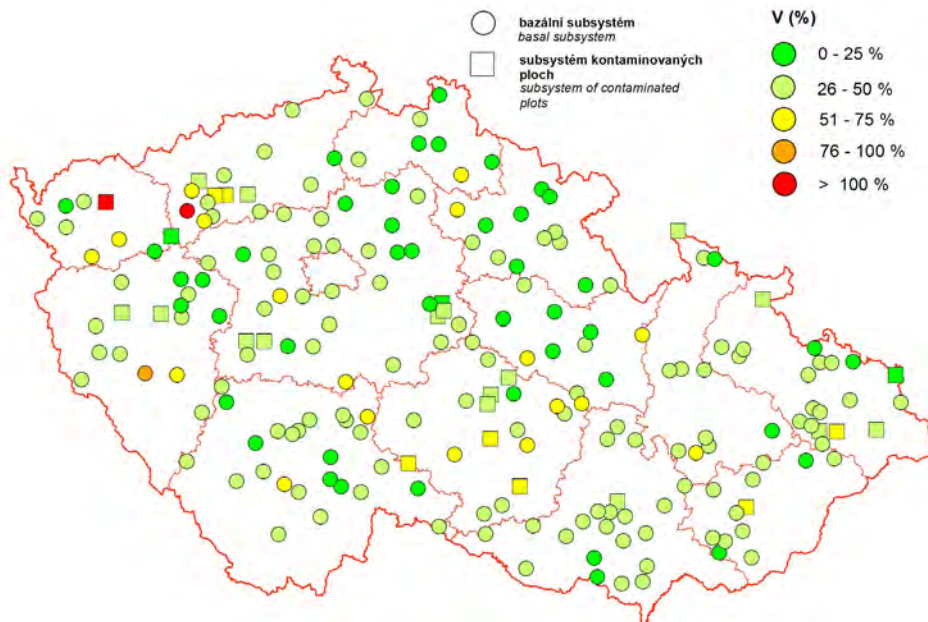
Obrázek 86. Rozpětí obsahů vanadu (V) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 86. Range of vanadium (V) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



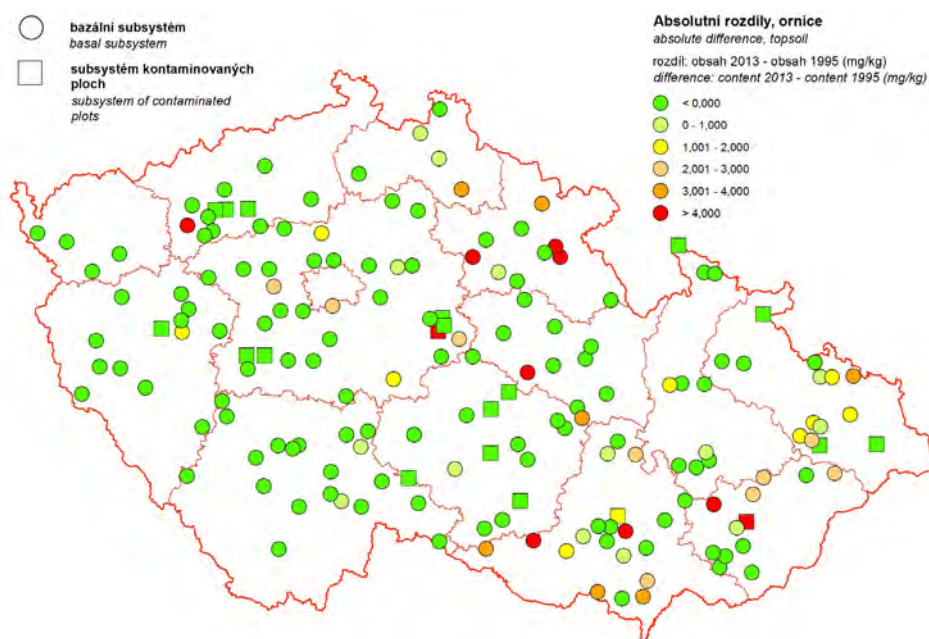
Obrázek 87. Obsahy vanadu (V) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 87. Vanadium (V) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 88. Změny obsahů vanadu (V) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 88. Changes in vanadium (V) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.11 Zinek (Zn)

Obsahy Zn se v orničním horizontu celého souboru dat BMP v roce 2013 pohybovaly v rozmezí 22,4–1102 mg.kg⁻¹. Lokality se zvýšenými obsahy Zn jsou v rámci České republiky roztroušeny mozaikovitě, nicméně hlavními problematickými oblastmi jsou Lounsko, Příbramsko, Kutnohorsko. Zinek je nutno řadit k prvkům (As, Cd, Zn), u nichž dochází v rámci BMP k překračování preventivní hodnoty na více než 10 % monitorovacích ploch. Celkem byla preventivní hodnota překročena na 33 monitorovacích plochách (15,4 %).

Mediány obsahů Zn od roku 1995 v základním subsystému i subsystému kontaminovaných ploch ve všech kulturách vzrůstají; k statisticky průkaznému zvýšení obsahů Zn došlo v orných půdách základního subsystému. Ke zvýšení obsahů vzhledem k roku 1995 došlo celkem na 144 plochách, přičemž zvýšení obsahu Zn činí v průměru 8,5 mg.kg⁻¹ (přibližně 13 %). Na zbývajících plochách bylo zjištěno snížení obsahu Zn a to přibližně o 5 mg.kg⁻¹ (cca 6 %). Ke zvyšování obsahu Zn dochází na území celé České republiky.

6.11 Zinc (Zn)

In 2013, Zn concentrations in the whole BSMS data set ranged from 22.4 to 1,102 mg.kg⁻¹ for the topsoil horizon. Areas with higher Zn levels were scattered mosaic throughout the Czech Republic; nonetheless, the main areas of concern were Lounsko, Příbramsko, Kutnohorsko. Zinc requires inclusion among the elements (As, Cd, Zn) whose levels exceed precautionary values in more than 10% of BSMS monitoring plots. In total, the precautionary value was exceeded in 33 monitoring plots (15.4%).

Since 1995, the median contents of Zn in the basal subsystem and the subsystem of contaminated plots in all cultures have been growing; a statistically significant increase in Zn content was recorded in arable land in the basal subsystem. An increase of the content in relation to 1995 occurred in a total of 144 plots, whereas the increase of Zn content was 8.5 mg.kg⁻¹ (approximately 13%) on average. In other areas, the reduction in the content of Zn was about 5 mg.kg⁻¹ (6%). An increase in Zn content occurred across the whole Czech Republic.

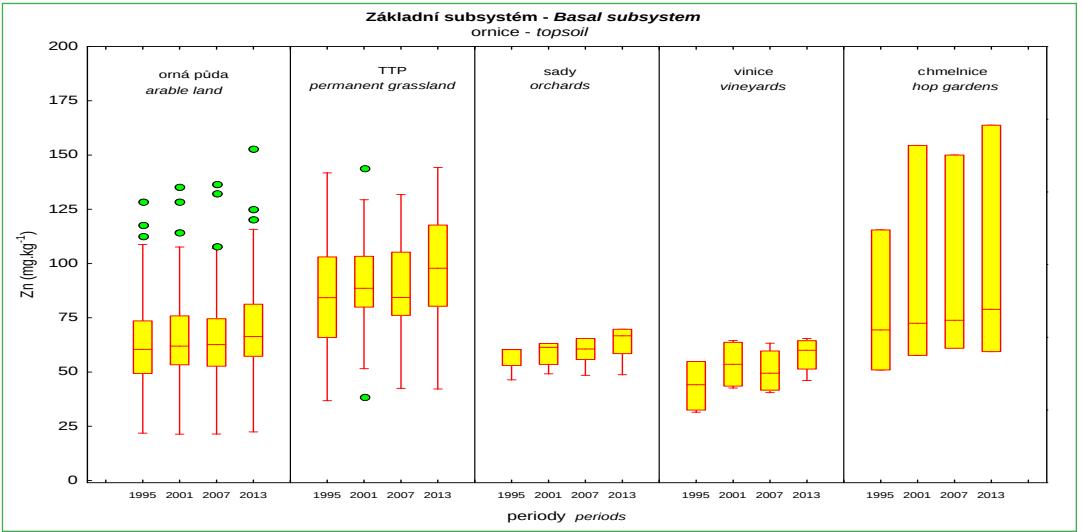
Tabulka 35. Deskriptivní statistika obsahů zinku (Zn) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 35. Descriptive statistics of zinc (Zn) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	117	64,1	27,5	129	43,8	50,2	60,8	72,3	91,3
	2001	117	66,5	27,8	135	45,7	53,9	62,3	78,6	91,8
	2007	117	66,2	30,2	137	46,4	52,9	62,7	75,6	92,8
	2013	117	71,6	29,0	153	49,4	59,2	66,4	82,4	103
TTP / Permanent grassland	1995	15	90,2	36,8	142	55,1	65,9	88,3	104	141
	2001	15	92,2	38,3	144	51,6	80,0	91,2	117	129
	2007	15	89,9	42,5	132	59,5	76,1	84,5	110	118
	2013	15	100	42,2	144	68,3	80,3	106	119	138
Sady / Orchards	1995	5	156	46,4	559	46,4	53,0	60,3	60,4	559
	2001	5	163	49,2	588	49,2	53,5	61,4	63,2	588
	2007	5	156	48,5	548	48,5	55,7	60,6	65,5	548
	2013	5	162	48,8	567	48,8	58,5	66,7	69,7	567
Vinice / Vineyards	1995	2	54,8	54,8	54,9	54,8	54,8	54,8	54,9	54,9
	2001	2	63,7	62,8	64,5	62,8	62,8	63,7	64,5	64,5
	2007	2	59,7	56,1	63,3	56,1	56,1	59,7	63,3	63,3
	2013	2	64,4	63,4	65,5	63,4	63,4	64,4	65,5	65,5
Chmelnice / Hop gardens	1995	3	78,6	51,0	116	51,0	51,0	69,4	116	116
	2001	3	94,8	57,7	154	57,7	57,7	72,5	154	154
	2007	3	94,9	61,0	150	61,0	61,0	73,8	150	150
	2013	3	101	59,4	164	59,4	59,4	78,9	164	164

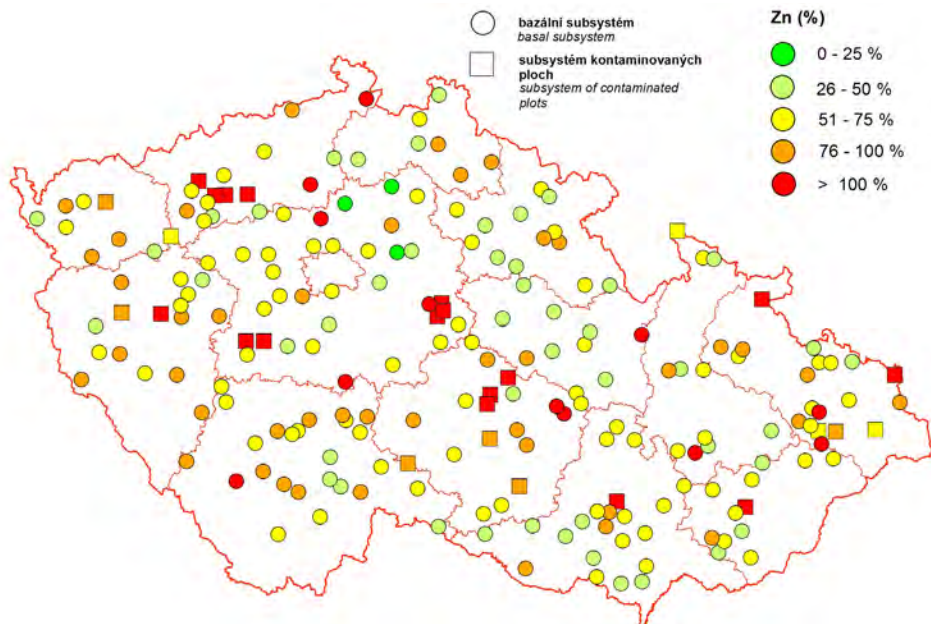
Obrázek 89. Rozpětí obsahů zinku (Zn) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystém, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 89. Range of zinc (Zn) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



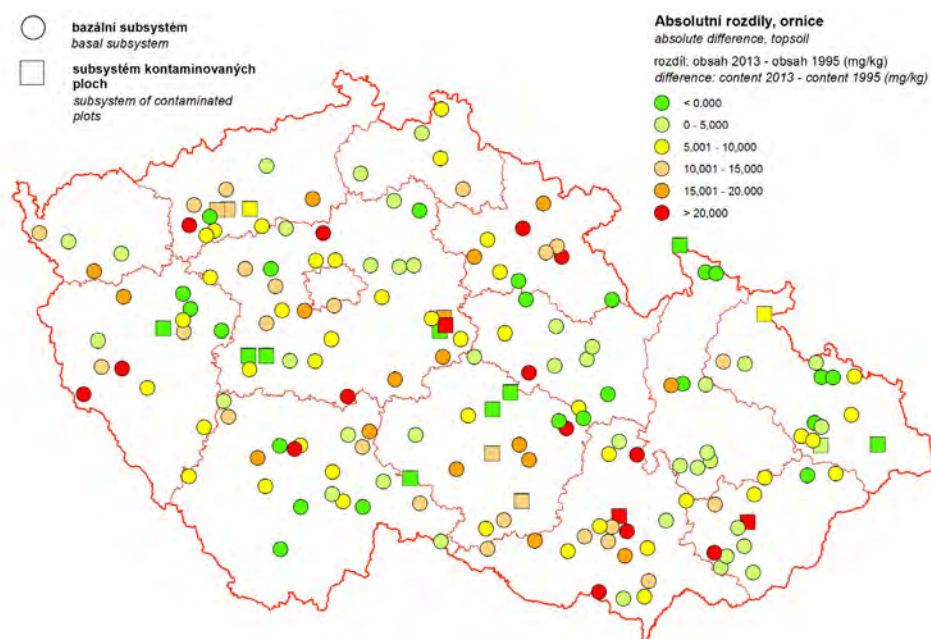
Obrázek 90. Obsahy zinku (Zn) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 90. Zinc (Zn) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 91. Změny obsahů zinku (Zn) mezi periodami 2013 a 1995 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 91. Changes in zinc (Zn) concentrations between the periods 2013 and 1995 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



6.12 Rtutí (Hg)

Obsahy Hg ve vzorcích orničního horizontu celého souboru dat BMP v roce 2013 kolísaly v rozsahu 0,028–40,2 mg.kg⁻¹. Mediány v půdách základního subsystému dosahují maximálně 0,09 mg.kg⁻¹, v subsystému kontaminovaných ploch jsou hodnoty vyšší. Nejvyšší obsahy byly nalezeny na třech plochách TTP, přičemž dvě se nacházejí v okrese Nový Jičín a třetí v okrese Louny. Zátěž Hg v okrese Nový Jičín se jeví jako typická. K překročení preventivní hodnoty pro Hg došlo celkem na 10 plochách BMP (4,7 %).

Obsahy Hg na většině monitorovacích ploch BMP od roku 1992 klesají. Statisticky průkazné snížení obsahů Hg bylo doloženo pro orniční horizont orných půd a vinic v základním subsystému a pro podorničí u TTP také v základním subsystému. Na 2/3 ploch došlo k poklesu obsahů Hg přibližně o 20 % proti roku 1992, na plochách s rostoucím obsahem Hg se projevilo zvýšení obsahů cca o 10 %.

6.12 Mercury (Hg)

In 2013, Hg concentrations in the whole BSMS data set ranged from 0.028 to 40.2 mg.kg⁻¹ in the topsoil horizon. Median values in soils in basal subsystem amounted to a maximum of 0.09 mg.kg⁻¹; the values were higher in the subsystem of contaminated plots. The highest values were recorded in three permanent grassland plots, two of which are located in the district of Nový Jičín and the third is located in the district of Louny. The burden of Hg seems to be characteristic for the district of Nový Jičín. The precautionary value for Hg was exceeded in a total of 10 BSMS plots (4.7%).

Since 1992, the contents of Hg have been declining in most BSMS plots. Statistically significant reduction in Hg content was recorded in the topsoil horizon of arable lands and vineyards in the basal subsystem and in the subsoil of permanent grassland in the basic subsystem, too. In two-thirds of plots, the Hg content decreased by about 20% compared to 1992; the raise of Hg levels by about 10% was noted in plots with high Hg contents.

