



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

MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD V ČESKÉ REPUBLICE 1992–2007

**MONITORING OF AGRICULTURAL SOILS
IN THE CZECH REPUBLIC
1992–2007**



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



MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD V ČESKÉ REPUBLICE 1992–2007

**MONITORING OF AGRICULTURAL SOILS
IN THE CZECH REPUBLIC
1992–2007**

Autoři (Authors): Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.
 Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.
 Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.

Zpracování map
(Map processing): Ing. Pavel Němec

Brno 2011

ISBN 978-80-7401-041-5

Obsah

Úvod	7
<i>Introduction</i>	10
2. Metodika	14
2.1 Monitorovací plochy	14
2.2 Principy fyzikálních a chemických metod	18
2 Methodology	20
2.1 <i>Monitoring plots</i>	20
2.2 <i>Principles of physical and chemical methods</i>	24
3 Fyzikální charakteristiky půd BMP	26
3 The physical characteristic of BSM soils	27
3.1 Zrnitost půdy	28
3.2 Objemová hmotnost redukována a pórovitost	31
3.3 Zastoupení půdních typů a jejich identifikace v terénu	37
3.4 Půdní typy BMP	39
3.5 Půdní klasifikace	45
3.5 <i>Soil classification</i>	46
3.6 Popis půdního profilu a pedologických charakteristik pozorovacích ploch	47
4 Mikroelementy (B, Cu, Fe, Mn, Zn)	48
4 Microelements (B, Cu, Fe, Mn, Zn)	49
4.1 Bór (B)	50
4.2 Měď (Cu)	52
4.3 Železo (Fe)	54
4.4 Mangan (Mn)	56
4.5 Zinek (Zn)	58
5 Rizikové prvky	60
5 Hazardous elements	61
5.1 Hliník (Al)	62
5.2 Arsen (As)	64
5.3 Beryllium (Be)	66
5.4 Kadmium (Cd)	68
5.5 Kobalt (Co)	70
5.6 Chrom (Cr)	72
5.7 Měď (Cu)	74
5.8 Molybden (Mo)	76
5.9 Nikl (Ni)	78
5.10 Olovo (Pb)	80
5.11 Vanad (V)	82
5.12 Zinek (Zn)	84
5.13 Rtuť (Hg)	86

6	Perzistentní organické polutanty (POPs) a polycyklické aromatické hluvodíky (PAH)	88
6	<i>Perzistent organic pollutants (POPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)</i>	89
6.1	Látky skupiny DDT	90
6.2	Hexachlorcyklohexan (HCH)	92
6.3	Hexachlorbenzen (HCB)	94
6.4	Polychlorované bifenyly (PCB)	96
6.5	Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)	98
7	Půdní mikrobiologie v systému hodnocení kvality půdy	100
	<i>Soil microbiology in the system of soil quality evaluation</i>	
7.1	Význam půdních mikroorganismů pro fungování ekosystému a jejich vztah k fyzikálním a chemickým vlastnostem půdy	100
	<i>Significance of soil microorganisms for ecosystem functioning and their relationship to physical and chemical soil properties</i>	
7.2	Půda	103
	<i>Soils</i>	
7.3	Mikrobiální biomasa	104
	<i>Microbial biomass</i>	
7.4	C a N mineralizace	106
	<i>C and N mineralisation</i>	
7.5	Krátkodobá nitrifikační aktivita	108
	<i>Short-term nitrification activity</i>	
7.6	Růstové charakteristiky půdních heterotrofních mikroorganismů	110
	<i>Growth characteristic of soil heterotrophic microorganisms</i>	
7.7	Enzymatické aktivity	112
	<i>Enzyme activities</i>	
8	Shrnutí	114
8	<i>Summary</i>	115
9	Literatura	116



Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský si v roce 2011 připomíná šedesát let historie stávajícího názvu. I když jde pouze o jednu etapu, navazující na století předcházejícího vývoje v kontextu středoevropského zemědělského výzkumu a zkušebnictví, je to vhodná příležitost k bilancování úspěchů, východisek a nosných cest do dalších let.

Bazální monitoring zemědělských půd provozovaný v posledních patnácti letech zdaleka nepatří k tradičním činnostem a časová řada jeho dosavadních výsledků nemůže postihnout dlouhodobé trendy ve vývoji široké škály půdních vlastností, jak je jeho základním smyslem. Významné však je, že byl položen pevný legislativní, metodický a materiálový základ, navázány nezbytné národní i mezinárodní spolupráce a jsou průběžně publikovány výsledky provedených šetření, analýz a pozorování.

Publicitě výsledků dosažených v rámci monitoringu je od samého počátku věnována vysoká pozornost. Diskuzi metodického postupu bylo už v roce 1992 věnováno první mezinárodní setkání odborníků včetně zástupců institucí sousedních států a později každé dva roky byly uspořádány odborné konference zaměřené na rozvoj monitoringu a konfrontaci prvních dosažených výsledků.

Smyslem předkládané publikace je shrnout dosavadní zkušenosti, vyhodnotit dosažené výsledky, charakterizovat směry dalšího metodického vývoje a hlavně jednou, po uplynutí řady let pak sloužit jako podklad pro vysvětlování tendencí v posunech půdních vlastností jako nezbytného předpokladu k efektivní ochraně půdy.

The Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture is remembering the sixty-year anniversary of its current name in 2011. Even if it is only one phase following up the century of previous development in the context of the Central Europe agricultural research and testing activities, it is a convenient opportunity to retrospect the achievements, outcomes and nasal passages to subsequent years.

Basal monitoring of agricultural soil being performed in the last fifteen years is far from being counted among the traditional activities and the time serious of its existing results cannot cover the long-term trends in the development of wide range of soil properties as it is its main goal. However, it is significant that there have been established the stabile legislative, methodical and material base, indispensable national as well as international cooperation and there have been also published the results of performed examinations, analysis and observations.

From the very beginning, there has been paid the high attention to the publicity of the results acquired within the monitoring. In 1992, the first international meeting of the experts, including the representatives of the Institutions from neighbouring countries, was aimed at a discussion on methodical procedure. Until then, there were organized the expert conferences focused on the development of monitoring and on the confrontation of the first acquired results every two years.

The sense of this publication is to summarize the existing experience, to evaluate the acquired results, to characterize the aims of next methodical development and mainly, after a period of years to function as a base for explaining the tendencies in shifts of soil properties as an essential prerequisite for an effective soil protection.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Čížek'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

ředitel ústavu / Director

ÚVOD

Země vznikla před 4,6 mld let. Z původně homogenního shluku hmoty – prvotní Země, se procesem diferenciací stala „živá“ planeta. Proces diferenciací byl vyvolán postupným 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 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 ve stavu taveniny, vnější jádro je pevné. 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 nejnižší hustotu a největší podíl litofilních prvků převážně na bázi křemičitanů.

Postupným rozkladem rostlinných a živočišných organismů a zvětráváním svrchní části zemské kůry za působení tzv. půdotvorných činitelů vzniká půda – pedosféra. Půda poskytuje základní životní předpoklady nejen pro rostliny a živočichy v ní žijící (edafon), ale pro všechny živočichy, člověka nevyjímaje. Pro člověka má největší význam půda úrodná, tedy půda se schopností poskytnout vhodné podmínky pro růst rostlin, umožňující člověku produkovat potraviny. V současné době dochází ke změně pohledu na půdu jako na neobnovitelný zdroj v souvislosti s udržitelným hospodařením. Udržitelnost v zemědělství znamená kvalitní produkci a zároveň nepoškozování přírodních zdrojů, které využívá nebo ovlivňuje – v první řadě samotné půdy (ochrana před erozí, zhutňováním, znečišťováním, úbytkem organické hmoty), ale také např. vody (zadržení vody v krajině).

Zemědělství podnikatelé dnes v ČR hospodaří na přibližně 4 264 tis. ha zemědělské půdy, která tak tvoří přibližně polovinu (54 %) celkové rozlohy státu. Na jednoho obyvatele republiky připadá 0,42 ha zemědělské půdy, z toho 0,30 ha půdy orné, což je přibližně evropský průměr. Zatímco výměra orné půdy v posledních deseti letech trvale klesá, výměra pozemků evidovaných v katastru nemovitostí jako trvalé travní porosty se naopak o 71 tis. ha zvýšila. Polovina zemědělského půdního fondu se nachází v oblastech méně příznivých pro hospodaření (tzv. LFA oblasti) a to jsou právě oblasti, kde se zakládání a udržování luk a pastvin podporuje.

Na čem vlastně hospodaříme? Jakých kvalit dosahuje naše zemědělská půda? Jakými změnami prochází? Mění se některé parametry?

K dlouhodobému sledování vybraných parametrů slouží programy monitoringu. Výsledky těchto programů umožňují včas odhalit negativní vlivy snižující/ohrožující kvalitu půdy či jiného monitorovaného prostředí a snížit, popř. udržet na současné úrovni prostředky nutné k zachování a zlepšení současného stavu.

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

Historie monitoringu půd v evropském kontextu

Sledování fyzikálních a chemických vlastností zemědělských půd má dlouhou tradici sahající až 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 rozborů. 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 1:50 000. Na základě Komplexního průzkumu půd byla vypracována bonitace půd a zaveden systém bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) používaný dosud při oceňování pozemků.

Tak jak narůstala industrializace 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 půd (jak složek anorganických, tak i organických) a časových závislostí ve vývoji kvality půd. 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 středoevropských 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, který poskytl vlastní používanou metodologii založení a vedení Bazálního monitoringu půd a ve spolupráci s Ministerstvem životního prostředí započala příprava národní metodiky. Poslední detaily byly dořešeny v rámci odborné stáže na BLA v prvním pololetí 1992 tak, že na podzim téhož roku mohla být publikována v prvním vydání Metodika monitorování zemědělských a lesních půd a půd chráněných území České republiky. 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 ZPF převzal od počátku 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 AGRE Alpen-Adria byl zvolen přístup výběru plošně nerovnoměrné sítě s úměrným zastoupením hlavních půdních typů a druhů a jednotlivých pěstovaných zemědělských kultur. Při výběru optimálního zastoupení hlavních genetických půdních typů se vycházelo z popisu speciálních půdoznaleckých sond Komplexního průzkumu půd.

Dále byl stanoven:

- tvar, velikost a způsob vytýčení pozorovacích ploch,
- výběr monitorovaných parametrů a jejich periodicitu,
- způsob skladování odebíraných vzorků,
- způsob zpracování výsledků a jejich prezentace.

Bazální monitoring byl od počátku chápán jako rozvíjející se systém, doplňovaný podle aktuálních potřeb, a 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 vznikající systém půdního monitoringu byly od počátku kladeny následující požadavky:

1. Optimálním počtem zvolených pozorovacích míst a jejich rozmístněním musí umožňovat jednorázově stanovit jakýkoliv zvolený parametr tak, aby výsledky šetření po statistickém zpracování charakterizovaly celé monitorované území. Jako příklad lze uvést šetření obsahu radioaktivního cesia po černobylské události – Bavorský zemský ústav porovnáním aktivity ^{137}Cs odebraných vzorků se vzorky archivovanými stanovil ve velmi krátkém čase po havárii intensitu zátěže jednotlivých oblastí Bavorska.
2. Reprezentativnost výběru pozorovacích bodů - statistické zpracování výsledků jednotlivých zvolených parametrů musí korelovat s výsledky jiných prováděných plošných šetření. 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.
3. Soubor archivovaných vzorků neustále doplňovaný novými odběry je optimálním materiálem pro vývoj nových metod, jejich ověřování a validaci.
4. 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.

INTRODUCTION

The Earth was created 4.6 milliards years ago. Under the process of differentiation the “living” planet originated from a cluster of matter originally homogenous. The process of differentiation was precipitated by gradual heating of planet and consisted in gradual stratification of matter into the concentrical strata – spheres which mutually differed in their physical as well as chemical properties.