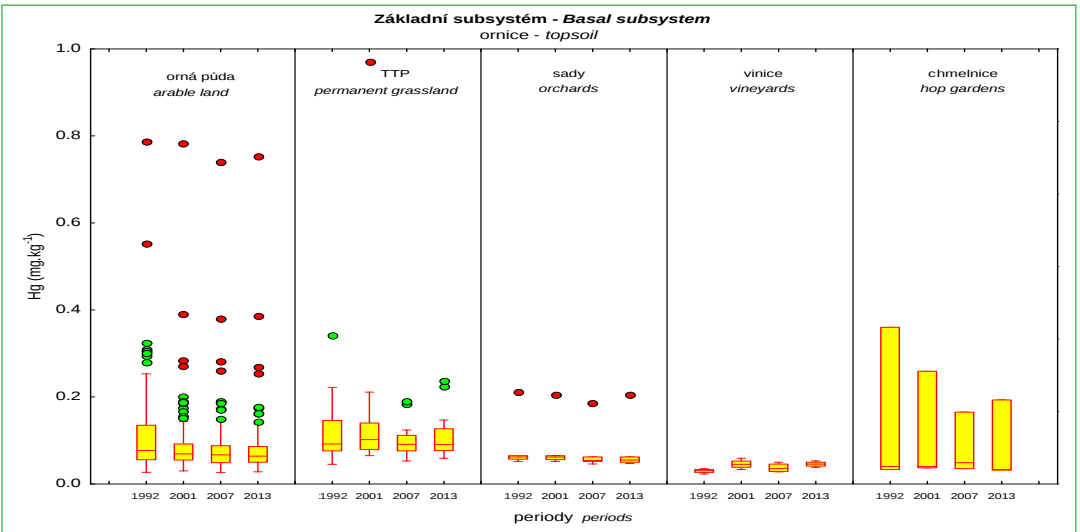
Tabulka 36. Deskriptivní statistika obsahů rtuti (Hg) v půdách BMP, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, ostatní půdy (středně těžké a těžké), extrakce lučavkou královskou)

Table 36. Descriptive statistics of mercury (Hg) concentrations in BSMS soils, 1995–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, other soils (medium heavy and heavy), Aqua Regia extraction)

Kultura / Cultures	Rok / Periods	Ostatní půdy / Other soils								
		Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	1995	0	---	---	---	---	---	---	---	---
	2001	117	0,09	0,04	0,78	0,05	0,06	0,07	0,09	0,15
	2007	117	0,09	0,03	0,74	0,04	0,05	0,07	0,09	0,14
	2013	117	0,08	0,04	0,75	0,04	0,05	0,06	0,09	0,14
TTP / Permanent grassland	1995	0	---	---	---	---	---	---	---	---
	2001	15	0,17	0,07	0,97	0,08	0,08	0,10	0,14	0,21
	2007	15	0,18	0,05	1,40	0,06	0,08	0,10	0,11	0,19
	2013	15	0,18	0,06	1,26	0,06	0,08	0,09	0,13	0,22
Sady / Orchards	1995	0	---	---	---	---	---	---	---	---
	2001	5	0,09	0,05	0,20	0,05	0,06	0,06	0,07	0,20
	2007	5	0,08	0,05	0,19	0,05	0,05	0,05	0,06	0,19
	2013	5	0,08	0,05	0,21	0,05	0,05	0,06	0,06	0,21
Vinice / Vineyards	1995	0	---	---	---	---	---	---	---	---
	2001	2	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
	2007	2	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
	2013	2	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
Chmelnice / Hop gardens	1995	0	---	---	---	---	---	---	---	---
	2001	3	0,11	0,04	0,26	0,04	0,04	0,04	0,26	0,26
	2007	3	0,08	0,04	0,17	0,04	0,04	0,05	0,17	0,17
	2013	3	0,09	0,03	0,19	0,03	0,03	0,03	0,19	0,19

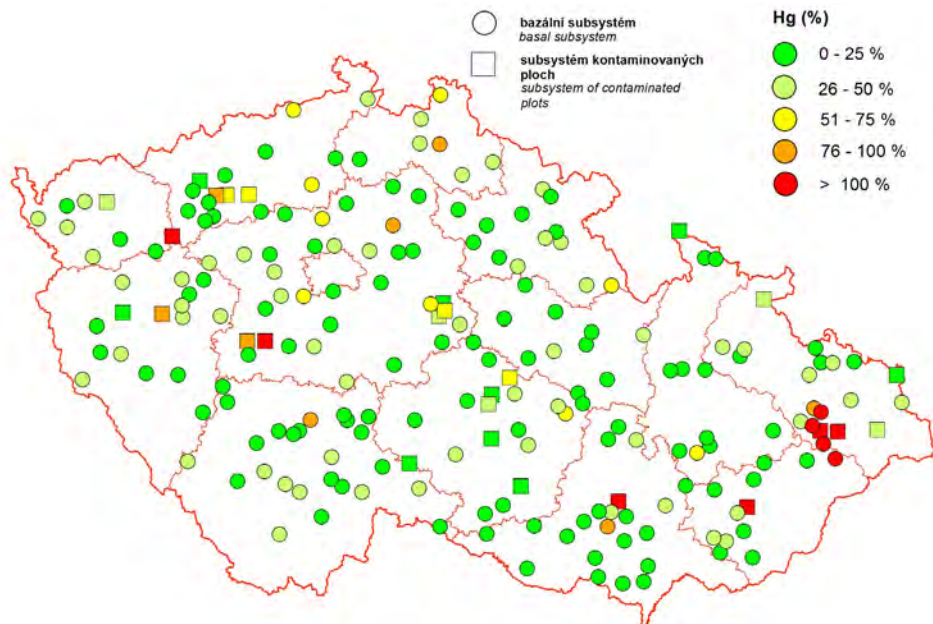
Obrázek 92. Rozpětí obsahů rtuti (Hg) v půdách BMP, 1992–2013 (mg.kg⁻¹, základní subsystem, ornice, extrakce lučavkou královskou)

Figure 92. Range of mercury (Hg) concentrations in BSMS soils, 1992–2013 (mg.kg⁻¹, basal subsystem, topsoil, Aqua Regia extraction)



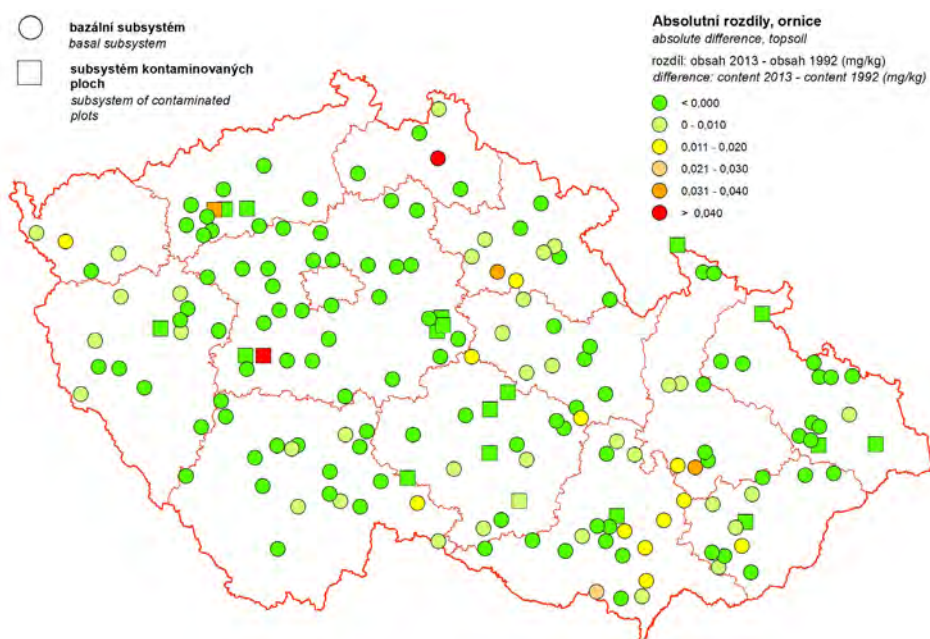
Obrázek 93. Obsahy rtuti (Hg) v půdách BMP, 2013 (214 monitorovacích ploch); obsahy jsou vyjádřeny jako procento preventivní hodnoty

Figure 93. Mercury (Hg) concentrations in BSMS soils, 2013 (214 monitoring plots); concentrations are expressed as a percentage of the precautionary value



Obrázek 94. Změny obsahů rtuti (Hg) mezi periodami 2013 a 1992 (mg.kg^{-1} , extrakce lučavkou královskou, 177 monitorovacích ploch)

Figure 94. Changes in mercury (Hg) concentrations between the periods 2013 and 1992 (mg.kg^{-1} , Aqua Regia extraction, 177 monitoring plots)



7 Perzistentní organické polutanty (POPs) a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Šárka Poláková

Perzistentní organické polutanty (POPs) jsou látky dlouhodobě setrvávající v prostředí. Mají několik typických vlastností – vyznačují se vysokou lipofilitou, velkou schopností bioakumulace, vysokým stupněm chemické a biologické stability a tendencí k dálkovému přenosu. Díky těmto vlastnostem se mohou šířit tisíce kilometrů od zdroje a kontaminovat celou biosféru. Všeobecně je přijímáno, že hlavním mechanismem vysvětlujícím pohyblivost POPs v prostředí je cyklické odpařování z povrchu půd a vod, jejich unášení vzduchem ve formě par, či sorbovaných na prachové částice a jejich následnou depozici deštěm, sněhem nebo tuhými částicemi zpět na zemský povrch.

Perzistence a bioakumulace POPs v tkáních živých organismů může vést k dlouhodobému nárůstu hladin těchto látek zejména u konzumentů na vyšších trofických úrovních, včetně člověka. POPs mohou mít karcinogenní účinky, mohou způsobovat reprodukční poruchy, změny vývojového a imunitního systému a endokrinní narušení, což může vést ke snížení reprodukčních schopností a v krajním případě až ke ztrátě biodiverzity.

Perzistentní organické látky vznikají přírodními procesy (např. sopečnou činností, požáry), převážná část jejich zdrojů je však antropogenního původu. Aby se předešlo dalšímu nárůstu obsahů POPs v životním prostředí a zároveň se snížili negativní dopady účinků POPs na zdraví lidí a živočichů, byla vypracována tzv. Stockholmská úmluva o perzistentních organických polutantech. Úmluva vstoupila v platnost dne 17. května 2004 a smluvní strany zavazuje ke zrušení výroby a použití nebo k omezenému používání vyjmenovaných organických látek. V době podpisu se úmluva týkala 12 perzistentních organických látek a jejich skupin. Postupem času byl seznam Stockholmské úmluvy rozšířen o další látky.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský sleduje v zemědělských půdách BMP pravidelně obsahy HCH (4 izomery α -, β -, γ -, δ -), HCB, látky skupiny DDT (o,p'- a p,p'- izomery DDT, DDE, DDD), PCB (7 kongenerů – 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) a 16 EPA PAH. Všechny uvedené POPs jsou vyjmenovány ve Stockholmské úmluvě.

O zařazení polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) mezi POPs se stále diskutuje, protože nesplňují definici POPs ohledně schopnosti bioakumulace. V tkáních a pletivech vznikají z mateřských sloučenin deriváty, které však často mají mnohem toxičtější účinky než původní sloučeniny. Vzhledem ke svým karcinogenním a mutagenním vlastnostem jsou PAH řazeny mezi environmentálně prioritní polutanty.

Česká legislativa umožňuje hodnotit obsahy POPs a PAH na základě vyhlášky č. 153/2016 Sb. (tabulka 37) k již zmiňovanému zákonu o ochraně zemědělského půdního fondu (kapitola 6).

.

Tabulka 37. Preventivní hodnoty obsahů rizikových látek v zemědělské půdě (mg.kg⁻¹ sušiny; vyhláška č. 153/2016 Sb.)

Table 37. Precautionary values of hazardous substances in agricultural land (mg.kg⁻¹ DM; Decree no. 153/2016 Coll.)

Látka / Substance	PAH	PCB	DDT	HCB	HCH
Preventivní hodnota / Precautionary value	1.0	0.02	0.075	0.02	0.01

PAH: suma 12 PAHs (ANT, BAA, BBF, BKF, BAP, BPE, PHE, FLT, CHR, IPY, NAP, PYR)

PCB: suma 7 kongenerů (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)

DDT: suma o,p'- a p,p'- izomerů DDT, DDE, DDD

HCH: suma α-, β-, γ- izomerů

PAH: sum of 12 PAHs (ANT, BAA, BBF, BKF, BAP, BPE, PHE, FLT, CHR, IPY, NAP, PYR)

PCB: sum of 7 congeners (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)

DDT: sum of o,p'- and p,p'- isomers of DDT, DDE, DDD

HCH: sum of α-, β-, γ- isomers

Monitoring POPs byl zahájen již v roce 1994, přičemž postupně došlo k úpravám metodiky zejména ve vztahu k počtu monitorovacích ploch a sledovaným parametrům. Odběry vzorků půdy pro stanovení organických polutantů probíhají na vybraných 40 pozorovacích plochách BMP a na 5 plochách v chráněných územích (Krkonošský národní park, Orlické hory, Kokořínsko, Pálava a Bílé Karpaty). Pro účely hodnocení parametrů v období 2004–2015 byla použita data pouze z tzv. stabilních ploch (kapitola 2). Jedná se o 35 ploch na zemědělské půdě a 5 lokalit v chráněných územích.

Metody stanovení POPs a PAHs jsou od roku 2004 akreditovány podle ISO 17025. V této souvislosti byla u použitých analytických metod provedena jejich validace. Pro vyhodnocení výsledků to znamená záruku jejich vyšší porovnatelnosti. Z tohoto důvodu byla do statistické analýzy zahrnuta data získaná až po roce 2004 (včetně).

7 Persistent Organic Pollutants (POPs) and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH)

Šárka Poláková

Persistent organic pollutants (POPs) are chemical substances that persist in the environment for long. They have a number of common properties – they are characterized by high lipophilicity, high bioaccumulation potential, high chemical and biological stability and ability for long-range environmental transport. Due to these characteristics, POPs can spread thousands of kilometres from the source and contaminate the entire biosphere. It is generally accepted that the main explanatory mechanism for POPs mobility in the environment is cyclic evaporation from a soil and water surface, distribution through air in the vapour phase or adsorbed on atmospheric particles and, subsequently, their deposition back on Earth either in rain, snow or particles.

Persistence and bioaccumulation of POPs in the tissues of living organisms can result in a long-term increase in concentrations of these substances, especially for consumers at higher trophic levels, including humans. POPs can have carcinogenic effects and may cause increased susceptibility to reproductive disorders, developmental changes in the immune system and endocrine disruption, which may lead to impaired reproductive capacity and, in extreme cases, to loss of biodiversity.

Persistent organic pollutants enter the environment through various natural processes such as volcanic eruptions; however, the majority of POPs are of anthropogenic origin. In order to prevent a further increase in environmental concentrations of POPs and at the same time to reduce the adverse effects of POPs on human and animal health, the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants was instituted. It came into force on 17 May 2004 and requires that Parties to the Convention take measures to eliminate or restrict the production and use of certain hazardous chemicals on the List of Persistent Organic Pollutants (POPs) in the Convention. At the time of signature, there were 12 chemicals on the List in the Convention; since that time, other chemicals have been added to the Convention.

The Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture monitors regularly the levels of HCH (α -, β -, γ -, δ - isomers), HCB, DDT-group substances (sum of o,p'- and p,p'- isomers of DDT, DDE, and DDD), PCB (7 congeners – 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) and 16 EPA PAH in agricultural soils of BSMS. All these POPs are listed in the Stockholm Convention.

Labelling polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) as POPs is still under discussion, they do not meet the definition of POPs regarding bioaccumulation. Derivatives are produced from parent compounds in tissues; however, many times these metabolites are more toxic than the parent compound. Due to their carcinogenic and mutagenic properties, PAH are classified as environmental priority pollutants.

Czech legislation allows to assess contents of POPs and PAH under Decree no. 153/2016 Coll. (Table 37) referring to the already mentioned Agricultural Land Protection Act (Chapter 6).

Monitoring of POPs was launched in 1994, whereas the methodology was gradually revised, especially in relation to the number of monitoring plots and parameters. Soil sampling for the determination of organic pollutants is currently being carried out on 40 selected BSMS monitoring plots and 5 plots in protected areas (The Krkonoše Mountains National Park, The Orlické Mountains, Kokořín region, Pálava and Bílé Karpaty). In assessment of parameters covering the period 2004–2015, only data from so called “stable plots” were used (see Chapter 2). These comprise 35 plots of agricultural land and 5 plots in protected areas.

In 2004, methods for determination of POPs and PAHs were accredited according to ISO 17025. In this respect, a validation of employed analytical methods was carried out, which ensures greater comparability for interpretation of results. For that reason, data collected only after 2004 (inclusive) were included in the statistical analysis.

7.1 Hexachlorcyklohexan (HCH)

ÚKZÚZ stanovuje 4 izomerní modifikace HCH (α -, β -, γ -, δ -), pro výpočty byly obsahy jednotlivých izomerů sečteny. V drtivé většině případů jsou nálezy jednotlivých izomerů menší než mez stanovitelnosti ($0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Obsahy nad mezí stanovitelnosti byly nalezeny pouze na 9 monitorovacích plochách, z toho na 5 plochách se jedná o opakované nálezy. Ve vzorcích jsou detekovány α -, β - i γ - izomery v různém poměru.

Vývoj obsahů HCH na plochách BMP ve sledovaném období 2004–2015 nebyl hodnocen vzhledem k nízkému počtu nálezů.

K překročení současné preventivní hodnoty pro HCH ($10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) došlo pouze 1x a to v roce 2010.

7.1 Hexachlorocyclohexane (HCH)

UKZUZ determined 4 isomeric forms of HCH (α -, β -, γ -, δ -); the contents of individual isomers were calculated by adding. In the overwhelming majority of cases, detection of individual isomers was below the limit of quantification ($0.5 \mu\text{g.kg}^{-1}$). The contents above the limit of quantification occurred only in 9 plots, out of which 5 plots showed repeated occurrence. α -, β - and γ - isomers were detected in varying proportions in the samples.

HCH content development in BSMS plots in the period 2004–2015 were not evaluated due to the low number of detections.

The current precautionary value for HCH ($10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ DM) was exceeded only once in 2010.

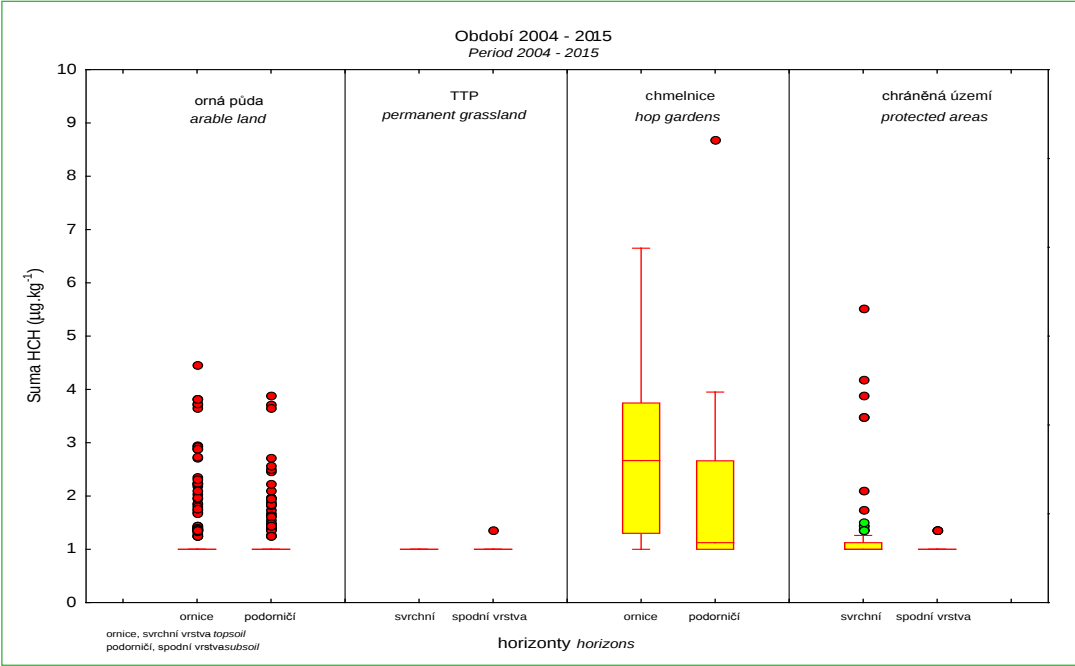
Tabulka 38. Deskriptivní statistika obsahů sumy HCH na monitorovacích plochách BMP (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Table 38. Descriptive statistics of the levels of the sum of HCH on BSMS monitoring plots (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ DM)

Kultura / Cultures	Horizont / Horizon	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián / Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	Ornice / Topsoil	1,14	1,00	4,46	1,00	1,00	1,00	1,00	1,37
	Podorničí / Subsoil	1,12	1,00	3,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,42
TTP / Permanent grassland	Svrchní hor. / Topsoil	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Spodní hor. / Subsoil	1,02	1,00	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Chmelnice / Hop gardens	Ornice / Topsoil	3,43	1,00	12,5	1,00	1,30	2,67	3,75	6,65
	Podorničí / Subsoil	2,41	1,00	8,68	1,00	1,00	1,13	2,66	8,68
Chráněná území / Protected areas	Svrchní hor. / Topsoil	1,31	1,00	5,53	1,00	1,00	1,00	1,00	1,75
	Spodní hor. / Subsoil	1,03	1,00	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

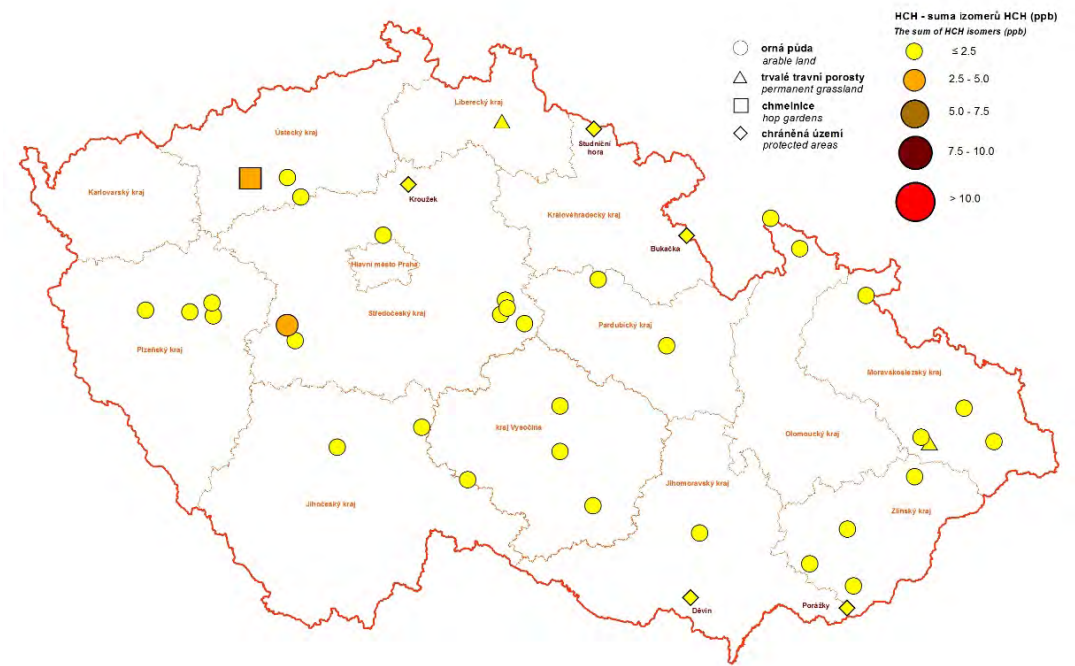
Obrázek 95. Rozložení hodnot obsahů HCH v půdách BMP (2004–2015)

Figure 95. Distribution of the HCH contents in BSMS soils (2004–2015)



Obrázek 96. Obsahy HCH v půdách BMP; horní hranice stupnice je preventivní hodnotou podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (medián 2004–2015; všechny kultury, ornice, µg.kg⁻¹)

Figure 96. The HCH contents in BSMS soils; the upper limit of the scale is a precautionary value in accordance with Decree no. 153/2016 Coll. (median 2004–2015; all cultures, topsoil, µg.kg⁻¹)



7.2 Hexachlorbenzen (HCB)

Rozsah obsahů HCB v zemědělských půdách BMP činí $< 0,5\text{--}52,1 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ a mediány rostou v pořadí TTP $<$ orná půda $<$ chmelnice. Obsahy HCB z chmelnice jsou statisticky významně vyšší, než obsahy z ostatních kultur. Trvale zvýšené obsahy (nad $10 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$) jsou pravidelně detekovány na ploše Malenovice na východě ČR. Průměrné obsahy od 5 do $10 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ lze očekávat zejména v západní části ČR (obrázek 2hcb).

Obsahy HCB mají klesající tendenci téměř na všech plochách se zemědělskou půdou. Výjimkou jsou lokality Filipov u Čáslavi a již zmiňované Malenovice. Na plochách v chráněných územích se objevuje trend zvyšování obsahů HCB, nicméně ten je způsoben neustálým růstem obsahů na lokalitě Kroužek (Kokořínsko).

K překročení preventivní hodnoty pro HCB ($20 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$) dochází na lokalitách BMP pouze sporadicky. Preventivní hodnota pro HCB byla v období 2004–2015 překročena pouze ve třech vzorcích na třech monitorovacích plochách.

7.2 Hexachlorobenzene (HCB)

HCB concentrations in BSMS agricultural soils are <0.5 to $52.1 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ and median levels increase in permanent grassland $<$ arable land $<$ hop garden, respectively. The concentration levels of HCB in hop gardens are significantly higher in comparison to other cultures. Persistently increased concentrations (above $10 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$) are regularly detected on the plot in Malenovice in the east of the country. The average concentrations of 5 to $10 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ are likely to be recorded especially in western part of the Czech Republic (figure 2hcb).

HCB concentrations show a decreasing tendency in almost all plots of agricultural land. The exceptions are locations in Filipov u Čáslavi and the above mentioned area of Malenovice. Plots in protected areas show a trend towards increasing HCB content, but that is due to a constant rate of increase in concentrations on a plot in Kroužek (Kokořín region).

A precautionary limit for HCB ($20 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$) was exceeded on BSMS plots only sporadically; in the period 2004–2015 it was exceeded only in three samples on three plots.

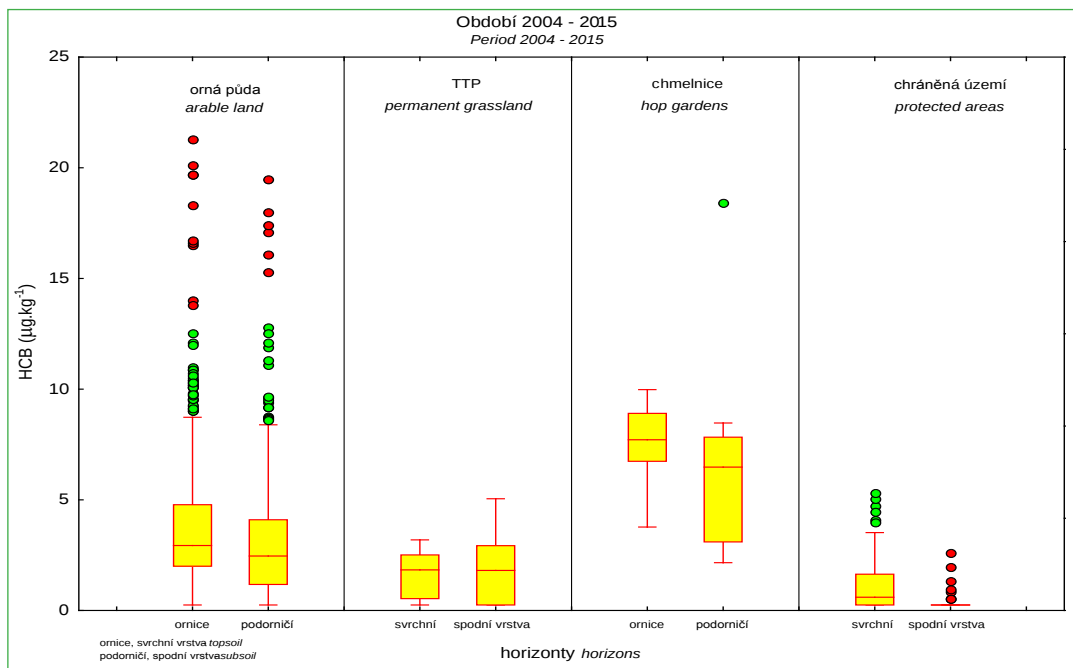
Tabulka 39. Deskriptivní statistika obsahů HCB na monitorovacích plochách BMP (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Table 39. Descriptive statistics of the levels of HCB on BSMS monitoring plots (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ DM)

Kultura / Cultures	Horizont / Horizon	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián / Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	Ornice / Topsoil	4,13	$< 0,5$	52,1	1,00	2,00	2,94	4,78	9,12
	Podorníčí / Subsoil	3,39	$< 0,5$	19,5	$< 0,5$	1,18	2,46	4,10	7,80
TTP / Permanent grassland	Svrchní hor. / Topsoil	1,54	$< 0,5$	3,19	$< 0,5$	0,54	1,84	2,51	2,70
	Spodní hor. / Subsoil	1,75	$< 0,5$	5,05	$< 0,5$	$< 0,5$	1,81	2,93	3,26
Chmelnice / Hop gardens	Ornice / Topsoil	7,56	3,77	9,98	5,11	6,74	7,72	8,91	9,66
	Podorníčí / Subsoil	6,92	2,16	18,4	2,16	3,10	6,48	7,83	18,4
Chráněná území / Protected areas	Svrchní hor. / Topsoil	1,22	$< 0,5$	5,33	$< 0,5$	$< 0,5$	0,60	1,64	3,99
	Spodní hor. / Subsoil	0,43	$< 0,5$	2,61	$< 0,5$	$< 0,5$	$< 0,5$	$< 0,5$	0,94

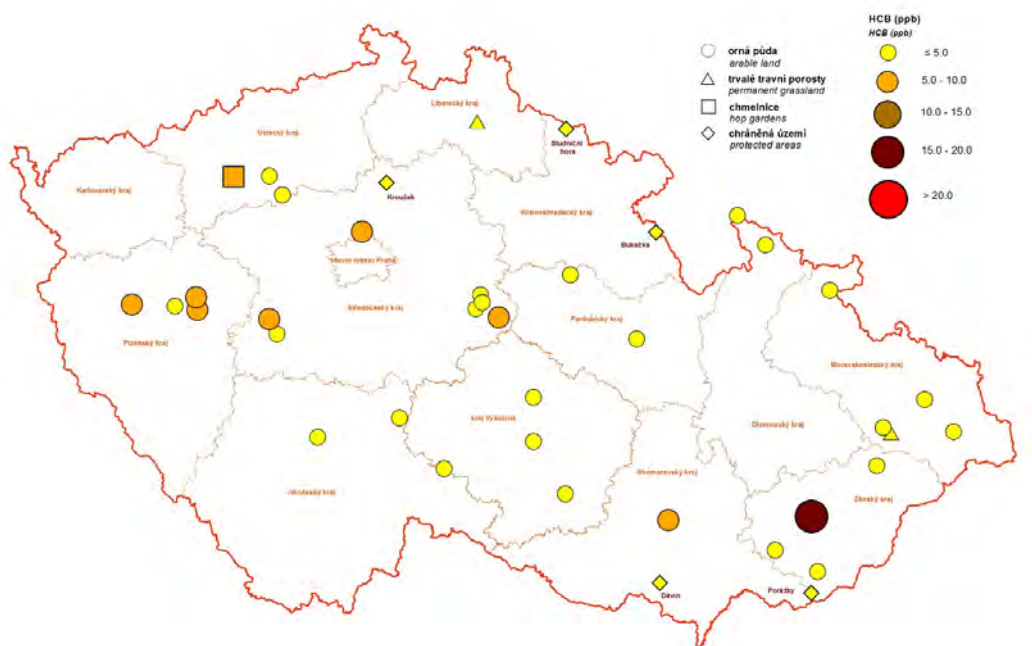
Obrázek 97. Rozložení hodnot obsahů HCB v půdách BMP (2004–2015)

Figure 97. Distribution of the HCB contents in BSMS soils (2004–2015)



Obrázek 98. Obsahy HCB v půdách BMP; horní hranice stupnice je preventivní hodnotou podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (medián 2004–2015; všechny kultury, ornice, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Figure 98. The HCB contents in BSMS soils; the upper limit of the scale is a precautionary value in accordance with Decree no. 153/2016 Coll. (median 2004–2015; all cultures, topsoil, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)



7.3 Látky skupiny DDT

Na plochách BMP obsahy DDT vzrůstají v pořadí chráněná území < TTP < orná půda < chmelnice. Vyšší hodnoty obsahů DDT se nachází v západních Čechách a v jižní části republiky.

Obsahy DDT na monitorovacích plochách BMP mírně klesají. V systému BMP je však šest ploch s opačným trendem. Na lokalitách z chráněných území dochází k postupnému pomalému (v jednotkách $\mu\text{g.kg}^{-1}$) zvyšování obsahů DDT. Tento trend je ovlivněn zejména průběhem obsahů DDT na lokalitách Kroužek (Kokořínsko) a Bukačka (Orlické hory).

Zátěž zemědělských půd ČR těmito látkami je relativně vysoká, vždyť 16 monitorovacích ploch z 35 sledovaných (45 %) vykazuje překročení preventivních hodnot pro DDT ($75 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Na 11 monitorovacích plochách dochází k překročení preventivní hodnoty jen zřídka (2x–4x v uvedeném období), na čtyřech plochách byla preventivní hodnota překročena každý rok.