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

Taken from the surface to the centre we distinguish the Earth crust, mantle and core. Creation of the core was determined by migration of iron and other iron elements, especially by nickel. The outer core is in a form of alloy, the inner core is solid. The mantle emerges from the outer core. It mantle is in the form of melting – magma with prevailing elements as oxygen, magnesium, iron and silicon. The outermost sphere zone of the Earth is the crust – lithosphere. Of all the spheres mentioned the crust is of lowest density and biggest proportion of lithophile elements on silicate basis.

Due to gradual decomposition of plant and animal organisms as well as weathering of outer layer of the Earth under so called soil-forming agents’ action – the soil or pedosphere originates. The soil gives the basic living conditions not only for plants and animals living inside (edafon) but for all beings including humans. Of greatest value for a man is the fertile soil, i.e. soil able to give suitable conditions for plant growth enabling the human food production. Currently the view on the soil has been changing to as a non-renewable source in connection to sustainable management. Sustainable agriculture means quality production together with not damaging the natural sources, employing or influencing mainly the soil itself (protection against erosion, compaction, pollution, decrease of organic mass) and also e.g. water (water retention in the countryside).

Agriculture entrepreneurs operate on approximately 4,264,000 ha of agricultural soil that represents approx. one half (54 %) of the total state area. It makes 0,42 ha of agriculture soil per one person, out of which 0,30 ha is arable soil being approximately European average. While the area of arable soil has been constantly decreasing in the last decade, the area of lands recorded in real estate register as permanent grassland has risen by 71,000 ha. The half of the agricultural soil is in the areas less favourable to management (so called LFA areas), representing exactly the areas where foundation and maintenance of meadows pastures is being supported.

What do we actually manage? What qualities does our agriculture soil reach? What changes does it undergo? Do some parameters vary?

Monitoring programmes serve for the long-term monitoring of particular parameters. Results of these programmes enable to detect negative influences threatening the soil or other monitored environment quality and they consequently allow lowering or eventually maintaining the current level of the devices necessary for the maintenance and improvement of current state.

What is monitoring?

According to the definition, monitoring is the continuous or regularly repeated observation of selected parameters, functions or changes of a particular system. Monitoring of agricultural soils is an observation of a state and dynamics of soil properties and soil-influencing factors, mainly in relation to production and ecological functions of soil on stable, defined and representative points (plots) by exactly defined and stable set of measurement processes.

History of soil monitoring in the European context

Observing of physical and chemical properties of agricultural soils has a long tradition going back to basis of agricultural quality control in the beginning of the 19th century.

Liebig's works revealing connections between soil composition, amount of nutrients added by fertilization and yield of field crops were a good reason for dealing with soil analysis. Agriculture soil analysis and a search for connections with an amount of fertilisation became a necessary content of testing and research institutes in the area of agriculture that were established in the second half of the 19th century throughout the whole middle Europe. System, regularity and even duty to analyse soil were initiated in post-war years when measures for supplying citizens and army with food were given top priority. Monitoring of basic vegetable nutrients was gradually supplemented by examining of other soils parameters, investigation of soils origin, their development and categorization.

Under conditions of the Czechoslovak state there was a very significant enterprise linking to previous pedological and agrochemical traditions called Complex Soil Testing that was performed on the basis of the Government order from 1961 till 1970. During 10 years about 700,000 soil probes were dug out and described on the area of the whole soil fund of the Czechoslovak Republic (ČSR) and about 2,000,000 laboratory analysis were performed. Results of the research were evaluated on the basis of genetic-agronomical classification of soils and processed on corporations' maps in the ratio scale 1:5,000, provincial summaries in a ratio 1:50,000. On the grounds of Complex Soil Testing land valuation was elaborated and system of valuation soil elements was introduced, still being used in estimating lands.

The more increasing was industrialization in after war years, the stronger was the need for protection of agricultural soil fund as a non-substitutable and non-renewable condition of life existence on Earth; the interest started to shift from the area of usable value to necessity for its effective protection. A significant contemporary document of this sense is the European Soil Charter on soil from 1972 followed by the World Soil Charter adopted by the 21st Session of the FAO Conference in 1981.

This major shift of orientation to interest in a soil has logically opened not only an issue of hazardous components of soils (both inorganic and organic) but also time relations in development of soils quality. Monitoring of these time relations of soil composition on firmly defined areas is particularly a basic principle of soil monitoring.

In case of history of monitoring in our country it is necessary to mention activities of working communities of Middle-European countries (ARGE Alpen-Adria and ARGE Donau) that in the area focused on environment protection gradually laid foundations of methodology for soil monitoring used by Bavarian Agricultural Institute (BLA), from which also methods for Basal soil monitoring in the Czech Republic emerge.

In the beginning of 1990s professional contacts with BLA have been established; BLA provided their own methodology for establishment and leading of Basal soil monitoring employed by them and in cooperation with the Ministry of the Environment preparation of national methods began. The last details were solved within a professional internship in BLA in 1992; thus in autumn of the same year Methods for Agricultural and Forest Soils Monitoring of Protected Areas in the Czech Republic could be published in the first edition. The revised and updated edition was published in 1995.

The following issues were solved in advance:

Competence for monitoring: in compliance with Competency Act as well as in compliance with the Act No. 334/1992 Coll., on the protection of the agricultural land fund (ALF), the Ministry of the Environment is the competent central authority; thus all preparations were directed by it. Responsibility of ALF monitoring was taken by ÚKZÚZ from the outset, the monitoring of forest soils was performed in compliance with all-European monitoring net 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 transformed into the Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic.

Selection and number of monitored plots – in accordance with recommendation from AGRE Alpen-Adria, an approach to choice of unequal net with proportional representation of main soil types and sorts and individual grown agricultural crops was chosen. Choice of optimal representation of main genetic soil types was determined by a description of special pedological probes of Complex Soil Examination.

Further there were stated:

- Shape, size and a way of a layout of monitoring plots
- Choice of monitored parameters and their periodicity
- Way of storage of collected samples
- Way of analysing and reporting results

Basal monitoring has initially been understood as a developing system, replenished with current needs; thus it was supplemented with a subsystem of contaminated areas and there were further new monitored parameters mainly from the area of organic pollutants and new soil-biological testing added.

The following requirements were put on an originating system of soil monitoring:

1. Optimal number of chosen monitoring plots and their layout must enable to determine any selected parameter by a single application in such a way that the results of testing after statistical processing would characterize the whole monitored plot. The example could be examination of radioactive caesium after the Chernobyl accident: Bavarian Provincial Institute compared ^{137}Cs activity of collected samples with archived ones and stated in a very short time after the accident the level of intensity of a load of individual parts of Bavaria.

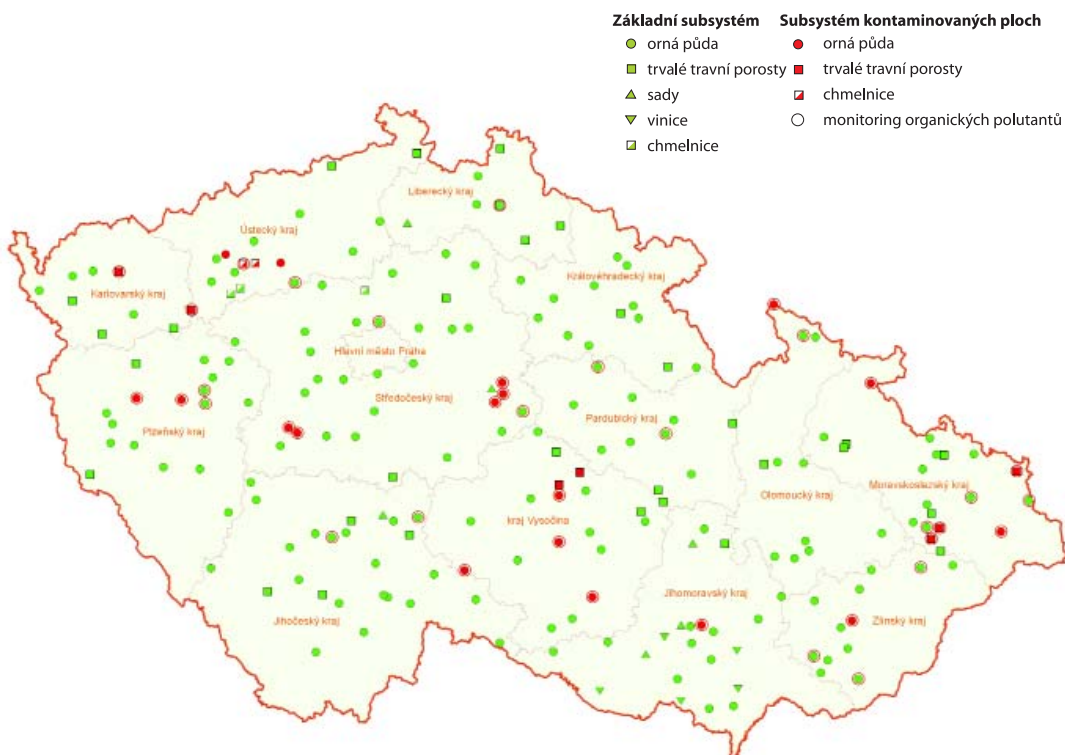
2. Representativeness of choice of monitoring points – statistical processing of results of individual selected parameters must correlate with results of other area examination conducted. For instance, it was proved that the results of determination of basic nutrients on monitoring areas have similar statistic distribution as the results of nutrients in agrochemical soil testing, which is a set with considerably higher number of determination.
3. A set of archived samples constantly supplemented with new samples is an optimal material for development of new methods, their verification and validation.
4. Basal soil monitoring must enable to observe changes in particular parameters over time depending on climate changes as well as on development of industrialization of an agricultural landscape.

2 Metodika

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. O pět let později, v roce 1997, byl založen subsystém kontaminovaných ploch. Na lokalitách charakteristických anorganickým znečištěním jak antropogenního tak geogenního původu vzniklo 27 pozorovacích ploch. Mapa 1 ukazuje současné rozmístění lokalit BMP.

Mapa 1. Lokalizace pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd

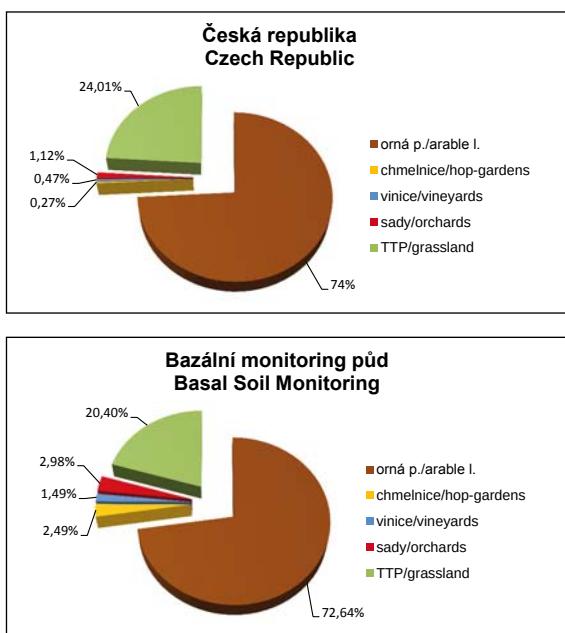


Hlavní zásady výběru pozorovacích ploch v základním systému monitoringu:

- dodržení vzájemného poměru mezi půdními typy tak, aby odpovídal plošnému výskytu půdních typů v České republice,
- zastoupení kultur podle výskytu v České republice (Graf 1),
- 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 vyhlášky MŽP č. 13/1994 Sb.).

Graf 1. Procentuální zastoupení kultur zemědělské půdy v České republice a Bazálnímu monitoringu půd



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



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:

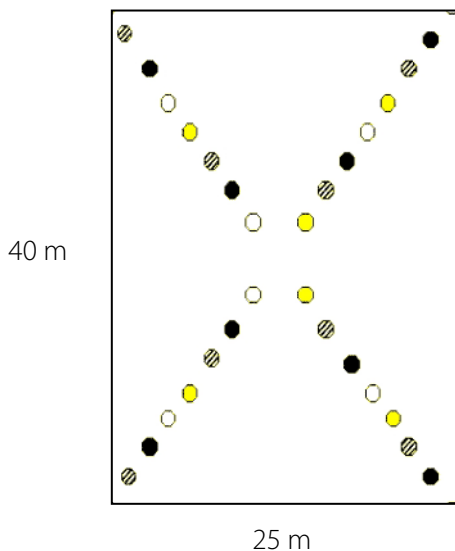
- **Jednorázové odběry** jsou prováděny při výkopu pedologické sondy. Odebírají se neporušené půdní vzorky, tzv. fyzikální válečky ke stanovení vybraných fyzikálních vlastností půd, a porušené půdní vzorky, ke stanovení chemických a fyzikálně-chemických vlastností půd. Tato stanovení jsou provedena na 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.

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, 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; Hg_{tot}) – lučavka královská • 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 • Prvková analýza (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn; Hg_{tot}) – lučavka královská, 2M HNO_3 • C_{ox}, N_{tot} • Sorpční kapacita půdy - aktuální	• 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 dílčí vzorky z ornice a podorničí; při každoročních odběrech se vzorkování provádí metodou „po lomené čáře“.

Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd v základní šestileté periodě odběrů



umístění individuálních odběrů k získání 4 směsných vzorků



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



Vzorky orné půdy se odebírají z ornice (dle mocnosti horizontu, maximálně do 30 cm) a podorničí (30–60 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, 11–25 cm, 26–40 cm; vždy po odstranění svrchní drnové vrstvy).

2.2 Principy fyzikálních a chemických metod

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

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.

Stanovení chemických parametrů v porušených půdních vzorcích

Vzorky určené ke stanovení chemických parametrů byly vysušeny na vzduchu a prosáty 2 mm sítím.

Stanovení organického uhlíku (C_{ox})

Do roku 2001 se stanovení C_{ox} provádělo následujícím postupem: oxidovatelný organicky vázaný uhlík v zemině se oxidoval kyselinou chromovou v prostředí nadbytku kyseliny sírové a stanovil se biamprometrickou titrací. Vzorky z roku 2007 se stanovovaly metodou NIR.

Stanovení celkového dusíku podle Kjeldahla

Vzorek se rozloží Kjeldahlovým postupem varem s kyselinou sírovou a katalyzátorem.

Stanovení CEC

Vzorek zeminy se vyluhuje nepufrovaným roztokem chloridu barnatého, $c(\text{BaCl}_2) = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$. Poměr hmotnosti zeminy k objemu vyluhovacího roztoku je 1:10, luhuje se 24 hod. v klidu a 2 hod. třepáním. V roztoku se stanoví jednotlivé kationty metodou FAAS a výměnná acidita ($\text{H} + \text{Al}$) titrací. Titruje se odměrným roztokem hydroxidu sodného, $c(\text{NaOH}) = 0,025 \text{ mol.l}^{-1}$, potenciometricky do pH 7,8 nebo vizuálně s použitím fenolové červeně jako indikátoru.

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 (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

Upravený půdní vzorek se extrahuje kyselinou dusičnou o koncentraci 2 mol.l^{-1} za laboratorní teploty v klidu po dobu 16 hod. a 1 hod. třepáním. Sledované parametry se měří metodami ICP-OES a FAAS.

Stanovení přístupných živin (P, K, Ca, Mg) podle Mehliche III

Půda se extrahuje kyselým roztokem, který obsahuje 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 M III extraktech. Obsah vápníku a hořčíku se po naředění extraktu přidavkem lanthanu stanoví metodou atomové absorpční spektrofotometrie v plameni acetylen-vzduch.

Fosfor se stanoví v půdním extraktu spektrofotometricky jako fosfomolybdenová modř. Intenzita modrého zbarvení se měří na UV-VIS spektrofotometru.

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

PCB a OCP se z předupraveného vzorku extrahují do směsi rozpouštědel hexan-aceton (v poměru 3:1). Extrakt s přidavkem vhodných vnitřních standardů se přečistí na sloupci modifikovaného silikagelového sorbentu, sirné sloučeniny se odstraní reakcí s elementární měďí a zkoncentrovaný extrakt se analyzuje metodou GC-MS ve vhodném režimu měření (SIM, MRM). Tímto postupem lze dosáhnout meze stanovitelnosti 0,1–1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ 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 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ pro PCB a 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny vzorku 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.

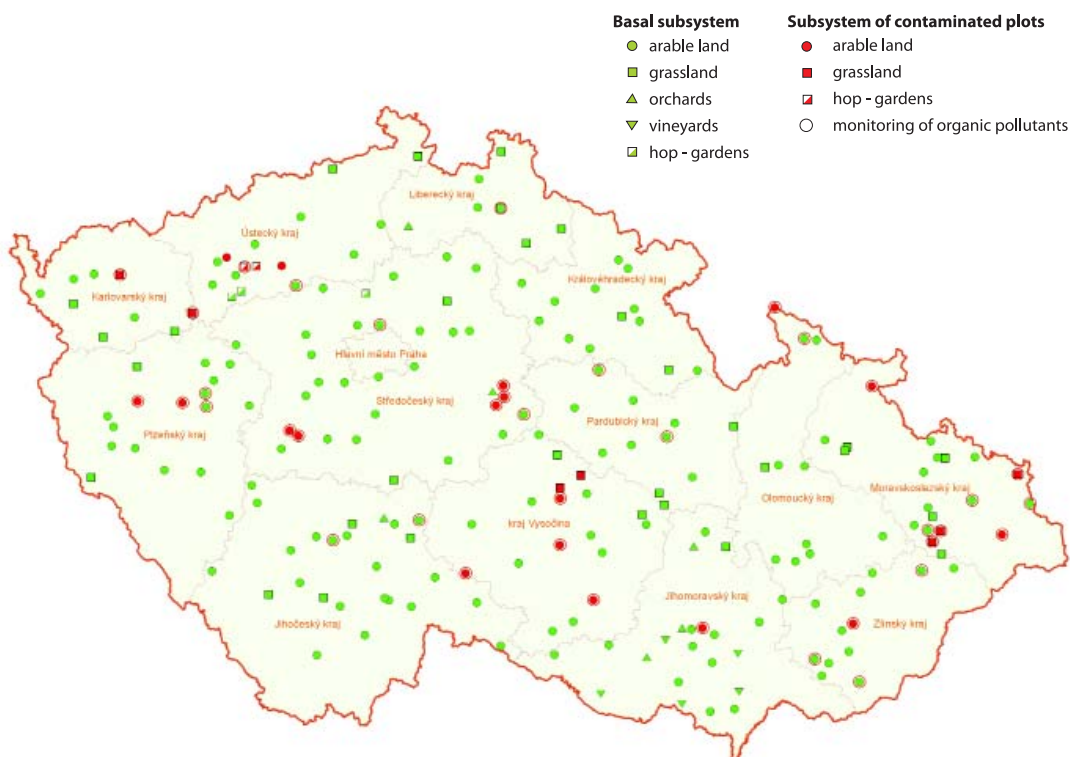
Vzorky zemin (10 g) jsou extrahovány acetonem, extrakt se přečistí přes SPE kolonku C8. Nepolární látky – PAH se zachytí na sorbentu C8, odkud jsou eluovány tetrahydrofuranem. Analyzovány jsou vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií (HPLC) s fluorescenční detekcí a gradientovou elucí. Měření a vyhodnocení se provádělo pomocí chromatografického integračního software CSW, od roku 2005 chromatografickým systémem – Agilent ChemStation.

2 METHODOLOGY

2.1 Monitoring plots

The monitoring plots net of Basal Soil Monitoring System (BSM) was established in 1992, when also the first samples were taken in basal net of 190 monitoring plots. In 1995 samples were taken again by application of optimized sampling method. Five years later, in 1997, there was established the subsystem of contaminated areas. In total 27 monitoring plots were created on the sites characterised by inorganic contamination of both anthropogenic and geogenic origin. The map 1 demonstrates contemporary position of BSM plots.

Map 1. Localisation of the observation plots of Basal Soil Monitoring (BSM) System

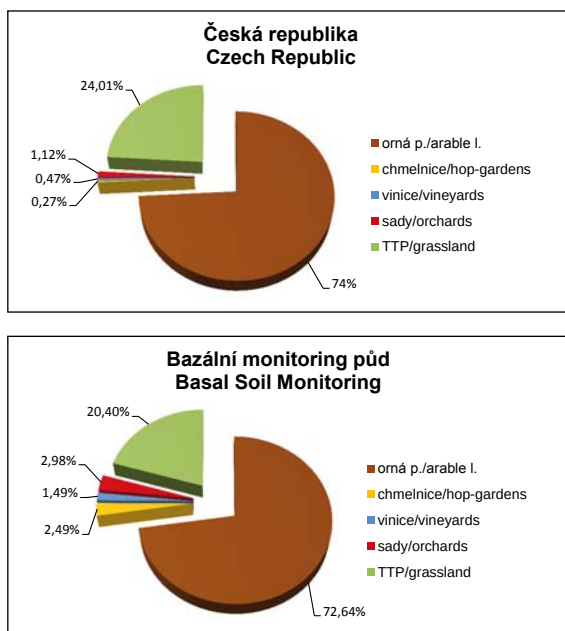


Main principles of monitoring plots selection in Basal soil monitoring system:

- Compliance with mutual rate among soil types so that it corresponds with non-point abundance of soil types in the Czech Republic
- Representation of cultures according to the abundance in the Czech Republic (Figure 1)
- Regular distribution of monitoring plots within the district (region) area
- Description of different production conditions of a region

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

Figure 1. The proportional representation of agricultural soil cultures in the Czech Republic and Basal Soil Monitoring System



Monitoring plots are defined as rectangles measuring 25m x 40m (1000m²). Each plot is characterised by geographical coordinates, landscape morphology and climatic and soil conditions. The pedological probe was dug and described at close quarters of each plot.



Pedological probes into arable soil within the observation plot 7005B Jaroměřice nad Rokytnou (haplic Luvisols) and within TTP 4901KO Jenišov (Stagnosol)

There are three sampling schemes in the frame of the whole group of monitoring observation plots:

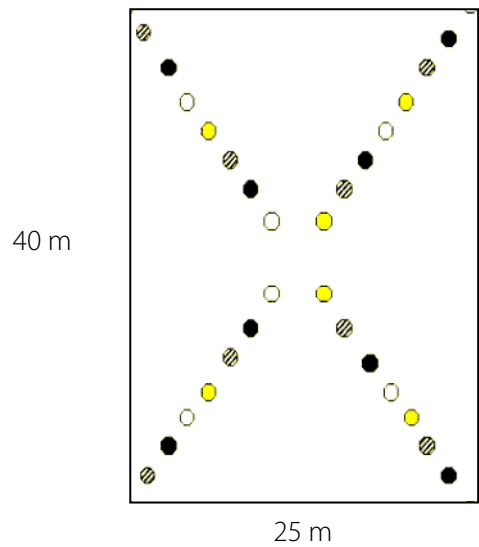
- **One-shot sampling** is carried out within excavation of a pedological probe. Undisturbed soil samples, so called physical cylinder, serve to determinate selected physical soil properties and disturbed soil samples serve to determinate chemical and physico-chemical soil properties. These determinations are carried out on all observation plots of monitoring net.
- **Basic sampling** is carried out in six year periods. Agrochemical and chemical soil properties are determined in the first place. Sampling in basic period is carried out at all observations plots of monitoring net.
- **Annual sampling** is focused on observation of state and development of soil contamination by organic pollutants and on potential contamination of food chain through agricultural crops (plant sampling). This sampling is carried out on selected group of monitoring plots.