7.3 DDT-group substances

On BSMS plots, DDT concentrations tend to increase in protected areas < permanent grassland < arable land < hop gardens, respectively. Higher DDT concentrations were recorded in western Bohemia and a southern part of the country.

The concentrations of DDT on BSMS plots decline marginally, the trend on six plots in BSMS scheme is opposite. The levels of DDT increase slowly but gradually in locations of protected areas (in $\mu\text{g.kg}^{-1}$). This trend is mainly influenced by developing DDT contents in the location of Kroužek (Kokořín region) and Bukačka (The Orlické Mountain).

Pollution of agricultural land in the Czech Republic by these agents is relatively high since 16 monitoring plots out of the 35 (45%) exceed a precautionary value for DDT ($75 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Eleven plots rarely exceed the precautionary value (2 –4 times over that period), four plots exceed the precautionary value each year.

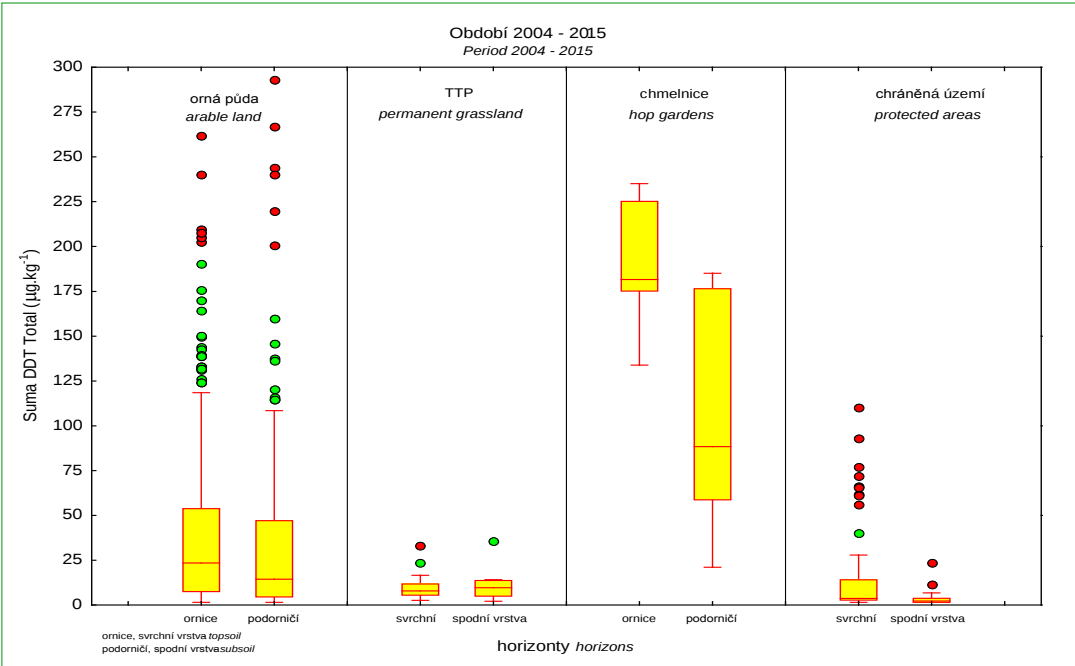
Tabulka 40. Deskriptivní statistika obsahů DDT (suma látek skupiny DDT) na monitorovacích plochách BMP (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Table 40. Descriptive statistics of the levels of the DDT (the sum of DDT-group substances) on BSMS monitoring plots (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ DM)

Kultura / Cultures	Horizont / Horizon	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián / Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	Ornice / Topsoil	56,6	1,50	722	4,56	7,50	23,5	53,8	124
	Podorníčí / Subsoil	43,3	1,50	710	2,59	4,53	14,4	47,1	102
TTP / Permanent grassland	Svrchní hor. / Topsoil	9,68	2,60	33,0	2,80	5,50	7,87	11,7	16,6
	Spodní hor. / Subsoil	10,3	2,10	35,7	2,50	4,95	9,68	13,7	14,2
Chmelnice / Hop gardens	Ornice / Topsoil	201	134	316	167	175	182	225	235
	Podorníčí / Subsoil	107	21,1	185	21,1	58,7	88,4	177	185
Chráněná území / Protected areas	Svrchní hor. / Topsoil	17,3	1,50	110	2,15	2,74	3,66	14,1	65,4
	Spodní hor. / Subsoil	3,54	1,50	23,7	1,50	1,50	2,21	3,75	6,60

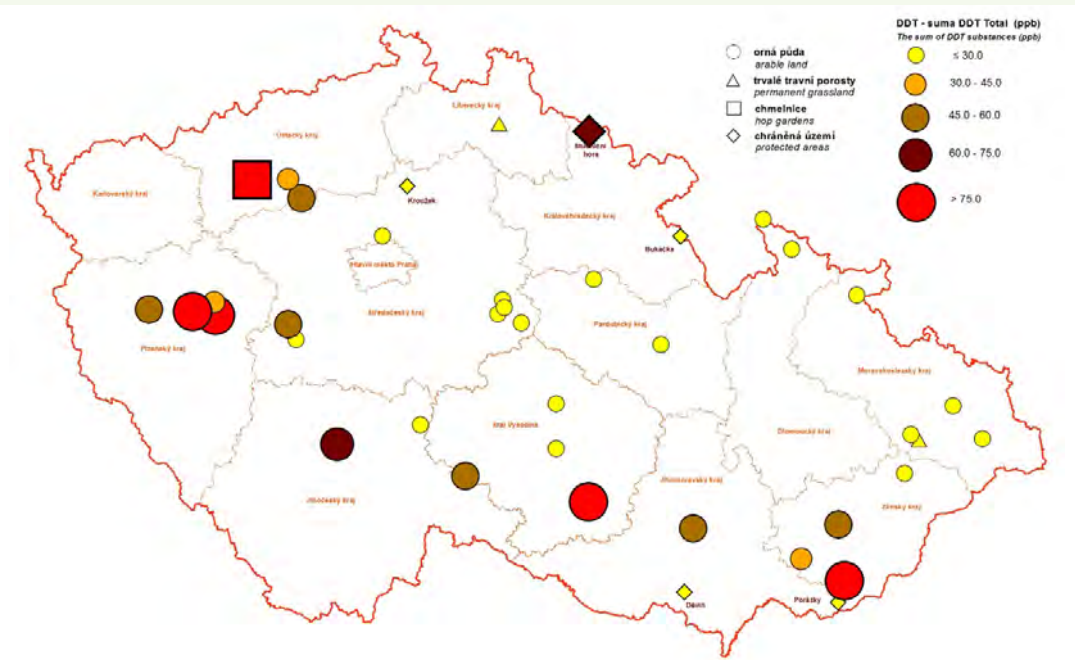
Obrázek 99. Rozložení hodnot obsahů DDT (suma látek skupiny DDT) v půdách BMP (2004–2015)

Figure 99. Distribution of the DDT contents (the sum of DDT-group substances) in BSMS soils (2004–2015)



Obrázek 100. Obsahy DDT (suma látek skupiny DDT) v půdách BMP; horní hranice stupnice je preventivní hodnotou podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (medián 2004–2015; všechny kultury, ornice, µg.kg⁻¹)

Figure 100. The DDT (the sum of DDT – group substances) contents in BSMS soils; the upper limit of the scale is a precautionary value in accordance with Decree no. 153/2016 Coll. (median 2004–2015; all cultures, topsoil, µg.kg⁻¹)



7.4 Polychlorované bifenyly (PCB)

V půdních vzorcích BMP je stanovováno 7 kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153 a 180). Nálezy jednotlivých kongenerů jsou ve většině případů nižší než mez stanovitelnosti ($0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Střední hodnoty (mediány) PCB se ve všech kulturách pohybují v jednotkách $\mu\text{g.kg}^{-1}$, zatímco maximální obsahy se blíží $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Obsahy PCB v jednotlivých kulturách rostou v pořadí chráněná území < orná půda < TTP < chmelnice. Nejvyšší obsahy PCB se vyskytují na třech lokalitách. Dvě se nachází v Jihomoravském kraji, třetí v kraji Zlínském. Všechny tyto lokality leží v blízkosti průmyslových zón. Klesající trend obsahů PCB se v období 2004–2015 projevil jak u zemědělských půd, tak u lokalit z chráněných území. Ke zvyšování obsahů dochází na čtyřech monitorovacích plochách na zemědělské půdě.

Preventivní hodnotu pro PCB překročilo v období 2004–2015 26 vzorků zemědělských půd ze tří monitorovacích ploch. Jedná se o již zmiňované plochy v Jihomoravském a Zlínském kraji.

7.4 Polychlorinated biphenyls (PCB)

Seven PCB congeners (28, 52, 101, 118, 138, 153 and 180) were determined in BSMS soil samples. The results for individual congeners were in most cases below the limit of determination ($0.5 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Mean values (medians) of PCBs in all cultures were in the range of $\mu\text{g.kg}^{-1}$, while the maximum values reached $100 \mu\text{g.kg}^{-1}$. PCB concentrations in different cultures increase in protected areas < arable land < permanent grassland < hop gardens. The highest levels of PCBs concentrations occurred in three locations; two of them are in Southern Moravia, the third is in Zlín region. All these locations are close to industrial zones. In the period 2004–2015, a downward trend of PCB concentrations occurred both in agricultural land and in protected areas. An increase in concentration levels was recorded in four plots of agricultural land.

In the period 2004–2015, the limit of the precautionary value for PCB was exceeded in 26 samples from 3 monitoring plots of agricultural land.

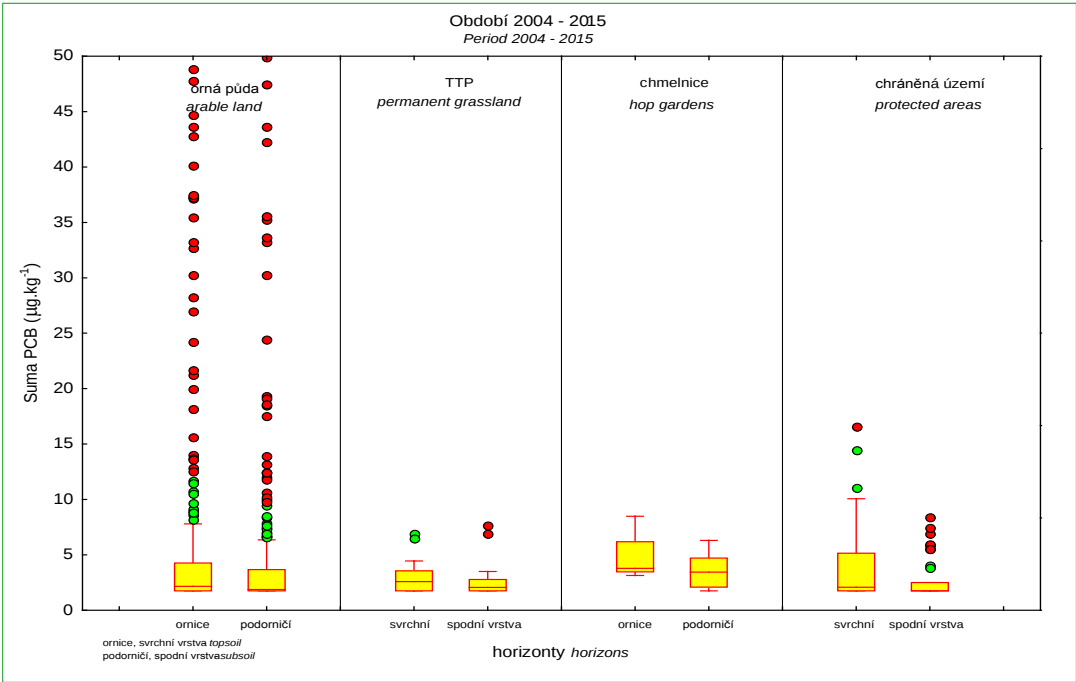
Tabulka 41. Deskriptivní statistika obsahů PCB na monitorovacích plochách BMP (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Table 41. Descriptive statistics of the levels of the PCB on BSMS monitoring plots (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ DM)

Kultura / Cultures	Horizont / Horizon	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián / Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	Ornice / Topsoil	5,93	1,75	98,9	1,75	1,75	2,17	4,27	9,69
	Podorníčí / Subsoil	5,51	1,75	88,3	1,75	1,75	1,88	3,67	10,2
TTP / Permanent grassland	Svrchní hor. / Topsoil	2,93	1,75	6,90	1,75	1,75	2,59	3,56	4,45
	Spodní hor. / Subsoil	2,77	1,75	7,60	1,75	1,75	2,07	2,78	6,90
Chmelnice / Hop gardens	Ornice / Topsoil	4,84	3,14	8,48	3,18	3,47	3,78	6,18	7,50
	Podorníčí / Subsoil	3,57	1,75	6,30	1,75	2,09	3,44	4,71	6,30
Chráněná území / Protected areas	Svrchní hor. / Topsoil	3,88	1,75	16,6	1,75	1,75	2,08	5,15	9,14
	Spodní hor. / Subsoil	2,78	1,75	8,42	1,75	1,75	1,75	2,50	5,90

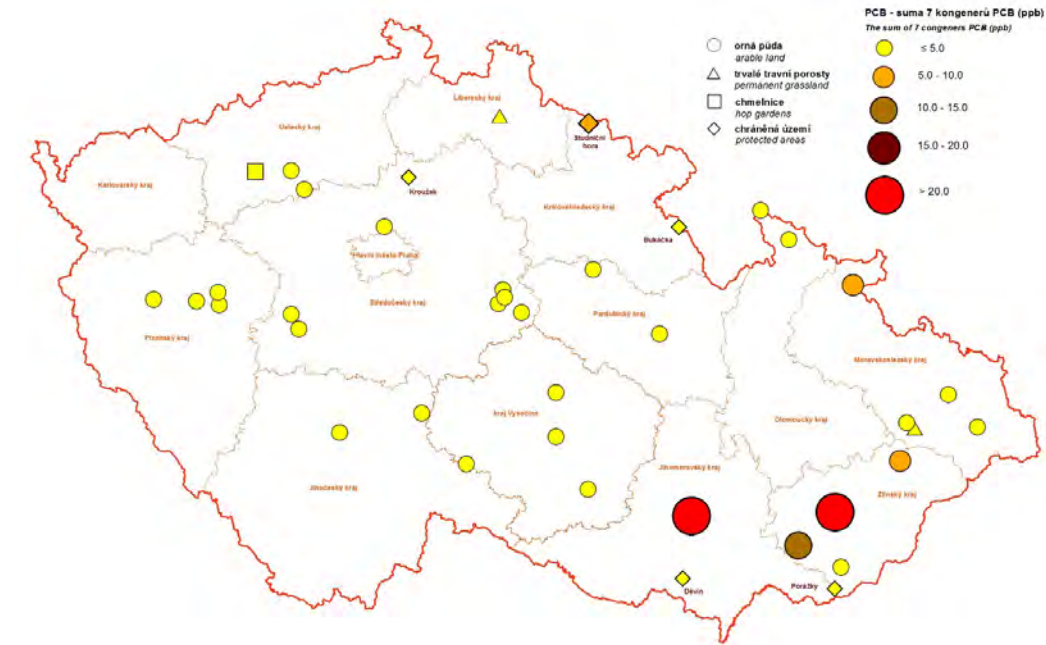
Obrázek 101. Rozložení hodnot obsahů PCB v půdách BMP (2004–2015)

Figure 101. Distribution of the PCB contents in BSMS soils (2004–2015)



Obrázek 102. Obsahy PCB v půdách BMP; horní hranice stupnice je preventivní hodnotou podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (medián 2004–2015; všechny kultury, ornice, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Figure 102. The PCB contents in BSMS soils; the upper limit of the scale is a precautionary value in accordance with Decree no. 153/2016 Coll. (median 2004–2015; all cultures, topsoil, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)



7.5 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Ve vzorcích z Bazálního monitoringu půd se nyní stanovuje 16 indikátorových EPA PAH. Z tabulky 42 je vidět, že obsahy PAH rostou v řadě chráněná území < orná půda = chmelnice < TTP, přičemž obsahy v půdách TTP jsou statisticky průkazně vyšší než v ostatních kulturách.

Klesající tendence obsahů sumy 16 PAH v období 2004–2015 se projevuje jak u zemědělské půdy, tak v chráněných územích. V systému BMP je pět pozorovacích ploch na zemědělské půdě, u nichž je pozorována naopak tendence rostoucí.

Preventivní hodnota $1000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ byla překročena celkem na 18 plochách se zemědělskou půdou. Na osmi plochách došlo k překročení preventivní hodnoty pouze 1–2x, na zbývajících plochách dochází k překročení preventivní hodnoty opakovaně (7–11x). Preventivní hodnota byla překročena také v 9 vzorcích pocházejících ze Studniční hory (Krkonošský národní park). Lze předpokládat, že zvýšené obsahy PAH na této lokalitě jsou důsledkem dálkového atmosférického transportu.