Parameters determined in the soil and plant samples taken within 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, Mg, Ca according to Mehlich III) • Available micronutrients (B, Mo, Mn, Zn, Cu) • 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}) • C_{ox}, N_{tot} • Cation exchange capacity	• 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

Taking of samples within basic sampling is carried out by diagonals (X pattern), four partial samples are taken from topsoil and subsoil; the annual sampling is carried out using the zig-zag pattern.

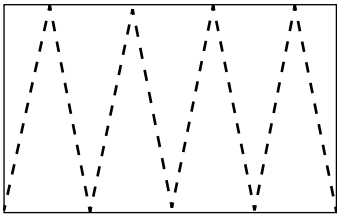
Sampling scheme of agricultural soil sampling in basic six year sampling period



Location of individual samplings for obtaining four composite samples



Sampling scheme of agricultural soil sampling within annual sampling (zig-zag pattern)



The samples of arable soils are taken from topsoil (according to the thickness of the horizon, maximally to 30 cm) and from subsoil (30–60 cm), within orchards and vineyards similarly from two horizons (0–30 cm, 30–60 cm), within hop gardens from topsoil (10–40 cm) and subsoil (40–70 cm); within permanent grassland from three horizons (0–10 cm, 11–25 cm, 26–40 cm; always after the removal of top turfy layer).

2.2 Principles of physical and chemical methods

All analyses are carried out in the ÚKZÚZ National Reference Laboratory with the application of the methods accredited according to the standard ISO 17025.

Determination of physical properties of undisturbed soil samples

Fresh water saturated, drained off and dried soil samples are weighed, then their specific densities are determined. These values are basis for calculation of mentioned parameters:

- maximum capillary water capacity
- reduced density
- porosity
- minimal air capacity

Determination of chemical parameters of soil samples

Samples for the determination of chemical parameters are air dried and the fraction below 2 mm diameter is used for the following analysis.

Determination of organic carbon (C_{ox})

By the year 2001 the following method was used to determine C_{ox} : oxidizable organic carbon in soil was oxidised by chromic acid in the environment of sulphuric acid surplus and was determined by biamperometric titration. The samples in 2007 were determined by NIR procedure.

Determination of total nitrogen (N_{tot})

The soil sample is decomposed according to Kjeldahl procedure by boiling with sulphuric acid and catalyzator.

Determination of CEC

The soil sample is extracted by non-buffered solution of barium chloride $c(BaCl_2) = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$. The proportion of soil mass to volume of extraction solution is 1:10; soil samples are extracted under laboratory temperature for 24 h, then agitated for 2 h. The individual cations are determined in the solution using FAAS and the exchangeable acidity ($H + Al$) is determined by titration. It is titrated by volumetric solution of sodium hydroxide $c(NaOH) = 0,025 \text{ mol.l}^{-1}$, potentiometry up to pH 7,8 or visually using phenol red as an indicator.

Determination of mercury using the instrument AMA-254

Mercury was measured in treated soil samples on atomic absorption spectrophotometry basis using the AMA-254 mercury analyzer.

Soil extraction by Aqua Regia (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

The treated soil samples were extracted by the mixture of concentrated hydrochloric and nitric acids (3:1) under higher temperature. The procedure results from the standard ISO 11466. Parameters of interest in aqua regia soil extracts were measured by optical analytical methods i.e. ICP-OES and FAAS.

Soil extraction by diluted nitric acid (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn)

The treated soil sample is extracted by nitric acid (2 mol.l^{-1}) for 16 hours (standing) after a short agitation and then 1 hour extraction in a shaker under laboratory temperature. Parameters of interest are measured using ICP-OES and FAAS.

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

Soil is extracted by acid solution which contains ammonium fluoride to increase solubility of different forms of phosphorous bond with aluminium. Ammonium nitrate which favourably influences desorption of potassium, magnesium and calcium is also present in the solution. Acid reaction of leaching solution is diluted with acetic acid and nitric acid. The presence of EDTA ensures good release of nutritionally significant microelements.

FAAS is used for atomic absorption and atomic emission measurements. Potassium is determined by atomic emission directly in M III extracts. Calcium and magnesium are determined by FAAS in the air-acetylene flame after dilution in the presence of lanthanum.

Phosphorus is determined spectrophotometrically by the ascorbic acid–ammonium molybdate method. The intensity of blue coloration is measured by UV-VIS spectrophotometer.

Determination of polychlorinated biphenyls (PCB) and Organochlorine Pesticides (OCP) in soil samples

PCB and OCP are extracted from pretreated sample into a hexane-acetone mixture (3:1). The extract is fortified with suitable internal standard and cleaned up on the SPE column filled with modified silica gel sorbent. Sulphur compounds are removed within the reaction with elementary copper. Clean extract in isooctane is injected into a GC-MS and analysed in measuring regime (SIM, MRM). Under the specified condition limit of application 0,1–1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (expressed as dry matter) may be achieved for indicator congeners PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153 and 180) as well as for selected organochlorine pesticides (DDT/D/E, HCH a HCB).

The method principle was preserved throughout the monitoring duration; individual parts of procedure were optimised together with updated laboratory equipment. In the years of BSM (till 2000) these analysis were performed by authorized external laboratory; from 2000 PCB analyses and later on also OCP were performed exclusively in ÚKZÚZ laboratory in Brno. In 2004 this test was accredited and the compatibility of results was ensured as well. Detection limits were significantly reduced; the reporting limit was set 0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ for PCB and 1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ of dry matter for OCP.

Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in soil samples

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are determined after the acetone extraction and repurifying via the solid phase (SPE) using HPLC method on the reversed phase with gradient elution and fluorometric detection.

The soil samples (10 g) are extracted by acetone and the extract is purified via SPE column C8. Non-polar substances – PAH get caught in sorbent C8 from which they are eluted by tetrahydrofuran. They are analysed by high performance liquid chromatography (HPLC) with fluorescence detection and gradient elution. The measurement and evaluation were carried out using Chromatography Station for Windows CSW; since 2005 they have been carried out with chromatography system Agilent ChemStation.

3 Fyzikální charakteristiky půd BMP

Ladislav Kubík

Z hlediska zpracování půdy hrají fyzikální vlastnosti prvořadou roli. Rozhodují o tom, jakým způsobem a intenzitou má být půda obdělávána, aby bylo dosaženo optimálního poměru půdního prostředí pro pěstované rostliny. Půdní fyzika se v podstatě 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.



Provádění agrotechnických zásahů za příznivých a optimálních fyzikálních podmínek musí být základní dovedností každého zemědělce.

Carrying out the agro-technical practices under favourable and optimal physical conditions has to be the basic skill of each farmer.

3 The physical characteristics of BSM soils

Taking into account soil cultivation, the physical properties play an overriding role. They decide what technique and intensity should be used for soil tilling for the purpose of accomplishment of the optimal soil environment rate for grown plants. In fact, soil physics deals with the study of condition of soil complex components. Thus, it describes the distribution and representation of solid soil particles, water and air within soil profile. The change of representation of individual components is predominantly the answer to a mechanical interference in soil.



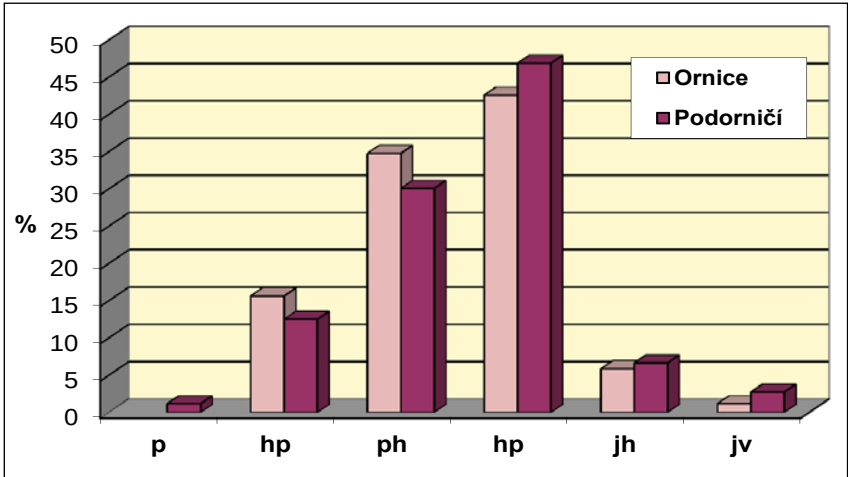
Kombinace špatných fyzikálních vlastností půdy, nevhodná a nesprávně načasovaná agrotechnika má za následek vytvoření velkých hrud na poli, popřípadě i zhutnění podorničí, což se negativně projeví na výnosu pěstované plodiny.

The combination of poor physical soil properties and unsuitable and wrongly timed agro-technology results in the creation of large clods in the field or compacting of subsoil which will negatively influence the yield of grown crop.

3.1 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. Z hlediska půdních vlastností je zvláště významná kategorie zrn menších než 0,01 mm (tzv. jílnaté částice). Podle hmotnostního zastoupení těchto 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 zaujímají 19 % lehké půdy, 59 % půdy střední a 17 % půdy těžké. Zbývajících 5 % připadá na kamenité a silně šterkovité půdy, zcela nevhodné pro zemědělskou produkci. S druhem půdy úzce souvisí i další ukazatele jako je objemová hmotnost a pórovitost.

Graf 2. Procentické zastoupení jednotlivých půdních druhů na plochách BMP
Figure 2. The proportional representation of individual soil types at BSM areas



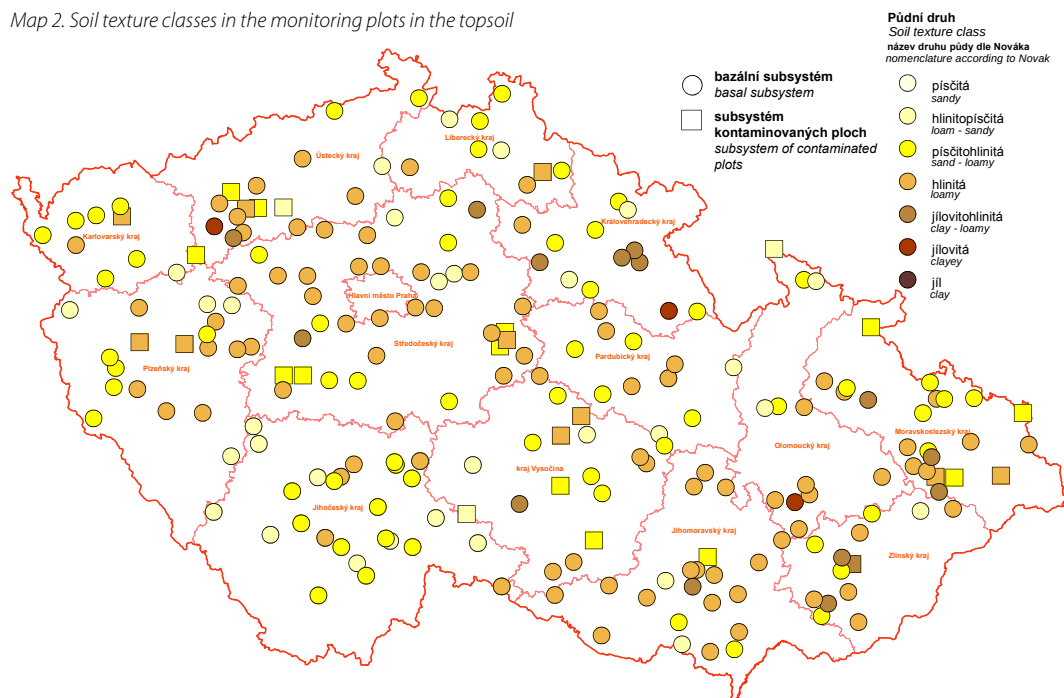
půda: p – písčité (sandy), hp – hlinitopísčité (loam-sandy), ph – písčitohlinité (sand-loamy), h – hlinité (loamy), jh – jílovitohlinité (clay-loamy), jv – jílovité (clayey)

Tabulka 1. Deskriptivní statistika obsahu částic menších než 0,01 mm v půdách BMP
Table 1. Descriptive statistics of soil particles content smaller than 0,01 mm in BSM soils

Kultura (Culture)	Horizont (Horizon)	Průměr (Average)	Min. (Minimum)	Max. (Maximum)	0,25 perc. (25 th perc.)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Orná půda (Arable land)	Ornice (Topsoil)	30,71	11,80	65,45	23,40	29,83	36,60
	Podorničí (Subsoil)	32,68	6,30	66,20	24,45	33,55	40,05
TTP (Grassland)	Ornice (Topsoil)	30,08	13,50	54,55	21,50	28,90	37,75
	Podorničí (Subsoil)	31,05	15,60	59,15	23,48	29,73	37,39
Sady (Orchards)	Ornice (Topsoil)	31,81	25,15	38,75	25,99	32,73	35,83
	Podorničí (Subsoil)	36,35	28,25	44,20	31,84	36,50	40,93
Vinice (Vineyards)	Ornice (Topsoil)	30,43	16,70	43,85	18,40	35,05	38,15
	Podorničí (Subsoil)	29,93	15,40	47,45	15,60	33,90	37,30
Chmelnice (Hop-gardens)	Ornice (Topsoil)	30,42	18,80	47,65	24,23	30,65	33,70
	Podorničí (Subsoil)	29,71	16,00	46,35	23,88	31,70	33,10

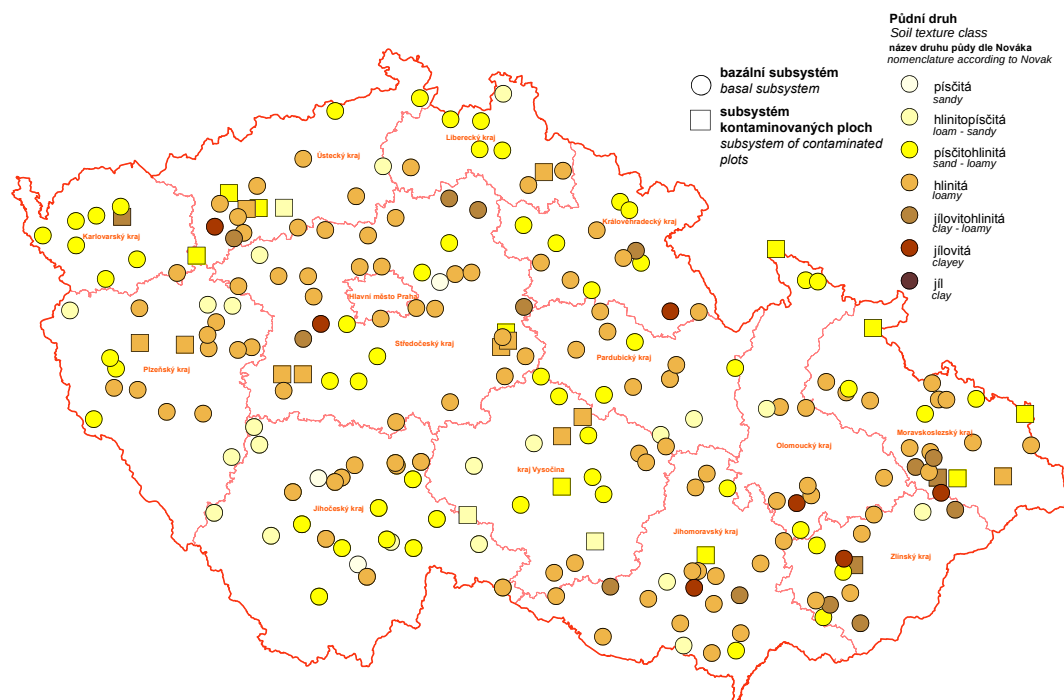
Mapka 2. Půdní druhy na plochách BMP v ornici (svrchní vrstvě půdy)

Map 2. Soil texture classes in the monitoring plots in the topsoil



Mapka 3. Půdní druhy na plochách BMP v podornici

Map 3. Soil texture classes in the monitoring plots in the subsoil





Ke stanovení zrnitostního složení půdy se používá několik různých metod. Pipetovací metoda patří mezi nejpřesnější způsoby zjištění zrnitosti půdního vzorku.

Several different methods are used for determination of soil granularity. Pipette method belongs among the most accurate methods on determination of soil granularity.



3.2 Objemová hmotnost redukována a pórovitost

Objemová hmotnost se používá k vyjádření stupně nakypření nebo utužení. U neporušených vzorků se zjišťuje hmotnost půdy po vysušení na konstantní hmotnost. Z takto zjištěné hodnoty se vyjádří objemová hmotnost redukována. 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 zhutněním podstatně ohroženo kolem 40–45 % všech zemědělských půd, z toho tzv. genetickým zhutněním přibližně 30 % všech půd a tzv. technogenním zhutněním až uvedených 45 % půd.

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 procentech objemových (objem pórů v určitém objemu půdy). Kolísá v ornicích v rozsahu hodnot asi 40–60 % a s rostoucí hloubkou zpravidla klesá. Podle vnitřního průměru pórů rozlišujeme póry na kapilární a nekapilární. Pro vodní a vzdušný režim půdy je důležitý zejména vzájemný poměr kapilárních (menších než 0,2 mm) a nekapilárních (nad 0,2 mm) pórů. Hlinité půdy (středně těžké půdy) mají cca 2/3 kapilárních pórů z celkové pórovitosti. Jílové půdy mají vysoký obsah kapilárních pórů a nízký obsah nekapilárních pórů, u písčitých půd je tomu naopak. Poměr pórů kapilárních a nekapilárních je posléze objektivním ukazatelem ulehlosti a kyprosti půdy.

Objemová hmotnost redukována (OHR) a pórovitost mohou být jedním z orientačních kritérií pro posuzování ulehlosti půdy a strukturního stavu půdy jak uvádí např. Kutílek (1978) (Tabulka 2) a Lhotský a kol. (1984) (Tabulka 3), přičemž pro obě charakteristiky částečně platí nepřímá úměra.

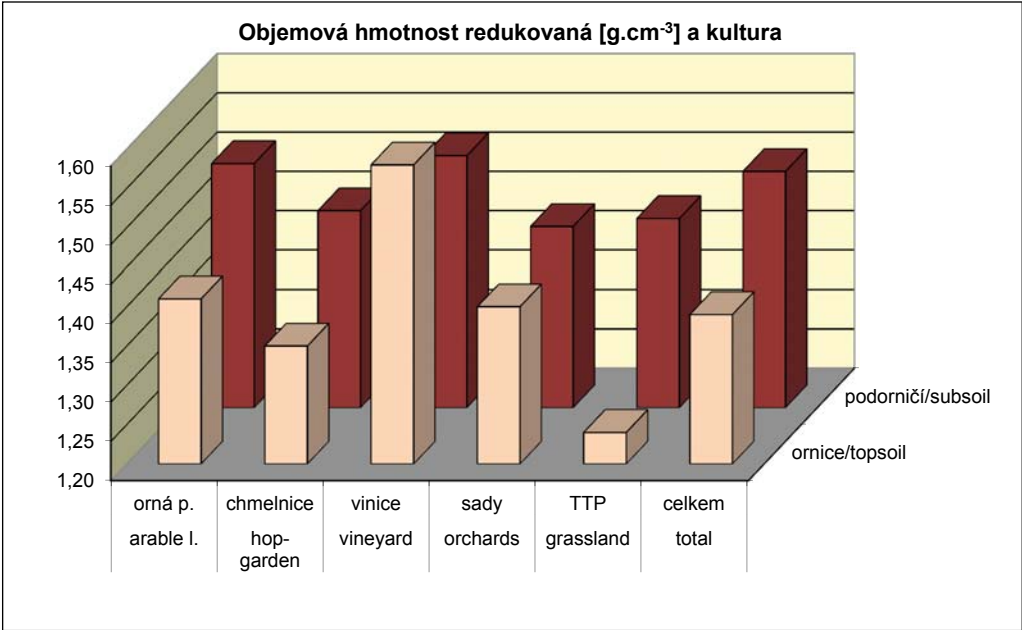
Tabulka 2. Zhodnocení strukturního stavu půdy organominerálních horizontů na pozorovacích plochách BMP v závislosti na OHR a pórovitosti podle Kutílka

Table 2. Evaluation of soil structural state of organomineral horizons in the monitoring plots in dependence on reduced bulk density and porosity according to Kutílek

Kritérium (Criterion)		Počet hodnot (Data count)	Stav horizontu (Horizon quality)	Hodnoty splňující limit (Data satisfactory limit)	
Název (Term)	Limit (Limit)			Počet (Number)	[%]
Objemová hmotnost redukována [g.cm ⁻³] (Reduced bulk density)	< 1,2	218	výborný (excellent)	24	11
	1,2–1,4		dobrý (good)	83	38
	1,4–1,6		nevyhovující (unsuitable)	93	43
	1,6–1,8		nestrukturní (nonstructure)	17	8
Pórovitost [%] (Porosity)	> 54	218	výborný (excellent)	33	15
	46–54		dobrý (good)	95	44
	39–46		nevyhovující (unsuitable)	73	33
	31–39		nestrukturní (nonstructure)	17	8

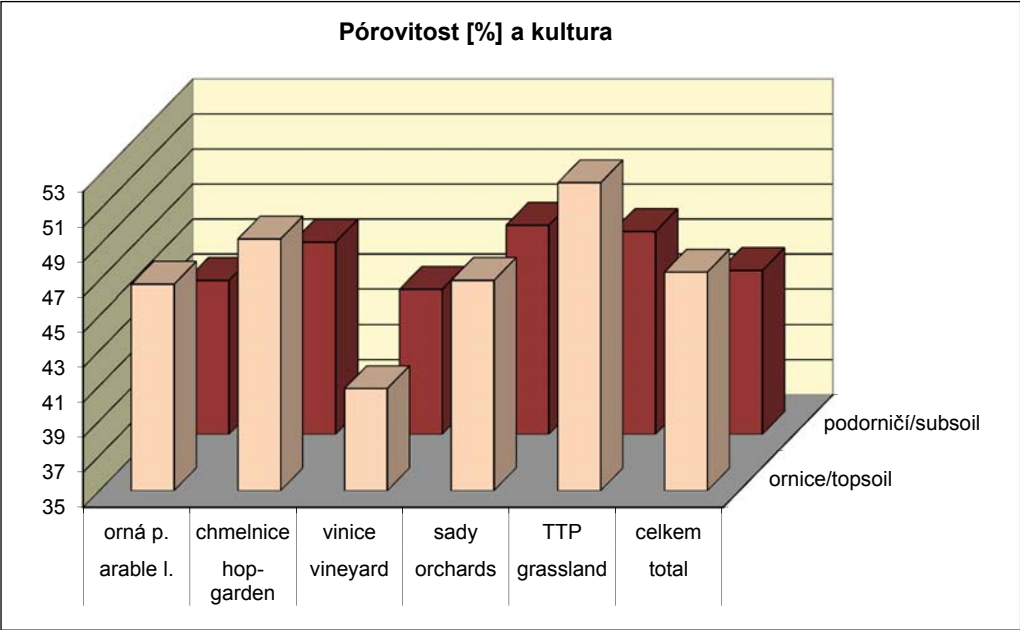
Graf 3. Objemová hmotnost redukovaná v závislosti na kultuře plochy BMP