7.5 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)

In samples from the Basal Soil Monitoring System 16 indicators for EPA PAH are now determined. Table 42 shows that the levels of PAHs concentration are increasing in protected areas < arable land = hop gardens < permanent grassland, respectively; the concentrations in permanent grassland soils are statistically significantly higher than in other cultures.

The sum of the 16 PAHs in the period 2004–2015 indicates a declining trend both in agricultural land and in protected areas. Conversely, the BSMS scheme includes five monitoring plots of agricultural land showing an increasing trend.

The precautionary limit of $1000 \mu\text{g.kg}^{-1}$ was exceeded in 18 plots of agricultural land. The precautionary limit was exceeded only 1–2 times in eight plots, in other plots the limit was exceeded on repeated occasions (7–11 times). The precautionary value was also exceeded in 9 samples from Studniční hora (The Krkonoše Mountains National Park). It can be assumed that the increased concentrations of PAHs in this area result from long-range atmospheric transport.

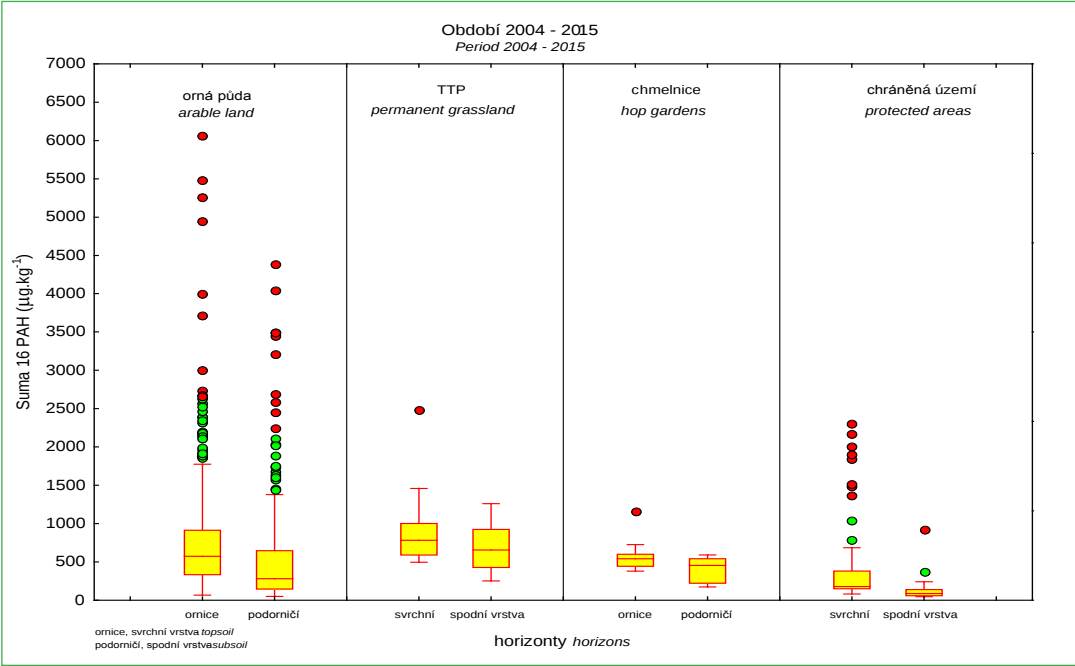
Tabulka 42. Deskriptivní statistika obsahů sumy PAH na monitorovacích plochách BMP (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Table 42. Descriptive statistics of the levels of the sum of PAH on BSMS monitoring plots (2004–2015; $\mu\text{g.kg}^{-1}$ DM)

Kultura / Cultures	Horizont / Horizon	Průměr / Mean	Min	Max	0.10 perc.	0.25 perc.	Medián / Median	0.75 perc.	0.90 perc.
Orná půda / Arable land	Ornice / Topsoil	801	66,7	6071	188	333	573	914	1740
	Podorníčí / Subsoil	568	50,3	4378	102	147	281	647	1442
TTP / Permanent grassland	Svrchní hor. / Topsoil	880	496	2479	528	590	782	1001	1250
	Spodní hor. / Subsoil	698	252	1260	356	428	655	924	1181
Chmelnice / Hop gardens	Ornice / Topsoil	587	380	1161	419	444	542	600	726
	Podorníčí / Subsoil	396	174	591	174	223	454	542	591
Chráněná území / Protected areas	Svrchní hor. / Topsoil	470	81,4	2302	107	150	179	381	1522
	Spodní hor. / Subsoil	133	46,3	917	54,0	58,9	87,3	139	205

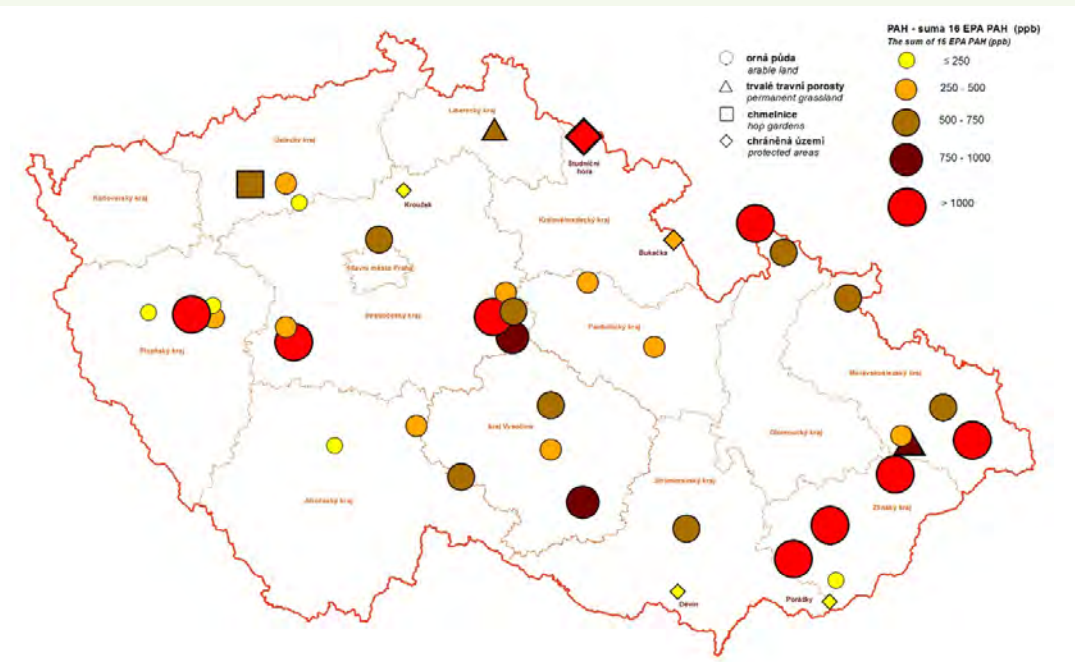
Obrázek 103. Rozložení hodnot obsahů PAH v půdách BMP (2004–2015)

Figure 103. Distribution of the PAH contents in BSMS soils (2004–2015)



Obrázek 104. Obsahy PAH v půdách BMP; horní hranice stupnice je preventivní hodnotou podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. (medián 2004–2015; všechny kultury, ornice, µg.kg⁻¹)

Figure 104. The PAH contents in BSMS soils; the upper limit of the scale is a precautionary value in accordance with Decree no. 153/2016 Coll. (median 2004–2015; all cultures, topsoil, µg.kg⁻¹)



8 Půdní mikrobiologie

Stanislav Malý

Aktivita mikroorganismů je klíčová z hlediska zajištění řady ekosystémových funkcí půdy, jako je transformace organické hmoty a s ní související tvorba půdní struktury, zpřístupnění živin rostlinám, biodegradace organických polutantů nebo fixace vzdušného dusíku. Tato skutečnost má praktický dopad pro aplikaci mikrobiologie v systému půdního monitoringu: musíme zvolit vyváženou sadu parametrů pokrývající biomasu, různé aktivity a v případě širšího záběru i diverzitu půdních mikrobiálních společenstev. Základní úkol půdního monitoringu spočívá jednak v nalezení vztahů mezi abiotickými a mikrobiologickými půdními vlastnostmi, což umožňuje definovat rozsah hodnot mikrobiologických parametrů s ohledem na určující fyzikálně-chemické půdní vlastnosti, jednak vyhodnotit trendy v čase, které jsou důsledkem změn v obhospodařování půdy.

Základní sada mikrobiologických parametrů byla do systému půdního bazálního monitoringu ÚKZÚZ zavedena v roce 1999. Tento příspěvek je zaměřen zejména na hodnocení těch parametrů, které charakterizují procesy akumulace a mineralizace půdní organické hmoty. Zahrnuta je i nitrifikační aktivita, která představuje citlivý parametr změn v půdních vlastnostech, zejména pH. V úvodní části jsou pomocí mnohorozměrné analýzy přehledně zobrazeny vztahy mezi mikrobiologickými charakteristikami a půdními vlastnostmi a je ukázáno, jakým způsobem mikrobiologické vlastnosti ovlivnilo obhospodařování půdy. Druhá část je zaměřena na popis změn jednotlivých mikrobiálních parametrů na plochách, kde se během sledovaného období změnil způsob obhospodařování.

Odběr a skladování vzorků

Vzorky pro mikrobiologické analýzy jsou odebírány ze 118 ploch, z nichž 76 je na orné půdě (Orná) a 27 na travních porostech (TTP). Na 15 plochách došlo ke změně obhospodařování (Změna). Z uvedených travních ploch jich 22 náleží do sítě monitoringu ÚKZÚZ (TTP_{ÚKZÚZ}) a pět se jich nachází na území chráněných krajinných oblastí (TTP_{CHKO}). Jedná se o Bílé Karpaty, České středohoří, Kokořínsko, Slavkovský les a Třeboňsko. Od roku 1999 do roku 2004 bylo každoročně vzorkováno 60 ploch, v roce 2005 byla sada rozšířena o dalších 58 ploch a perioda odběru prodloužena na dva roky. Vyrůstající počet analytických metod si vyžádal další úpravu v roce 2010, kdy došlo k rozdělení lokalit do tří skupin, které jsou vzorkovány jednou za tři roky. Vzorky jsou odebírány z vrstvy 0–15 cm, vždy během prvního týdne měsíce října. Půdy jsou prosety (2 mm) a před analýzou zamrazeny (–20 °C). Po rozmrazení jsou skladovány v ledničce. Analýzy byly prováděny dle jednotných pracovních postupů ÚKZÚZ.

Plochy se změnou obhospodařování

Z celkového počtu 15 ploch, na kterých došlo od roku 1993 ke změně obhospodařování, se ve 12 případech jednalo o zatravnění orné půdy, ve dvou případech o změnu TTP→Orná. V jednom případě (7020) se jednalo o přítomnost travního porostu během krátkého období na jinak orné půdě. Uvedené změny spolu s termíny odběru vzorků shrnuje tabulka 43.

Vliv obhospodařování na půdní mikrobiální vlastnosti a vztahy mezi mikrobiologickými a abiotickými půdními vlastnostmi

Celkovou představu o vlivu obhospodařování půdy na mikrobiální parametry a vztahu mezi biologickými a abiotickými půdními vlastnostmi podává ordinační diagram založený na analýze hlavních komponent (PCA), která byla spočtena z hodnot mediánů jednotlivých parametrů v čase (obrázek 105). Hlavní komponenty (PC1, PC2), které jsou lineární kombinací původních proměnných, jsou na sobě nezávislé a jsou spočteny tak, aby vysvětlily maximum variability v datech (55,3 % pro PC1, 18,9 % pro PC2). Z hlediska interpretace diagramu platí, že body, které jsou sobě blíže, zobrazují plochy s podobnými hodnotami sledovaných parametrů. Pokud promítneme body kolmo na šipku zobrazující daný parametr, seřadí se ve směru šipky přibližně podle stoupajících hodnot daného parametru. Šipky mířící stejným směrem zobrazují parametry, které spolu pozitivně korelují. Pokud šipky míří opačným směrem, je mezi nimi negativní korelace, pravý úhel znamená nulovou korelaci.

Diagram ukazuje téměř dokonalé oddělení půd orných a půd pod travními porosty, kdy pro půdy TTP jsou charakteristické vyšší hodnoty mikrobiální biomasy (MBC – celková biomasa fumigačně-extrakční metodou, R_s – substrátem indukovaná respirace představující aktivní frakci mikrobiální biomasy) a celkové mikrobiální aktivity (bazální respirace R_b , anaerobní amonifikace AMO). Korelace těchto parametrů s C_{ox} potvrzuje významný vliv obsahu půdní organické hmoty (SOM) na uvedené charakteristiky. Může se přitom jednat jak o vliv přímý (zdroj C a energie pro půdní mikroorganismy), tak nepřímý (např. vyšší schopnost zadržovat vodu v půdách s vyšším obsahem SOM). Specifická růstová rychlost (RKR $_{\mu}$) charakterizující mikrobiální růst v exponenciální fázi po přidavku substrátu byla vyšší v orných půdách. Pravděpodobně se jedná o adaptaci mikroorganismů na fluktuaci koncentrace nízkomolekulárních organických sloučenin v orných půdách během vegetační sezóny, která je důsledkem rozvoje kořenového systému rostlin po aplikaci hnojiv. Úspěšnější jsou ty mikroorganismy, které umí dostupný substrát rychle využít. Naopak v půdách travních porostů je limitace substrátem během sezóny nižší. Krátkodobá nitrifikační aktivita (SNA) se na oddělení půd orných a pod travními porosty výrazněji nepodílela, její hodnoty závisely zejména na půdním pH (obrázek 106). V půdách TTP byly podle očekávání nalezeny vyšší hodnoty C_{ox} , což se projevilo i vyššími hodnotami kationtové výměnné kapacity (CEC) (obrázek 106).

Ordinační diagram ukazuje, že půdy, na kterých došlo ke změně obhospodařování, se nacházejí jak mezi půdami ornými, tak půdami travních porostů (obrázek 107). Hodnoty mikrobiálních parametrů ploch 4012, 6021, 7020 a 8020 odpovídají orným půdám. V případě lokalit 4012 a 8020 (orná→TTP) je tato skutečnost pravděpodobně výsledkem kratší doby od zatravnění (rok 2008 resp. 2010). V prvním případě se navíc mohlo projevit, že plocha byla vzorkována až od roku 2005. Plocha 6021 byla na ornou přeměněna již v roce 1995 a všechny odběry byly realizovány v době, kdy plocha byla obhospodařována jako orná. Půda na lokalitě 7020 byla zatravněna pouze během krátkého období, které skončilo šest let před prvním odběrem. Půdy 2017 a 2018 (orná→TTP), nacházející se v ordinačním diagramu na hranici orných půd, vykazují hodnoty MBC 298 $\mu\text{g.g}^{-1}$ resp. 331 $\mu\text{g.g}^{-1}$, které se blíží mediánu pro TTP $_{UKZÚZ}$ (336 $\mu\text{g.g}^{-1}$). Vysoké hodnoty SNA naopak řadí obě půdy do skupiny orných půd s vysokou nitrifikací (obrázek 105, rozdělení podle PC2). Tato skutečnost pravděpodobně souvisí s vyššími hodnotami pH (7,4 pro 2017;

7,2 pro 2018) v půdách obou lokalit. Všechny plochy se změnou obhospodařování, které se v ordinačním diagramu nacházejí mezi plochami na travních porostech (5007, 6005, 6022, 7042, 8007, 8011), představují původně orné půdy přeměněné na TTP již v letech 1994–1999. Období, kdy došlo k přeměně orné půdy na travní porost na plochách 4011 a 5010 (2004–2005), odpovídá umístění těchto lokalit na pomezí mezi půdami ornými a půdami travních porostů. V případě plochy 6013, která se rovněž nachází na rozhraní TTP a orných půd, se jedná o lokalitu, na které byl do roku 2000 trvalý travní porost.

Vliv obhospodařování na půdní mikrobiální vlastnosti – jednotlivé parametry

V kapitolách věnovaných jednotlivým parametrům je ukázáno jakým způsobem obhospodařování ovlivňovalo mikrobiální charakteristiky. Statisticky bylo Wilcoxonovým neparametrickým testem provedeno srovnání půd orných a TTP_{ÚKZÚZ}. Pro tento účel byly použity mediány z dat získaných na každé ploše v průběhu času. Půdy TTP_{CHKO} nebyly do analýzy zahrnuty z důvodu odlehlosti některých charakteristik ve srovnání s TTP_{ÚKZÚZ} a nízkého počtu ploch v této skupině (5). Časová variabilita byla spočtena jako variační koeficient dat naměřených na dané ploše v průběhu sledování. Korelace byla vypočtena pomocí Spearmanova korelačního koeficientu. Trendy analyzovaných charakteristik na plochách se změnou ohospodařování jsou prezentovány graficky pomocí lokálně vážené regrese. Na tomto místě je třeba zdůraznit, že se jedná o popis naměřených dat, na který naváže statistická analýza.