Figure 3. The reduced bulk density according to a culture of BSM area



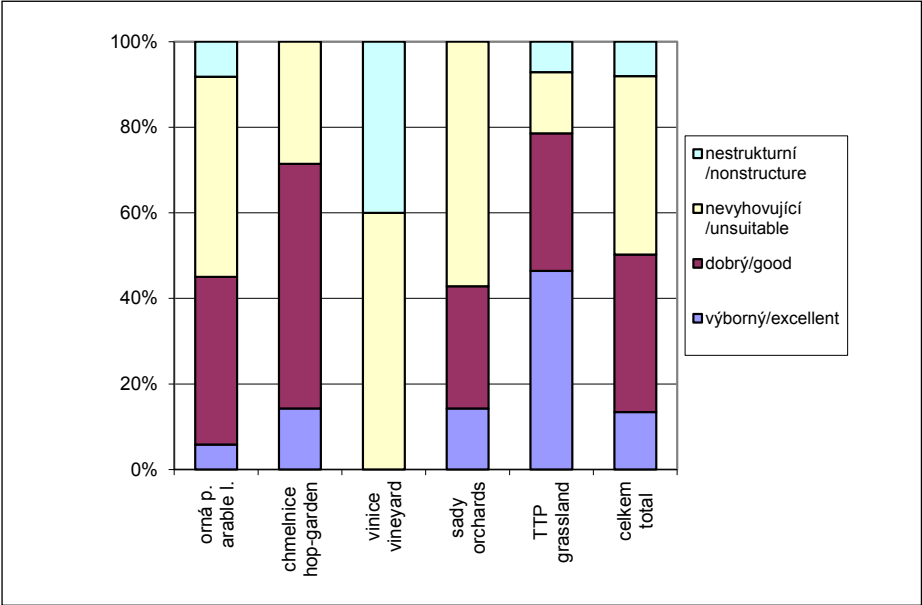
Graf 4. Pórovitost v závislosti na kultuře plochy BMP

Figure 4. The porosity according to a culture of BSM area



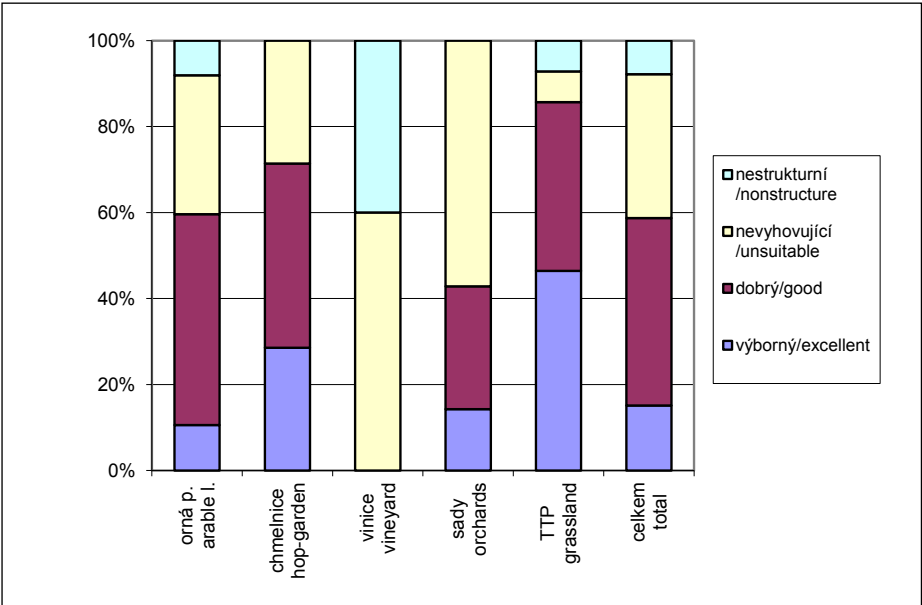
Graf 5. Procentické vyjádření strukturního stavu půdy organominerálních horizontů pozorovacích ploch BMP podle kultury a OHR

Figure 5. The proportional expression of soil structural condition of organomineral horizons at BSM monitoring plots according to the culture and reduced bulk density



Graf 6. Procentické vyjádření strukturního stavu půdy organominerálních horizontů pozorovacích ploch BMP podle kultury a pórovitosti

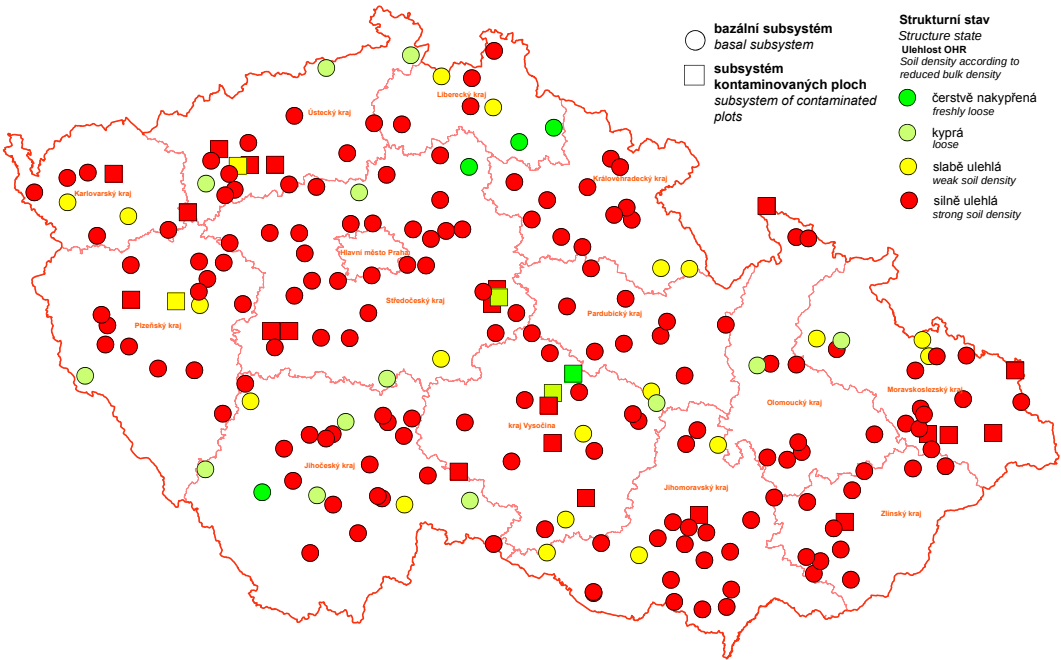
Figure 6. The proportional expression of soil structural condition of organomineral horizons at BSM monitoring plots according to the culture and porosity



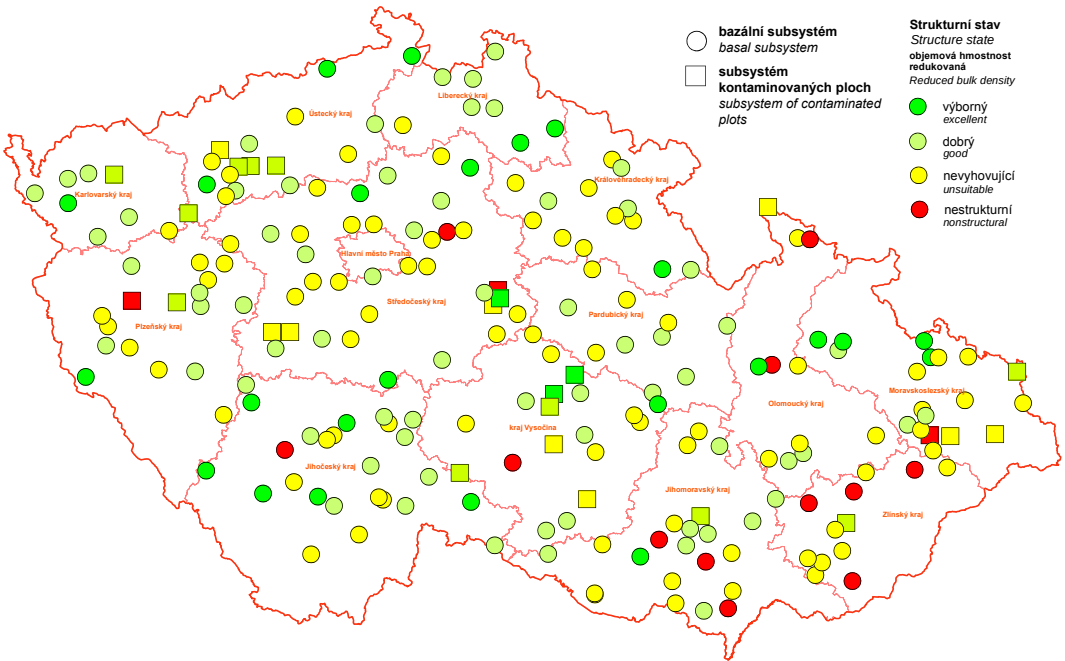
Tabulka 3. Zhodnocení ulehlosti půdy na pozorovacích plochách BMP v závislosti na OHR
Table 3. Evaluation of soil density in the monitoring plots in dependence on reduced bulk density

Horizont (Horizon)	Kritérium (Criterion)		Počet hodnot (Data count)	Kategorie (category)	Hodnoty splňující limit (Data satisfactory limit)	
	Název (Term)	Limit (Limit)			Počet (Number)	[%]
Ornice (Topsoil)	Objemová hmotnost redukována [g.cm ⁻³] (Reduced bulk density)	< 0,95	218	čerstvě nakypřená (freshly loose)	2	1
		0,95–1,15		kyprá (loose)	15	7
		1,15–1,25		slabě ulehlá (weakly compact)	22	10
		> 1,25		silně ulehlá (compact)	179	82
Podorničí (Subsoil)	Objemová hmotnost redukována [g.cm ⁻³] (Reduced bulk density)	< 1,20	214	velmi kypré (highly loose)	1	1
		1,20–1,35		slabě ulehlé (weakly compact)	33	15
		1,35–1,45		ulehlé (compact)	43	20
		> 1,45		silně ulehlé (heavily compact)	137	64

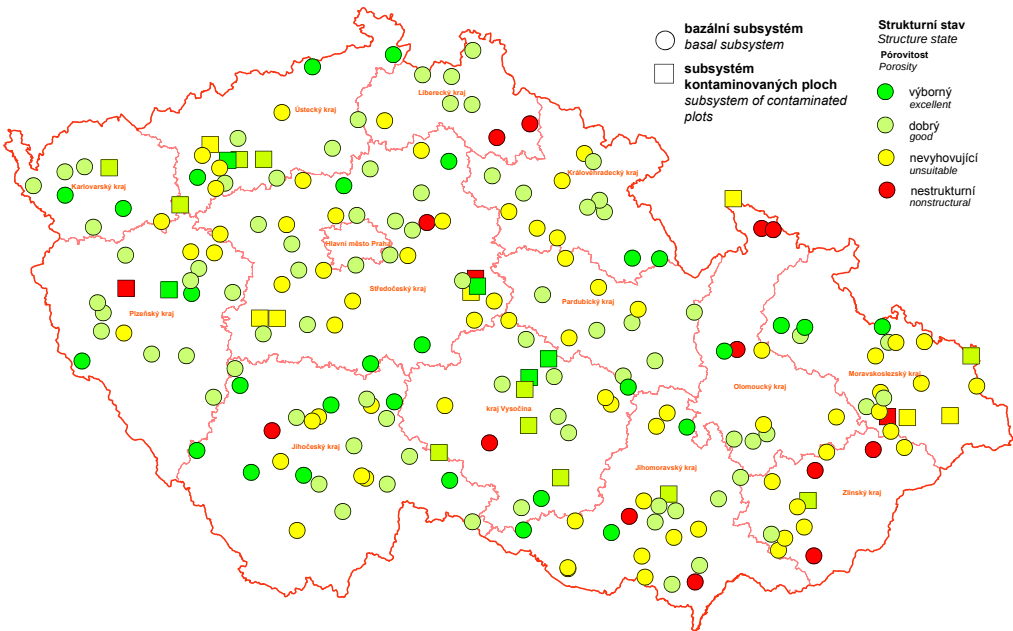
Mapka 4. Hodnocení ulehlosti půdy na plochách BMP v závislosti na objemové hmotnosti redukováné – ornice
Map 4. Classification of soil density in the monitoring plots in dependence on reduced bulk density – topsoil



Mapka 5. Hodnocení strukturního stavu ornice na plochách BMP na základě objemové hmotnosti redukované
 Map 5. Classification of topsoil structural state in the monitoring plots on the grounds of reduced bulk density



Mapka 6. Hodnocení strukturního stavu ornice na plochách BMP na základě pórovitosti
 Map 6. Classification of topsoil structural state in the monitoring plots on the grounds of porosity





K odebírání neporušených půdních vzorků určených ke stanovení OHR a pórovitosti se používají sady Kopeckého fyzikálních válečků.

The set of Kopecký's soil physical cylinders is used for taking of undisturbed soil samples destined for determination of reduced bulk density and porosity.



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

Within sampling the cylinders are embed into soil, after the extraction the redundant soil is cautiously removed and the cylinders is enclosed with cover.

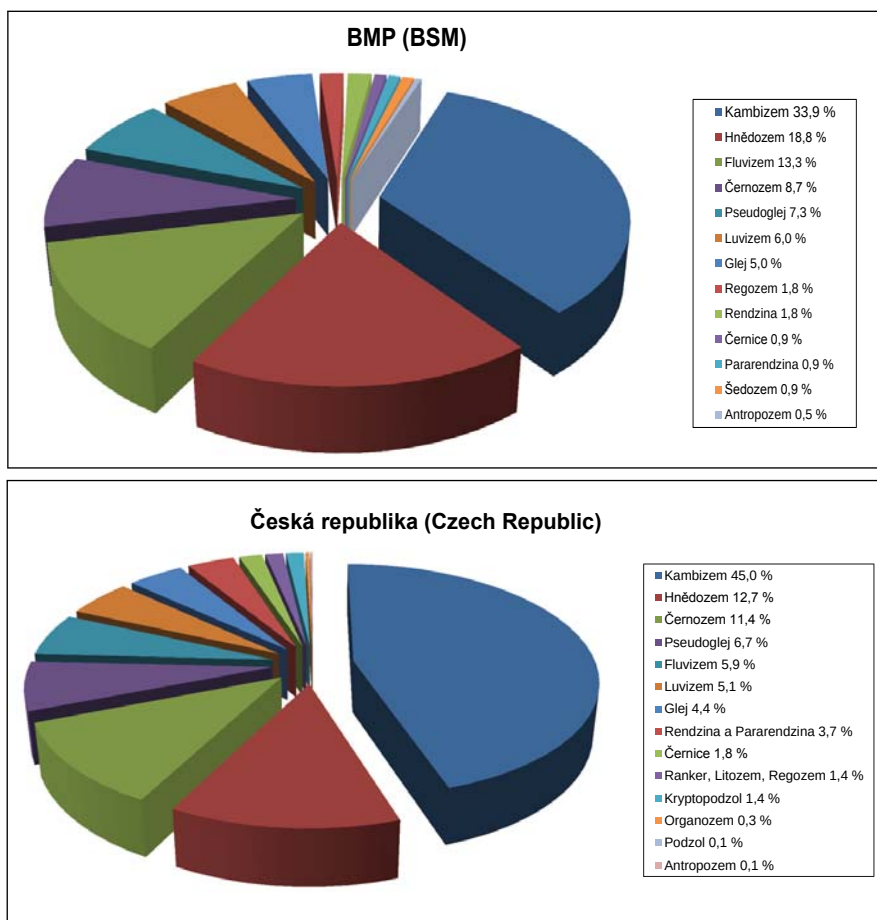
3.3 Zastoupení půdních typů a jejich identifikace v terénu

Počet pozorovacích ploch (PP) s jednotlivými genetickými půdními typy je úměrný jejich plošnému výskytu v půdním fondu ČR. Z tohoto hlediska je základem pro výběr pozorovacích ploch seznam lokalit, na kterých byly popsány speciální půdoznalecké sondy pro účely komplexního průzkumu půd, provedeného v období 1961–1970. Základním podkladem pro výběr konkrétního pozemku s daným genetickým půdním typem je státní odvozená mapa bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) vyjádřených pětimístním kódem v měřítku 1:5 000. Genetické půdní typy jako hlavní půdní jednotka (HPJ) jsou uvedeny dvojčíslím druhého a třetího znaku kódu BPEJ. V grafu 7 je znázorněno porovnání procentického zastoupení jednotlivých půdních typů v BMP a v České republice.

V tabulce 4 jsou uvedeny počty pozorovacích ploch v regionech podle půdních typů. Půdní typ je 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.

Graf 7. Procentické zastoupení půdních typů v BMP a na zemědělském půdním fondu ČR

Figure 7. The proportional representation of soil types in the BSM and in the agricultural land resources of the Czech Republic.

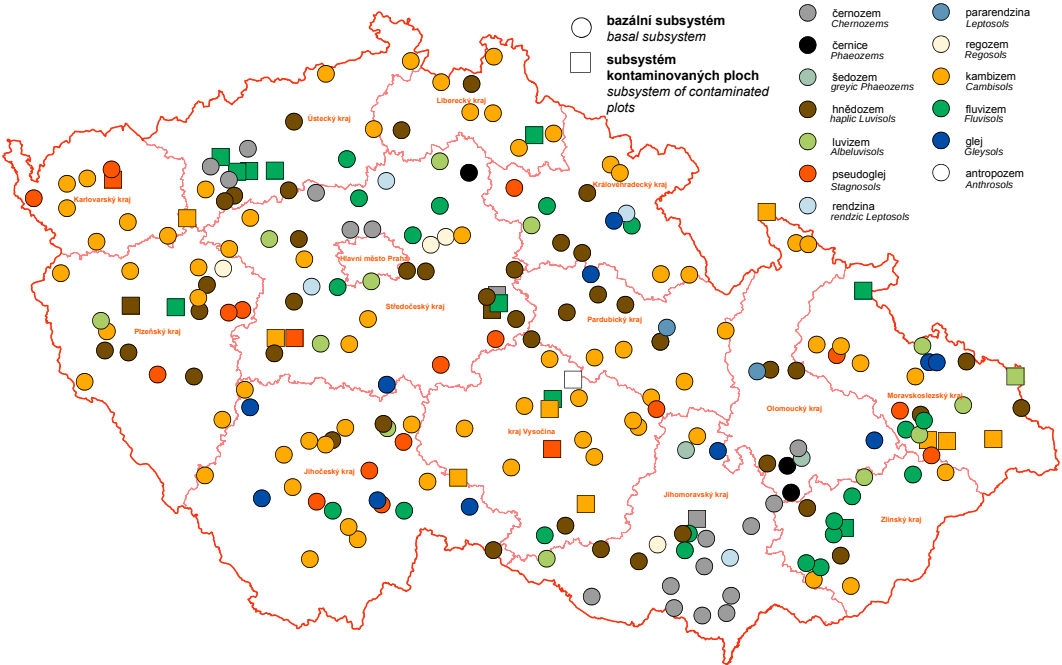


Tabulka 4. Počty pozorovacích ploch základního subsystému podle regionů a půdních typů
Table 4. Number of basal subsystems monitoring plots of the BSM according to regions and soil types

Region	Σ	CC	CE	FL	GL	HN	KA	LU	PG	PR	RG	RZ	SE
Středočeský	31	1	3	4	1	7	5	4	2	-	2	2	-
Jihočeský	26	-	-	2	4	3	12	1	4	-	-	-	-
Západočeský	22	-	-	-	-	5	12	1	3	-	1	-	-
Severočeský	17	-	3	1	-	6	7	-	-	-	-	-	-
Východočeský	28	-	-	3	2	6	13	1	1	1	-	1	-
Jihomoravský	41	1	10	7	1	7	9	2	1	-	1	1	1
Severomoravský	25	-	1	3	3	5	6	3	2	1	-	-	1
Celkem	190	2	17	20	11	39	64	12	13	2	4	4	2

CC – černice, CE – černozem, FL – fluvizem, GL – glej, HN – hnědozem, KA – kambizem, LU – luvizem, PG – pseudoglej, PR – pararendzina, RG – regozem, RZ – rendzina, SE – šedozem

Mapka 7. Půdní typy na plochách BMP
Map 7. Soil types in the monitoring plots



3.4 Půdní typy BMP

Kambizem

Je nejvíce zastoupeným půdním typem zemědělských půd nejen v rámci ploch Bazálního monitoringu půd, ale i v rámci půd celé České republiky. Jsou typické svým kambickým hnědým (braunifikovaným) horizontem Bv, vyvinutým na různých půdotvorných substrátech značených „C“ nebo na souvrství „IIIC“. Kambizemě představují půdy s velmi širokou ekologickou amplitudou vyskytující se v různých klimatických podmínkách, od nížin po vyšší polohy, a na různých půdotvorných substrátech. Kambizemě se produkčně nejvíce uplatňují ve středních a vyšších nadmořských výškách, především jako orné půdy a trvalé travní porosty. Limitujícími faktory jejich úrodnosti jsou klima, svažitost, půdotvorný substrát, množství a kvalita humusových látek. Jsou to půdy převážně středně úrodné, vhodné zejména pro pěstování ječmene, žita a triticele, brambor, lnu, máku nebo konopí. Při znečištění těžkými kovy je předpoklad vyššího transportu do pěstovaných plodin vzhledem ke kyselé reakci těchto půd. Tyto půdy jsou nejvíce ohroženy procesy acidifikace a ztrátami humusu.



Ap

ApBv

Bv

BvIIIC

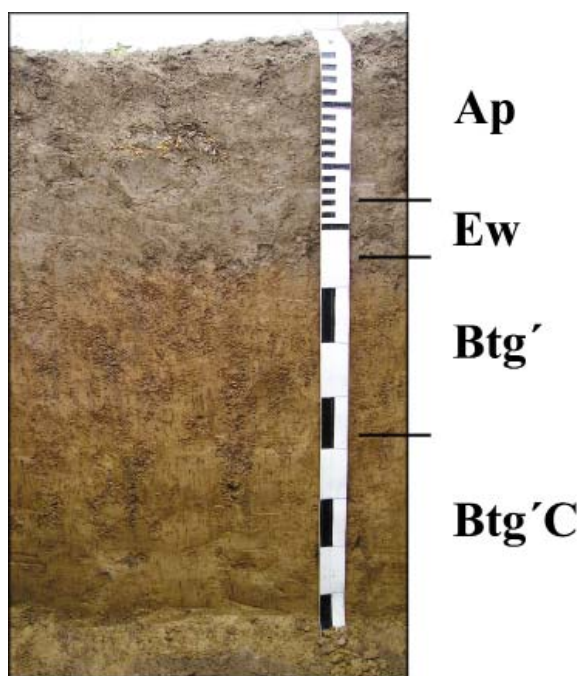


Kambizem s popsanými půdními horizonty a typickým výskytem v oblasti pahorkatin.

Cambisols with described soil horizons and its typical occurrence in the upland areas.

Hnědozem

Je druhým nejčastěji se vyskytujícím půdním typem na plochách BMP i v České republice. Patří k luvisolům, v profilu dochází k vertikálnímu posunu jílu do spodních vrstev – tzv. ilimerizaci a vzniku eluviálního Ev horizontu, který je zcela nebo z části přiorán do ornice. Vyvinula se 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 řepářské výrobní oblasti, v suchých létech dosahují vyšších výnosů než černozemě díky zvýšené retenční vodní kapacitě luvických horizontů. Převážná většina hnědozemí je zorněna, neboť patří mezi zemědělsky cenné půdy. Vyhovují širokému sortimentu rostlin, zejména pšenici, kukuřici, cukrové řepě, řepce olejce atd. Jsou vhodné i pro zakládání sadů. Hnědozemě jsou zranitelné z hlediska zachování obsahu a kvality humusu, a pokud jsou na svazích, je třeba je chránit před erozí.