8 Soil microbiology

Stanislav Malý

Activity of microorganisms is crucial to ecosystem functions provided by soil, such as organic matter transformation and related soil structure formation, nutrient availability to plants, biodegradation of organic pollutants, or atmospheric nitrogen fixation. This has a practical impact on the application of microbiology in soil monitoring system: balanced parameters covering biomass and various/different activities must be applied; for more detailed survey/analysis diversity of soil microbial communities should be applied. The fundamental task of soil monitoring consists, first, in efforts to investigate the relationships between abiotic and microbiological soil properties, which allows to define a range of microbiological parameters with respect to defining physico-chemical properties of soil and, second, in assessing trends over time resulting from changes in land management.

A set of basic microbiological parameters was introduced into basal soil monitoring scheme by ÚKZÚZ in 1999. This implementation aims to contribute, in particular, to assessment of parameters that characterize soil organic matter accumulation and mineralization. Nitrification activity, which is a sensitive parameter of changes in soil properties, in particular pH, was also included. The introductory section shows the relationships between microbiological characteristics and soil properties based on multivariate analysis and reflects the effect of land management on soil microbial properties. The second section outlines changes in individual microbial parameters in plots where land management practices changed during the period considered.

Sample collection and storage

Samples for microbiological analysis were collected from 118 plots, 76 of which are on arable land (Arable) and 27 on permanent grassland (PG). In 15 plots land management practises were changed ("Change). 22 out of the above-mentioned grasslands belong to the ÚKZÚZ monitoring network (PG_{ÚKZÚZ}) and 5 are located in protected landscape areas (PG_{PLA}). These include White Carpathians, Central Bohemian Uplands, the Kokořín region, The Kaiserwald, and the Třeboň region. From 1999 to 2004, 60 plots were annually sampled; in 2005 the network was extended by further 58 plots and the sampling period was extended by two years. The increasing number of analytical methods required further adjustment in 2010, when the plots were divided into three groups sampled once every three years. Samples were taken from the 0-15 cm layer, always during the first week in October. The soils were sieved (2 mm) and frozen (-20 °C) prior to analysis. After thawing, they were kept in the refrigerator. Analyses were performed according to ÚKZÚZ Standard Operational Procedures.

Plots with land management change

Out of the total of 15 plots where land management has changed since 1993, 12 cases concerned grassing of arable land, and 2 cases concerned conversion of PG→Arable. One case (7020) related to the presence of short-term grassland on the otherwise arable land. The above-mentioned changes along with the dates of sampling are summarized in Table 43.

The influence of land management on soil microbial properties and relationships between microbiological and abiotic soil properties

A complete overview of the influence of land management on soil microbial parameters and the relationship between biological and abiotic soil properties is shown in the ordination plot based on principal components analysis (PCA) which was calculated from the median values of each parameter over time (Figure 105). The main components (PC1, PC2), which are linear combinations of the original variables, are independent, and are calculated in order to explain the maximum variability in the data (55.3% for PC1, 18.9% for PC2). In terms of interpretation of the ordination plot, the points that are closer together show plots with similar values of monitored parameters. If we project the points perpendicular to the arrow showing the parameter, they shall be approximately arranged in the direction of the arrow according to the rising values of the parameter. The arrows pointing in the same direction indicate parameters which are positively correlated with each other. If the arrows are pointing in the opposite direction, there is a negative correlation between them; the right angle represents zero correlation.

The ordination plot shows almost complete separation of arable soils and soils under grassland; the PG soils are characterized by higher values of microbial biomass (MBC – total biomass by fumigation-extraction method, R_s – substrate-induced respiration representing the active fraction of microbial biomass) and the total microbial activity (basal respiration R_b , anaerobic ammonification AMO). The correlation of these parameters with C_{ox} confirms a significant influence of the soil organic matter (SOM) on the above-mentioned characteristics. The effect may be both direct (a source of carbon and energy for soil microorganisms) and indirect (e.g. greater water retention in soils with higher SOM content). The specific growth rate ($R_{KR_μ}$) characterizing the microbial growth in the exponential phase after substrate addition was higher in arable soils. This is probably an adaptation of microorganisms to fluctuating concentrations of low molecular weight organic compounds in arable soils during the growing season, which is a consequence of plant root system development after application of fertilizers. Microorganisms that can quickly take advantage of an available substrate are more successful. In grassland soils, however, limitation by the substrate during the season is lower. Short nitrification activity (SNA) was not significantly involved in the separation of arable soils and soils under grassland, its values were dependant especially upon the soil pH (Figure 106). Higher C_{ox} levels expected to be found in PG soils were reflected in higher cation exchange capacity (CEC) values (Figure 106).

The ordination plot shows that the plots with land management change are among arable soils and soils of grassland (figure 107). The values of the microbial parameters of plots 4012, 6021, 7020 and 8020 correspond to arable soils. The values of plots 4012 and 8020 (arable→PG) are likely a result of a shorter period of grassing (in 2008, 2010 respectively). In the first case, moreover, sampling in the plot only from 2005 could be of some relevance. Plot 6021 had already been converted to arable in 1995, and all samples were collected at a time when the plot was used as arable. Soil in plot 7020 was grassed only during a short period which ended six years before the first sampling. Plots 2017 and 2018 (arable→PG), located in the ordination plot at the border of arable soils, show MBC values of 298 $μg.g^{-1}$ and 331 $μg.g^{-1}$, respectively, which approach the median for PG_{ÚKZÚZ} (336 $μg.g^{-1}$).

Based on high SNA values, on the contrary, both soils are classified into the group of arable soils with high nitrification (Figure 105, classification according to PC2). This fact is probably associated with higher pH (7.4 in 2017; 7.2 in 2018) in soils of both plots. All plots with land management change which are in the ordination plot in the group of grassland plots (5007, 6005, 6022, 7042, 8007, and 8011) represent original arable lands converted to PG in 1994–1999. The period, when arable land was converted to grassland in plots 4011 and 5010 (2004–2005), corresponds to their location at the interface between arable land and grassland. Plot 6013, which is also situated at the interface between arable land and grassland, was permanent grassland until 2000.

The influence of land management on soil microbial properties – individual parameters

The chapters concerning individual parameters describe the influence of management practices on microbial characteristics. Statistical comparison of arable soils and PG_{ÚKZÚZ} was carried out using the Wilcoxon non-parametric test. For this purpose medians from the data obtained in each plot over time were used. PG_{PLA} soils were not included in the analysis due to some outlying feature values compared with PG_{ÚKZÚZ} and a low number of plots in this group (5). Temporal variability was calculated as the coefficient of variation of data measured in a given plot during monitoring. Correlations were calculated using the Spearman correlation coefficient. Trends of analysed characteristics in the plots with land management change are presented graphically using locally weighted regression. It should be stressed here that a statistical analysis will follow this measurement data description.

Tabulka 43. Přehled ploch, na kterých došlo ke změně obhospodařování

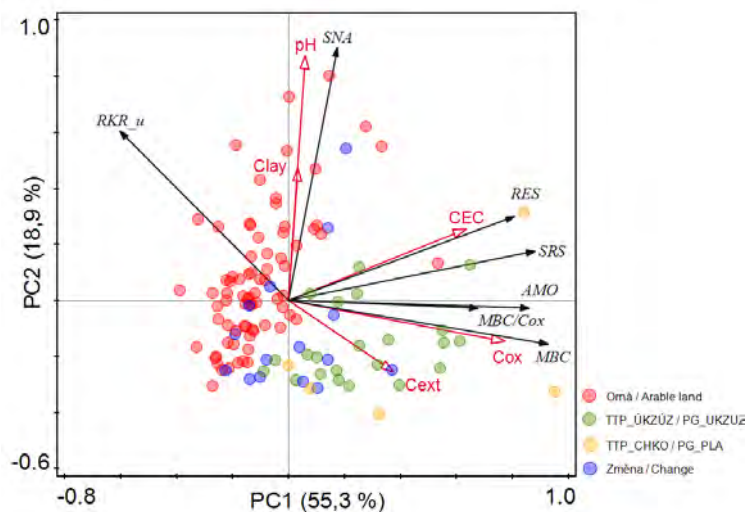
Table 43. Overview of plots where land management has changed

Plocha / Plot	Původní kultura / Original culture	Změna v roce / Change in	Odběry od / Samples from	Série / Series
2017	Orná / Arable	2006	2005	s2_s2
2018	Orná / Arable	1998	1999	s1_s2
4011	Orná / Arable	2005	2005	s2_s2
4012	Orná / Arable	2008	2005	s2_s1
5007	Orná / Arable	1997	2005	s2_s3
5010	Orná / Arable	2004	2005	s2_s3
6005	Orná / Arable	1993	2005	s2_s2
6013	TTP / Permanent grassland	2001	1999	s1_s1
6021	TTP / Permanent grassland	1995	1999	s1_s1
6022	Orná / Arable	1994	2005	s2_s2
7020	Orná / Arable	1994 – 1999 ¹	2005	s2_s3
7042	Orná / Arable	1999	1999	s1_s3
8007	Orná / Arable	1996	1999	s1_s1
8011	Orná / Arable	1998	2005	s2_s2
8020	Orná / Arable	2010	1999	s1_s3

1 pícniny a travní porost / fodder plants and grassland;
Odběry / sampling: s1_s1: 1999, 2000...2004; 2006, 2008, 2010, 2013; s1_s2: 1999, 2000...2004; 2006, 2008, 2011, 2014; s1_s3: 1999, 2000...2004; 2006, 2008, 2012, 2015; s2_s1: 2005, 2007, 2009, 2010, 2013; s2_s2: 2005, 2007, 2009, 2011, 2014; s2_s3: 2005, 2007, 2009, 2012, 2015

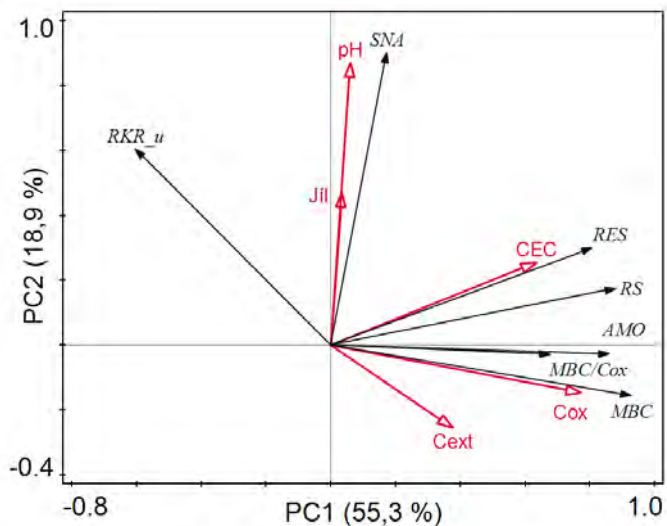
Obrázek 105. PCA ordinační diagram. AMO – anaerobní amonifikace, MBC – mikrobiální biomasa, RES – bazální respirace, RS – substrátem indukovaná respirace, SNA – krátkodobá nitrifikační aktivita, RKR_μ – specifická růstová rychlost

Figure 105. PCA ordination plot. AMO – anaerobic ammonification, MBC – microbial biomass, RES – basal respiration, RS – substrate-induced respiration, SNA – short nitrification activity, RKR_μ – specific growth rate



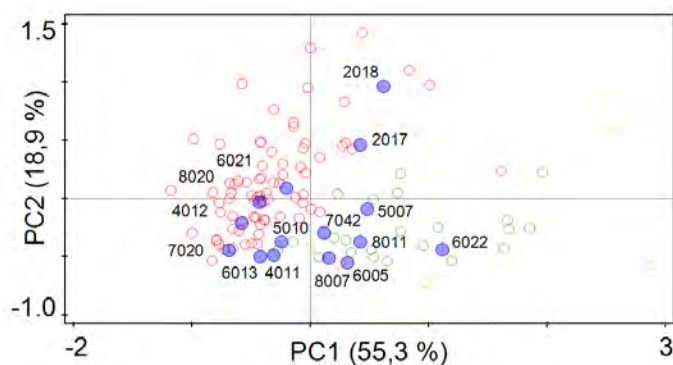
Obrázek 106. PCA ordinační diagram spočtený na mikrobiologických parametrech s fyzikálně–chemickými vlastnostmi promítnutými do ordinačního diagramu. CEC – kationtová výměnná kapacita, Cext – extrahovatelný C (0,5 M K₂SO₄), Cox – oxidovatelný C, Jíl – obsah částic menších než 0,002 mm, pH – v 1 M KCl. Mikrobiologické parametry viz obrázek 105

Figure 106. PCA ordination plot calculated on microbiological parameters with physico-chemical properties projected into the ordination plot. CEC - cation exchange capacity, Cext - extractable carbon (0.5 M K₂SO₄), Cox – oxidisable carbon, Clay – the content of particles less than 0.002 mm in diameter, pH – in 1 M KCl. Microbiological parameters (see figure 105)



Obrázek 107. Umístění ploch se změnou způsobu obhospodařování v PCA ordinačním diagramu mezi plochami ornými a půdami travních porostů. Legenda viz obrázek 105

Figure 107. Distribution of plots with land management change in PCA ordination plot between the arable and grassland plots. Legend, see figure 105



8.1 Mikrobiální biomasa a půdní organická hmota (SOM)

C mikrobiální biomasy představuje labilní frakci půdní organické hmoty a poměr MBC k celkovému C (MBC/C_{ox}), nazývaný mikrobiální kvocient, charakterizuje schopnost půdních mikroorganismů využít organickou hmotu ke svému růstu. Substrátem indukovaná respirace odráží aktivní frakci mikrobiální biomasy. Vyšší hodnoty MBC a mikrobiálního kvocientu při srovnatelných abiotických podmínkách ukazují na příznivé podmínky pro rozvoj mikrobiálních společenstev.

Mediánové hodnoty časové variability činily (9,45, 9,78, 24,0) % pro C_{ox} ; (18,0, 20,0, 28,1) % pro C_{ext} ; (18,1, 21,6, 37,6) % pro MBC a (19,8, 16,3, 29,1) % pro R_s , vždy v pořadí orná půda, $TTP_{ÚKZÚZ}$ a TTP_{CHKO} .

Nalezené výsledky potvrzují známou skutečnost, že jak obsah půdní organické hmoty (C_{ox} , C_{ext}), tak mikrobiální biomasy (MBC, R_s) jsou vyšší v půdách travních porostů než v půdách orných ($p < 0,001$ pro všechny parametry; orná vs $TTP_{ÚKZÚZ}$). Časový průběh sledovaných parametrů je na obrázcích 108–111. Obecným rysem je podobný trend v C_{ox} , C_{ext} a MBC. Vzrůstající hodnoty těchto charakteristik byly nalezeny na orných plochách, které byly zatravněny v období 1994–1999 (2018, 5007, 6005, 6022, 7042, 8007, 8011). Procesy akumulace organické hmoty a zvyšující se hodnoty MBC byly detekovány bezprostředně po přeměně orné půdy na travní v letech 2006 a 2004 na lokalitách 2017, resp. 5010. Na orných plochách 4011 a 4012, na kterých došlo k přeměně na travní porost v letech 2005, resp. 2008, k výrazným změnám v C_{ox} , C_{ext} a MBC nedošlo. Uvedený rozdíl lze vysvětlit vyššími hodnotami pH v půdách 2017 a 5010 (obrázek 114), což vytváří příhodné podmínky pro mikrobiální aktivitu. V případě plochy 6021, přeměněné v roce 1995 z TTP na ornou, byl zaznamenán pokles MBC do roku 2004, poté hodnoty nevykazují žádný trend. Překvapivě působí skutečnost, že podobný trend ve sledovaných charakteristikách nebyl zaznamenán na lokalitě 6013, kde ke změně $TTP \rightarrow$ orná došlo v roce 2001 a která je vzorkovaná od roku 1999. Může to souviset

se skutečností, že hodnoty C_{ext} a MBC se již od prvních odběrů nacházejí na horní hranici rozmezí, které je typické pro orné půdy. Ve většině případů nebyl nalezen výrazný časový trend v R_s . Zde se pravděpodobně projevil důsledek toho, že uvedená metoda byla zavedena až v roce 2006 a s výjimkou ploch 4012 a 8020 se tak stalo až po změně obhospodařování.

8.1 Microbial biomass and soil organic matter (SOM)

Microbial biomass carbon represents a labile fraction of soil organic matter and MBC ratio to the total C (MBC/C_{ox}), called microbial quotient, characterises the ability of soil microorganisms to utilize the organic matter to grow. Substrate-induced respiration reflects the active fraction of microbial biomass. Higher levels of MBC and microbial quotient indicate favourable conditions for development of microbial communities under comparable abiotic conditions.

Median values of temporal variabilities were (9.45, 9.78, and 24.0)% for C_{ox} ; (18.0, 20.0, and 28.1)% for C_{ext} ; (18.1, 21.6, and 37.6)% for MBC and (19.8, 16.3, and 29.1)% for R_s ; always in the following order: arable land, $\text{PG}_{\text{ÚKZÚZ}}$ and PG_{PLA} .

The findings confirm a well-known fact that both the content of soil organic matter (C_{ox} , C_{ext}) and the content of microbial biomass (MBC, RS) are higher in grassland soils than in arable soils ($p < 0.001$ for all parameters; arable vs $\text{PG}_{\text{ÚKZÚZ}}$). The time course of monitored parameters is shown in figures 108–111. The general feature is similar to the trend in C_{ox} , C_{ext} and MBC. Increasing values of these characteristics were recorded in arable lands that were grassed over the period 1994–1999 (2018, 5007, 6005, 6022, 7042, 8007, and 8011). Processes of accumulation of organic matter and MBC increasing values were detected immediately after the conversion of arable land to grassland in 2006 and 2004 in plots 2017 and 5010, respectively. In arable plots 4011 and 4012, where there was a conversion to grassland in 2005 and 2008, respectively, no significant changes in C_{ox} , C_{ext} and MBC occurred. The difference can be explained by higher pH values in soils of plots 2017 and 5010 (Figure 114), which creates conditions favourable for microbial activity. Regarding plot 6021, converted in 1995 from permanent grassland to arable land, a decrease in MBC by 2004 was recorded; the values do not show any trend thereafter. Surprisingly, a similar trend in the monitored indicators was not recorded in plot 6013, where there was a change $\text{PG} \rightarrow$ arable land in 2001 and which has been sampled since 1999. This may be related to the fact that since the first sampling, the C_{ext} and MBC values have been located at the upper limit of the range that is typical for arable land. In most cases, no significant time trend in the R_s was shown. It may be a consequence of the fact that the above-mentioned method was introduced in 2006 and with the exception of plots 4012 and 8020 it was after the change in land management.

Tabulka 44. Deskriptivní statistika

Table 44. Descriptive statistics

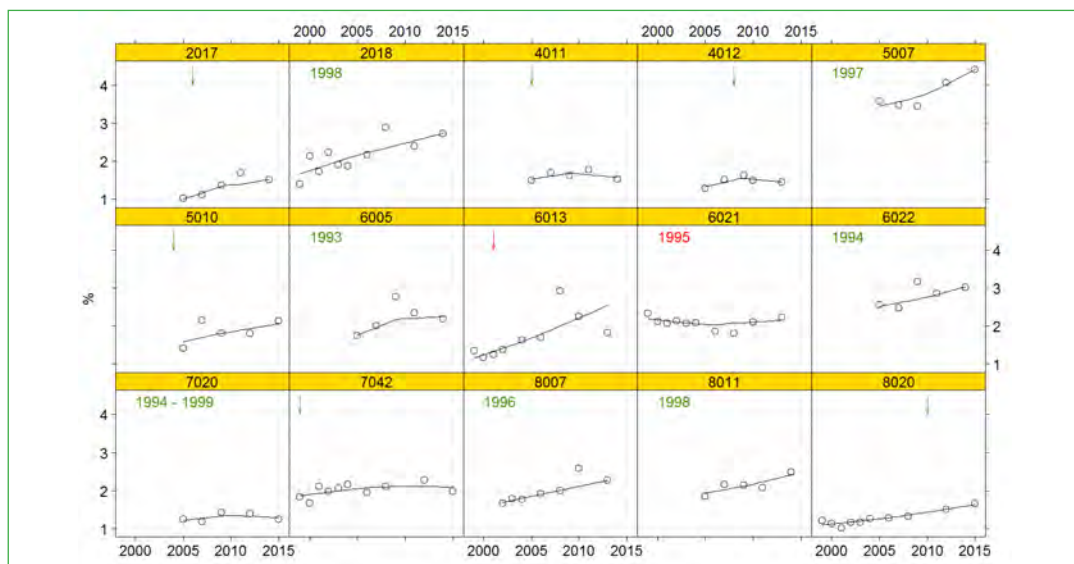
Parametr / Parameter	Jednotka / Unit	Kultura / Cultures	Počet / Number of plots	Průměr / Mean	Min	Max	0.25 perc.	Median	0.75 perc.
C _{ext}	µg.g ⁻¹	Orná / Arable	76	38,0	17,2	86,6	28,0	35,3	43,6
		TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	67,3	39,5	187	52,9	65,5	70,3
		TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	69,0	35,4	78,1		69,3	
C _{ox}	%	Orná / Arable	76	1,78	0,90	3,61	1,37	1,68	1,93
		TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	2,99	1,79	4,25	2,58	2,81	3,43
		TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	3,95	2,10	5,18		4,07	
MBC	µg.g ⁻¹	Orná / Arable	76	201	75	638	163	185	230
		TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	441	238	848	336	375	529
		TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	609	252	993		671	
MBC/C _{ox}	%	Orná / Arable	76	1,16	0,66	1,94	0,96	1,15	1,26
		TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	1,48	0,78	2,25	1,24	1,40	1,67
		TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	1,49	1,02	1,97		1,43	
R _s	µg O ₂ .g ⁻¹ .h ⁻¹	Orná / Arable	76	20,1	7,17	37,2	14,8	18,6	23,8
		TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	34,7	12,7	66,1	25,3	34,2	42,9
		TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	32,6	16,3	57,6		21,9	

C_{ext} – extrahovatelný C (0,5 M K₂SO₄), C_{ox} – oxidovatelný C, MBC – C mikrobiální biomasy, R_s – substrátem indukovaná respirace. V případě půd TTP_{CHKO} jsou uvedeny pouze vybrané charakteristiky z důvodu nízkého počtu vzorků.

C_{ext} – extractable carbon (0,5 M K₂SO₄), C_{ox} – oxidizable carbon, MBC – microbial biomass carbon, R_s – substrate-induced respiration. Concerning PG_{PLA} soils, only selected characteristics are listed due to a low sample size.

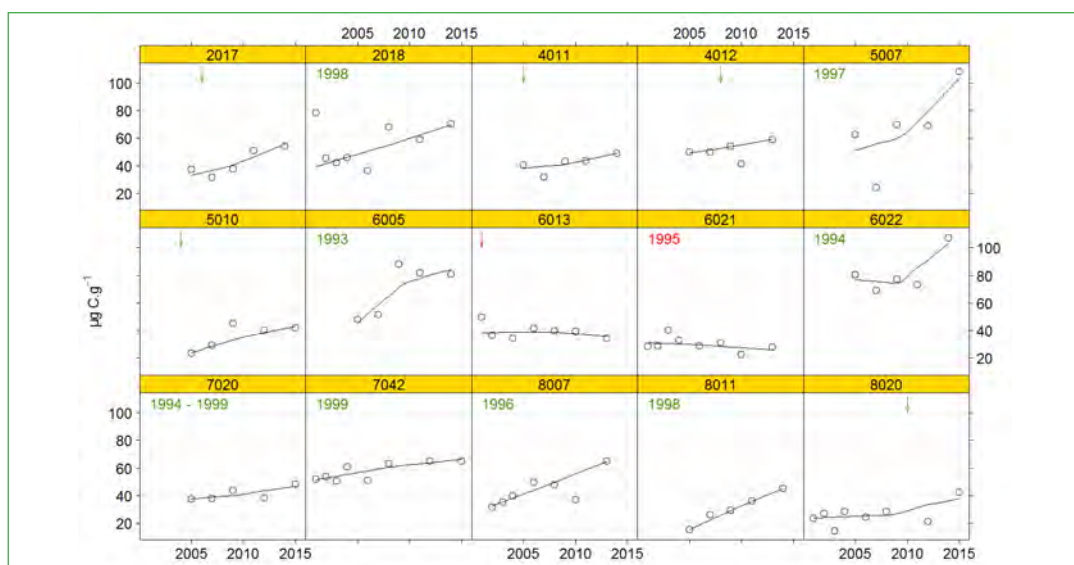
Obrázek 108. Časový průběh C_{ox} na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná

Figure 108. C_{ox} time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land



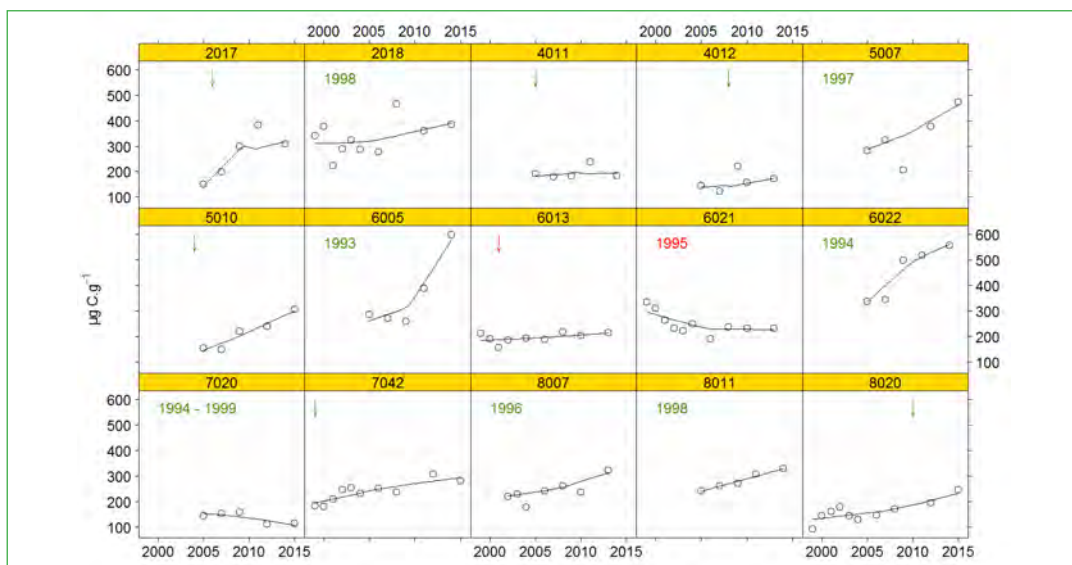
Obrázek 109. Časový průběh C_{ext} na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná

Figure 109. C_{ext} time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land



Obrázek 110. Časový průběh C mikrobiální biomasy na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná

Figure 110. Microbial biomass carbon (MBC) time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land



Obrázek 111. Časový průběh substrátem indukované respirace na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná

Figure 111. Substrate-induced respiration (RS) time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land



8.2 C a N mineralizace (respirace a amonifikace)

Bazální respirace a anaerobní amonifikace charakterizují rychlost mineralizace půdní organické hmoty. V půdách bazálního monitoringu, kde nepředpokládáme významnou přítomnost stresových faktorů, jako je např. kontaminace, jejich hodnoty závisí na obsahu, dostupnosti a chemickém složení organické hmoty a abundanci a fyziologickém stavu půdních mikroorganismů. V případě respirace hraje zásadní roli provzdušnění půdy. Oba studované parametry charakterizují celkovou mikrobiální aktivitu. V případě respirace je ale třeba zdůraznit, že v půdě je přítomna řada mikroorganismů, které k získání energie využívají jiný způsob než oxidaci organických sloučenin s kyslíkem jako terminálním akceptorem elektronů. Z výše uvedeného vyplývá, že hodnotit C a N mineralizaci bychom měli vždy spolu s relevantními chemickými (obsah SOM) a mikrobiologickými (MBC) půdními charakteristikami.

Mediánové hodnoty časové variability činily (26,7; 20,6; 30,2) % pro bazální respiraci a (27,5; 25,4; 45,0) % pro anaerobní amonifikaci; vždy v pořadí orná půda, $TTP_{\text{ÚKZÚZ}}$ a TTP_{CHKO} .

Jak v případě bazální respirace, tak anaerobní amonifikace byly naměřené hodnoty vyšší v půdách travních porostů než v půdách orných ($p < 0,001$ pro oba parametry; orná vs $TTP_{\text{ÚKZÚZ}}$). Korelační analýza ukázala pozitivní vztah mezi rychlostí mineralizace (respirace, anaerobní amonifikace) a C_{ox} , C_{ex} a MBC. Spearmanův korelační koeficient se pohyboval v rozmezí 0,45–0,75 ($p < 0,001$). Není proto překvapující, že časový průběh respirace a amonifikace v půdách se změnou obhospodařování sledoval podobný trend jako C_{ext} a MBC (obrázky 109–110, 112–113). Vzrůst C mineralizace v půdách 4011 a 4012 naznačuje, že respirace reagovala citlivěji na zatrávnění než C_{ext} a MBC. Nejnižší nárůst respirace s časem mezi ornými plochami zatrávněnými v období 1994–1999 byl zaznamenán na ploše 2018. Patrně se v tomto případě projevila skutečnost, že se jedná o plochu s nejvyšším pH (obrázek 114), což mohlo vést k rychlejšímu rozvoji mikrobiálního společenstva a časnějšímu vzniku nové rovnováhy. Významná změna respirace v čase nebyla zaznamenána na plochách 6013 a 6021, které byly z TTP přeměněny na ornou půdu v letech 2001 resp. 1995. Důvod není zřejmý v prvním případě, protože odběry vzorků z této plochy začaly již v roce 1999. Naměřené hodnoty ale odpovídají spíše půdám orným než půdám travních porostů (tabulka 44), podobně jako tomu bylo v případě C_{ext} a MBC. Výrazný rozdíl mezi respirací a amonifikací byl nalezen v půdě 6022, kde byl zaznamenán mírný nárůst C mineralizace, ale pokles N mineralizace.

8.2 C and N mineralization (respiration and ammonification)

Basal respiration and anaerobic ammonification characterize the rate of mineralization of soil organic matter. In soils of basal monitoring, where no significant presence of stress factors such as contamination are expected, the values depend on the content, availability and chemical composition of the organic matter and the abundance and physiological condition of soil micro-organisms. Soil aerating plays a crucial role in respiration. Both studied

parameters characterize the overall microbial activity. However, it should be emphasized that in respiration there are a number of microorganisms that obtain energy otherwise than by oxidation of organic compounds with oxygen as a terminal electron acceptor. It follows from the above that C and N mineralization should always be assessed along with relevant chemical (SOM content) and microbiological (MBC) soil characteristics.

Median values of temporal variabilities amounted (26.7, 20.6, and 30.2)% in basal respiration and (27.5, 25.4, and 45.0)% in anaerobic ammonification; always in the following order: arable land, PG_{ÚKZÚZ'} and PG_{PLA}.

Both basal respiration and anaerobic ammonification rates were higher in grassland soils than in arable soils ($p < 0.001$ for both parameters; arable soil vs PG_{ÚKZÚZ'}). Correlation analysis showed a positive relationship between mineralization rate (respiration, anaerobic ammonification) and C_{ox} , C_{ext} and MBC. Spearman correlation coefficient ranged from 0.45 to 0.75 ($p < 0.001$). It is thus no surprise that the time course of respiration and ammonification in soils with land management change followed a similar trend as that of C_{ext} a MBC (Figure 109–110, 112–113). Increase in C mineralization in plots 4011 and 4012 indicates that respiration was more responsive to grassing than C_{ext} and MBC. The lowest increase of respiration over time among arable plots grassed from 1994 to 1999 was recorded in plot 2018. This may be reflected by the fact that it is a plot with the highest pH levels (Figure 114), which may have implied faster development of microbial community and achieving new balance earlier. No significant change in respiration over time was recorded in plots 6013 and 6021 that were converted from PG to arable land in 2001 and 1995, respectively. No reason is apparent as to the first case since sampling in this plot has already started in 1999. However, the measured values are more relevant to arable soils than permanent grassland soils (Table 44), similar to that of C_{ext} a MBC. A considerable difference between respiration and ammonification was recorded in plot 6022, where a slight increase in C mineralization but a decrease in N concentration and mineralization were recorded.

Tabulka 45. Deskriptivní statistika

Table 45. Descriptive statistics

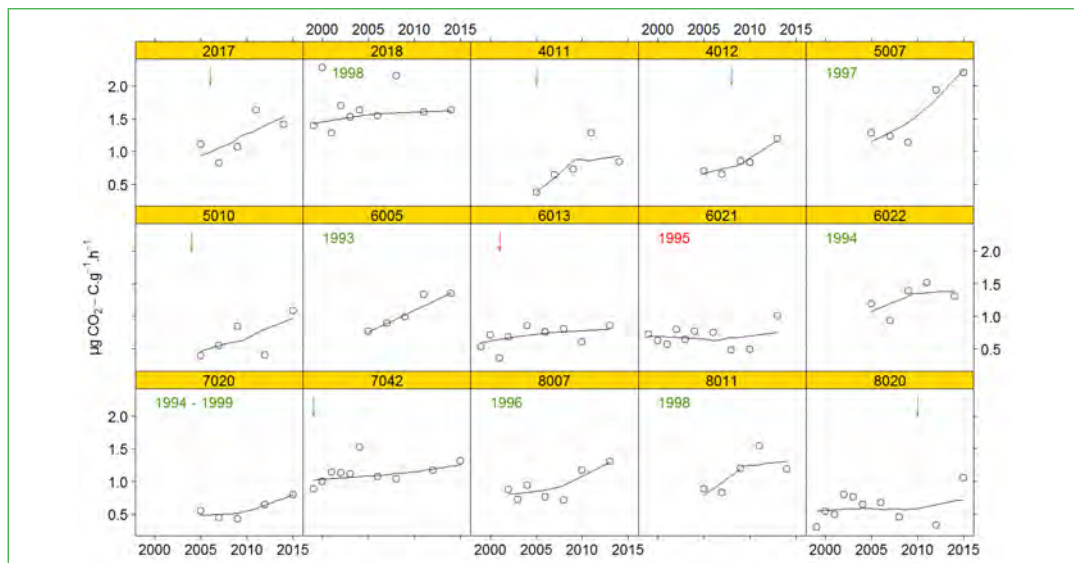
Parametr / Parameter	Jednotka / Unit	Kultura/ Cultures	Počet/ Number of plots	Průměr/ Mean	Min	Max	0.25 perc.	Median	0.75 perc.
RES	μg CO ₂ -C.g ⁻¹ .h ⁻¹	Orná / Arable	76	0,88	0,48	2,20	0,67	0,73	0,92
RES		TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	1,28	0,79	1,72	1,04	1,17	1,35
RES		TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	1,64	1,05	2,36		1,27	
AMO	μg NH ₄ -N.g ⁻¹ .d ⁻¹	Orná / Arable	76	4,67	1,45	13,0	3,19	3,98	5,29
AMO		TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	8,77	3,56	16,6	6,64	8,42	11,0
AMO		TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	11,5	4,88	18,2		10,1	

RES – bazální respirace, AMO – anaerobní amonifikace. V případě půd TTP_{CHKO} jsou uvedeny pouze vybrané charakteristiky z důvodu nízkého počtu vzorků.

RES – basal respiration, AMO – anaerobic ammonification. Concerning PG_{PLA} soils, only selected characteristics are listed due to a low sample size.

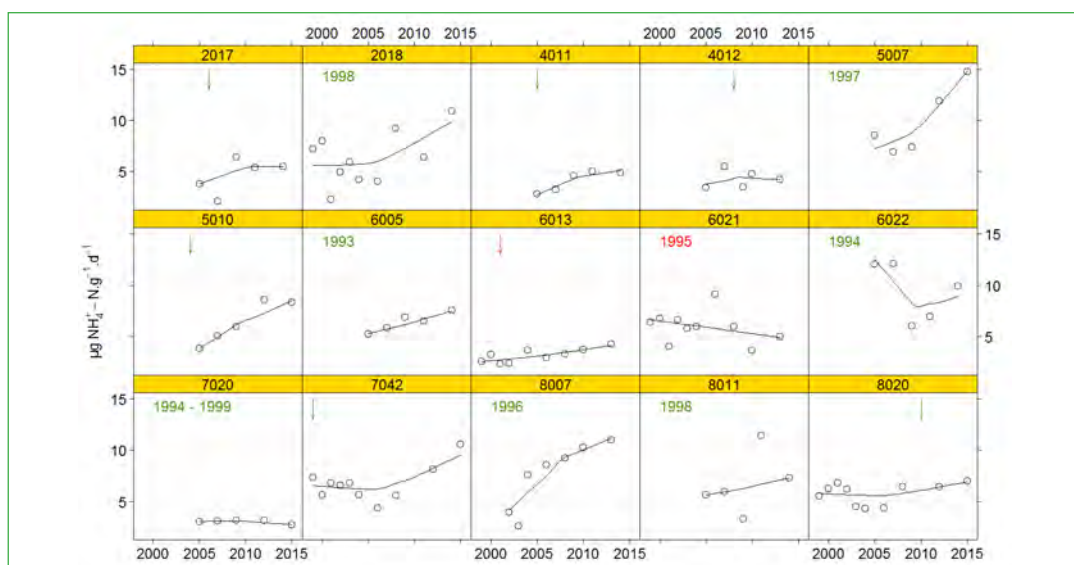
Obrázek 112. Časový průběh bazální respirace na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná

Figure 112. Basal respiration (RES) time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land



Obrázek 113. Časový průběh anaerobní amonifikace na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná

Figure 113. Anaerobic ammonification (AMO) time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land



8.3 Nitrifikace

Nitrifikace představuje dvoustupňový proces, během kterého je amonný dusík oxidován na dusitanový a následně na dusičnanový. První fáze nitrifikace je zajišťována úzkou skupinou mikroorganismů z domén *Bacteria* a *Archaea*, které ji využívají k získání energie. Za běžných podmínek jsou dusitany v půdě okamžitě oxidovány na dusičnany, které mohou být snadno vyplaveny do spodních vod. Z uvedeného důvodu je na oxidaci amonného N pocházejícího z minerálních hnojiv nahlíženo jako nežádoucí proces, který je častým objektem mikrobiologického výzkumu. Protože amoniak oxidující mikroorganismy představují taxonomicky úzkou skupinu, inhibice nitrifikace se často využívá jako indikátor kontaminace. K tomuto účelu lze využít jak měření rychlosti tohoto procesu, tak molekulárně-biologickou analýzu společenstev nitrifikátorů. V půdách bazálního monitoringu byla stanovována krátkodobá nitrifikační aktivita (SNA) jako rychlost oxidace amoniaku.

Mediánové hodnoty časové variability SNA činily 31,8 % a 71,1 % pro půdy orné resp. TTP_{ÚKZÚZ}. Vysoká hodnota ve druhém případě je způsobena skutečností, že v řadě půd pod travními porosty byly nalezeny velmi nízké hodnoty SNA. Jedná se pravděpodobně o důsledek nižšího pH v půdách TTP_{ÚKZÚZ} než v půdách orných ($p < 0,001$).

V orných půdách, které byly zatravněny a kde byl nalezen výrazný pokles pH (obrázek 114) byl zjištěn i pokles SNA (5007, 6022, 7042) (obrázek 115). Vyjímkou je půda 7020, kde při počáteční hodnotě pH 4,9 byla SNA již příliš nízká na to, aby se podařilo detekovat další pokles. Na plochách 2017 a 2018 nedošlo po zatravnění k poklesu pH a změna způsobu obhospodařování se neprojevila ani na SNA. Vzrůstající nitrifikace byla zjištěna na obou půdách pod travními porosty, které byly přeměněny na ornou (6013, 6021). Vzhledem k tomu, že hodnoty pH byly v obou případech stabilní, může se jednat o vliv aplikace amonného N v minerálních hnojivech nebo snížení obsahu některých organických sloučenin, které mohou působit jako inhibitory nitrifikace.

8.3 Nitrification

Nitrification is a two-stage process during which ammonia is oxidised to nitrite and then to nitrate. The first stage of nitrification is performed by a small group of microorganisms from the domains *Bacteria* and *Archaea* that can derive their energy from this process. Under normal conditions, nitrites in soil are immediately oxidized to nitrates which can be easily leached to groundwater. Thus the oxidation of ammonium N originating from mineral fertilizers is viewed as an undesirable process which is often the subject of microbiological testing. As ammonia oxidizing microorganisms are a narrow taxonomical group, nitrification inhibition is often used as an indicator of contamination. For this purpose, both measurement of the rate of this process and molecular biological analysis of nitrifying microbial community can be employed. In soils of basal monitoring a short nitrification activity (SNA) was set as the rate of oxidation of ammonia.

Median values of SNA time variability were 31.8 % a 71.1 % in arable soils and PG_{ÚKZÚZ} soils, respectively. The high value in the second case is due to very low SNA

levels recorded in many soils under grassland. This may be the result of a lower pH in PG_{ÚKZÚZ} soils than in arable soils ($p < 0.001$).

In grassed arable plots with a severe drop in pH (Figure 114), a drop in SNA (5007, 6022, and 7042) was also observed (Figure 115). One exception is plot 7020 where with initial pH 4.9 SNA was too low to detect further decrease. In plots 2017 and 2018 pH levels did not decrease after grassing and land management change had no impact on SNA. Increasing nitrification was recorded in both soils under grasslands that were converted to arable (6013 and 6021). Whereas pH levels in both cases were stable, it may be the influence of application of ammonium N in mineral fertilizers or reduction of certain organic compounds which can act as nitrification inhibitors.

Tabulka 46. Deskriptivní statistika, hodnoty SNA jsou uvedeny v $\text{NO}_2^- - \text{g}^1 \cdot \text{h}^{-1}$

Table 46. Descriptive statistics, the SNA values are expressed in $\text{NO}_2^- - \text{g}^1 \cdot \text{h}^{-1}$

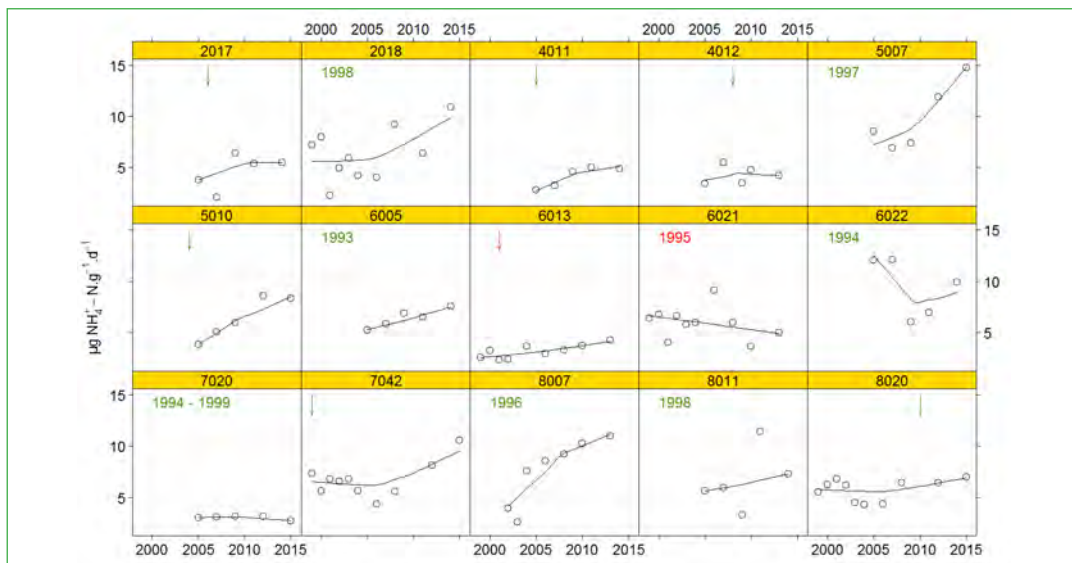
Kultura/ Cultures	Počet/ Number of plots	Průměr/ Mean	Min	Max	0.25 perc.	Median	0.75 perc.
Orná / Arable	76	491	29	1410	164	396	688
TTP _{ÚKZÚZ} / PG _{ÚKZÚZ}	22	226	10	700	31	84	360
TTP _{CHKO} / PG _{PLA}	5	198	0	1067		5	

V případě půd TTP_{CHKO} jsou uvedeny pouze vybrané charakteristiky z důvodu nízkého počtu vzorků.

Concerning PG_{PLA} soils, only selected characteristics are listed due to a low sample size.

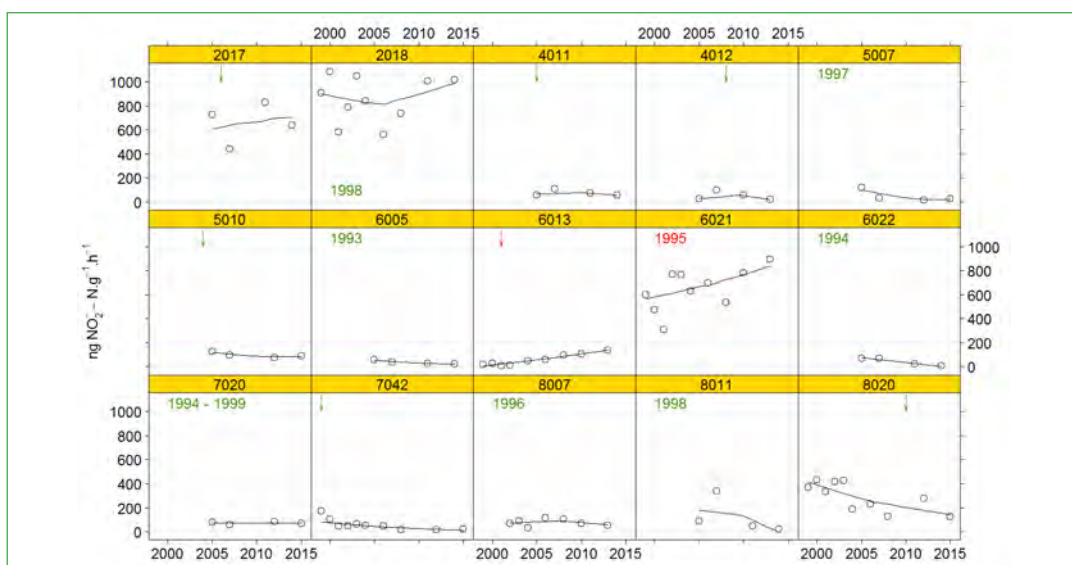
Obrázek 114. Časový průběh pH (1 M KCl) na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná

Figure 114. pH (1 M KCl) time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land



Obrázek 115. Časový průběh nitrifikace na plochách se změnou obhospodařování. Šipka označuje rok změny. Pokud leží mimo rozsah osy, je uveden numericky. Zelená barva znamená změnu orná → travní porost, červená travní porost → orná. Z technických důvodů se nepodařilo změřit SNA v roce 2009

Figure 115. Nitrification time course in the plots with land management change. The arrow indicates the year of a change. When located outside the range of the axis, it is shown numerically. Green colour indicates a change of arable land → grassland, red colour a change of grassland → arable land. For technical reasons, SNA could not be measured in 2009



9 Citované zdroje / References

- Beneš, S. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. II. část*. Ministerstvo zemědělství České republiky. Agrospoj: Praha. 1994. ISBN 80-7084-090-0
- Hraško, J.; et al. *Morfogenetický klasifikační systém půd ČSFR*; VÚPÚ: Bratislava, 1991.
- Javůrek M.; et al. *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., 2008.
- Kabata-Pendias, A. *Trace elements in soils and plants*, 4th ed. Taylor and Francis Group: Boca Raton, 2011. ISBN 978-1-4200-9368-1
- Kutílek M. *Vodohospodářská pedologie*. SNTL: Praha, 1978.
- Lhotský, J.; et al. *Soustava opatření k zúrodňování zhutnělých půd*. Metodika ÚVTIZ: Praha, 1984.
- Němeček, J.; et al. *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU, VÚMOP: Praha, 2001.
- Neuberg, J., et al.. *Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe. Komplexní metodika výživy rostlin*. ÚVTIZ: Praha., 1990.
- Richter, R., Hlušek, J. *Výživa a hnojení rostlin*. I. obecná část. MZLU: Brno, 1999. ISBN 80-7157-138-5.
- Smatanová, M. *Pracovní postupy pro agrochemické zkoušení zemědělských půd v České republice v období 2011 až 2016*. Metodický pokyn č. 9/SZV. ÚKZÚZ: Brno, 2016.
- Stockholmská úmluva o perzistentních organických polutantech. Stockholm Convention. <http://chm.pops.int/>
- Vaněk, V.; et al. *Výživa zahradních rostlin*. Academia: Praha, 2012. ISBN 978-80-200-2147-2.
- Vopravil, J.; et al. *Půda a její hodnocení v ČR, díl I.*, 2nd ed. VÚMOP: Praha, 2010. ISBN 978-80-87361-05-4.
- Vyhláška č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu
- Vyhláška č. 275/1998 Sb. o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, ve znění pozdějších předpisů.

Monitoring zemědělských půd v České republice, 1992–2013

Zpracoval: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D., Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.,
Ing. Lenka Prášková, Ph.D., Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.,
Ing. Pavel Němec, RNDr. Jaroslav Staňa
Vydal: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Sekce zemědělských vstupů
Oddělení půdy a lesnictví
Náklad: 500 ks
Rok vydání: 2017
Počet stran: 172
Tisk: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Hroznová 2, 656 06 Brno, tel.: 543548111
email: puda@ukzuz.cz

ISBN 978-80-7401-136-8

Monitoring of agricultural soils in the Czech Republic, 1992–2013

Processed by: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D., Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.,
Ing. Lenka Prášková, Ph.D., Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.,
Ing. Pavel Němec, RNDr. Jaroslav Staňa
Published by: Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture
Section of Agricultural Inputs
Department of Soil and Forestry
Printing: 500
Year: 2017
Number of pages: 172
Printed by: Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture
Hroznová 2, 656 06 Brno, tel.: 543548111
email: puda@ukzuz.cz