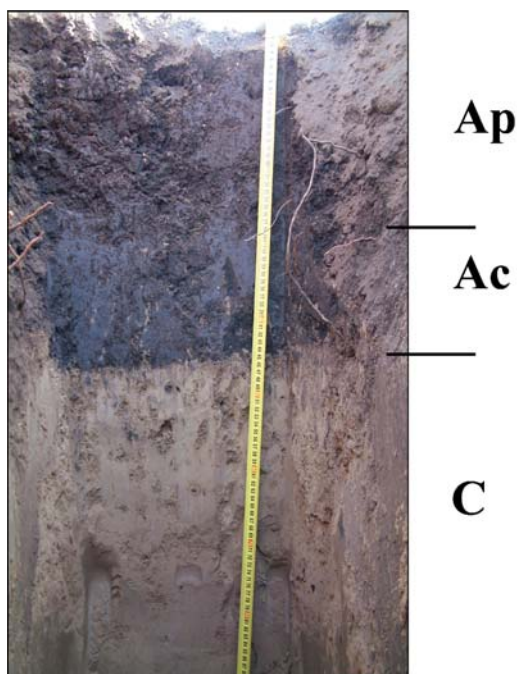


Hnědozem s popsanými půdními horizonty a její typický výskyt v rovinatém terénu.

Haplic Luvisols with described soil horizons and its typical occurrence in a flat land or down country.

Černozem

Třetím nejrozšířenějším typem půd v ČR jsou černoze, v BMP jsou početně 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 horizontem (černický – Ac) s příznivými biologickými a fyzikálními vlastnostmi a kvalitní drobtovou strukturou. Jsou to naše nejúrodnější půdy využívané převážně jako orná půda, vhodné pro pěstování nejnáročnějších plodin jako jsou pšenice, kukuřice, cukrová řepa, olejniny a jiné. Limitujícím faktorem úrodnosti je často nedostatek přístupné vody pro rostliny.



Černozem s popsanými půdními horizonty a její typický výskyt v rovinatém až mírně zvlněném terénu.

Chernozems with described soil horizons and its typical occurrence in a flat up to slightly undulating land.

Fluvizem

Jsou třetím nejčastějším půdním typem v BMP. 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 vzhledem k možnému znečištění podzemní vody a povodňových kalů pocházejících z různých přítoků. Fluvizemě mají různorodou bonitu, od vysoce úrodných až po neplodné, z čehož vyplývá různorodé využití převážně jako orná půda (v nižších polohách) nebo trvalé travní porosty. Mohou patřit mezi nejlepší zelinářské půdy (Polabí), daří se na nich i obilninám, technickým plodinám i okopaninám.

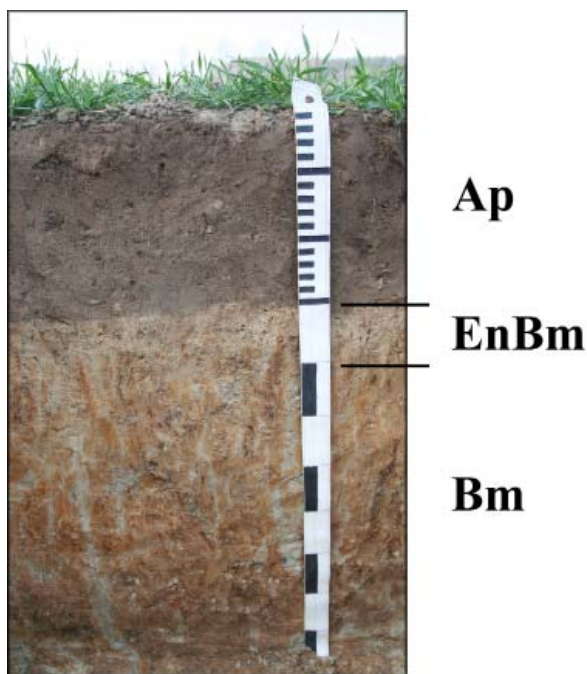


Fluvizem s popsanými půdními horizonty a typickým výskytem v krajině podél vodních toků.

Fluvisols with described soil horizons and typical occurrence along watercourse.

Pseudoglej

Patří k častěji se vyskytujícím půdním typům v rámci BMP 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 jako trvalé travní porosty, méně pak jako orná půda. Poměrně dobře se na nich daří ovsu a jeteli, a to na půdách s hlinitými horizonty. Pro využití pseudogleje jako orné půdy jsou limitními faktory nepříznivé fyzikální vlastnosti – vysoká ulehlost, nízká nekapilární pórovitost a zamokřenost od povrchu.

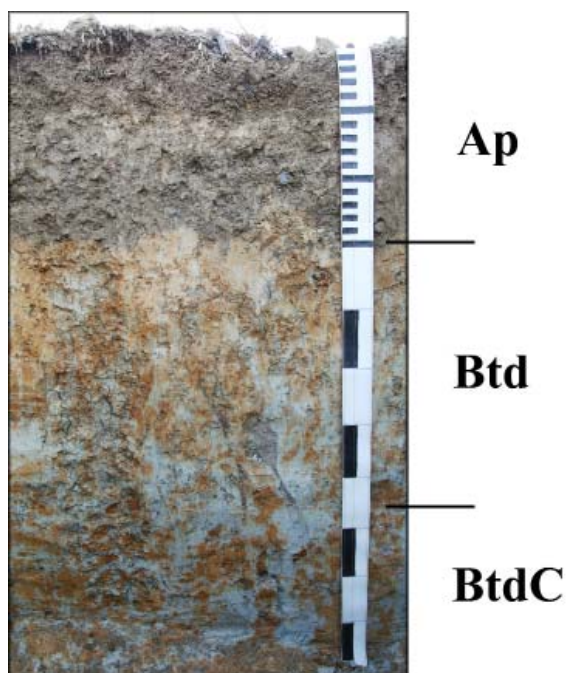


Pseudoglej s popsanými půdními horizonty a typickým výskytem v dolní části svahů.

Stagnosols with described soil horizons and typical occurrence in a bottom part of slope.

Luvizem

Její zastoupení v ČR a v BMP je nad 5 % a můžeme ji 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 ním leží hutný luvický horizont Bt s až třikrát vyšším obsahem jílu, který byl procesem ilimemizace translokován z 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. Většina luvizemí je obdělávána jako orná půda. Jsou vhodné pro pěstování žita, řepky olejky, konopí, jetele, možná je i kukuřice a pšenice. Vzhledem ke svému geografickému výskytu mohou trpět erozí, jsou náchylné na utužení, zejména podorničí a někdy jsou od povrchu zamokřené.



Luvizem s popsanými půdními horizonty a typickým výskytem v mírně zvlněném terénu.

Albeluvisols with described soil horizons and typical occurrence in a slightly undulating land.

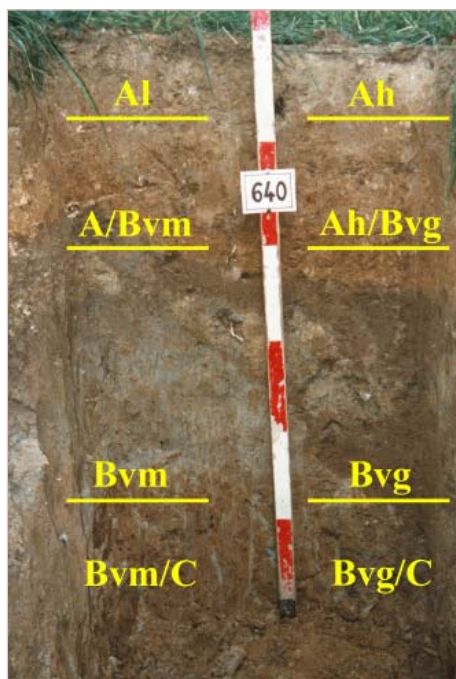
Zastoupení a využití ostatních půdních typů v zemědělské krajině a na plochách BMP je méně významné v porovnání s výše zmíněnými. Za zmínku stojí ještě **Glej**, který je převážně využíván jako trvalý travní porost, a **Pararendzina**, která je vhodná pro vinice.

3.5 Půdní klasifikace

K vyhotovení přesné pedologické charakteristiky pozorovací plochy (PP) slouží pedologická sonda. Popis sondy byl prováděn půdoznalcem buď při založení PP, nebo do čtyř let po založení. Pedologická sonda je umístěna několik metrů od okraje pozorovací plochy tak, aby vlastní PP nebyla narušena pracemi při výkopu. Hloubka sondy činí maximálně 150 cm podle půdních podmínek.

V průběhu sledování od roku 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 přestoupilo na Morfogenetický klasifikační systém půd (MKSP) (Hraško a kol., 1991), který již sjednocoval klasifikaci zemědělských a lesních půd. Tento systém se dále rozvíjel, zejména v návaznosti na dokončování světového klasifikačního systému (World Reference Base, WRB). Tento proces vyústil v roce 2001 zpracováním nové klasifikace půd ČR s názvem Taxonomický klasifikační systém ČR (TKSP), která je použitelná pro zemědělské i lesní půdy a je maximálně kompatibilní s WRB.

Klasifikace půdních jednotek i popis stratigrafie půdního profilu na pozorovacích plochách BMP prošly tímto vývojem a byly tedy dvakrát transformovány. Je třeba poznamenat, že v důsledku ne zcela přesné návaznosti jednotlivých klasifikačních systémů a diagnostiky jednotlivých horizontů může při převodu docházet k malým nepřesnostem či rozdílům v porovnání s popisem podle nového systému přímo u sondy v terénu. Přesto nová taxonomie a stratigrafie PP plně vyhovuje z hlediska základní informace o zařazení do půdních typů a subtypů a stratigrafií hlavních diagnostických horizontů. Je též plně použitelná pro publikační účely.



Pedologická sonda č. 7040B, půdní typ KAga' (kambizem oglejená mesobazická).

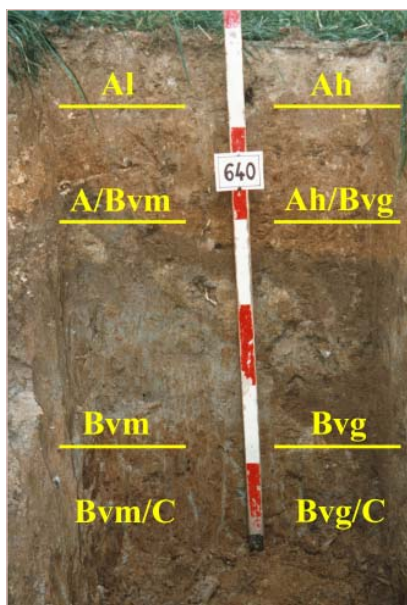
Příklad transformace popisu půdních horizontů – vlevo označení horizontů podle MKSP, vpravo podle současné TKSP.

3.5 Soil classification

The pedological probe is used for creation of the precise pedological characteristic of the monitoring plot. The description of probe was done by a pedological expert either during the creation of the monitoring plot or by four years since its creation. The pedological probe is located several metres from the borders of the monitoring plot so that the monitoring plot itself would not be affected during excavation works. The depth of probe is no more than 150 cm according to soil conditions.

In the course of the monitoring since 1992 the soil classification system has been changed twice. When establishing the monitoring the soil types and stratigraphy of soil profile were described according to the Genetic-agronomical soil classification used within the complex survey of agricultural soil. In the nineties the system was changed to the Morphogenetic soil classification system (MSCS) (Hraško and coll., 1991) which already unified the classification of agricultural and forest soils. This system was continuously developing mainly further to finalization of world classification system (the World Reference Base, WRB). In 2001, this process resulted in the formulation of new soil classification in the Czech Republic named Taxonomic classification system of soil of the Czech Republic (TCSS), which is applicable to agricultural as well as forest soils and is compatible with the WRB at the most.

The classification of soil unit and the description of soil profile stratigraphy on monitoring plots (BSM) have gone through above mentioned development and so they were twice transformed. It is necessary to point out that as a result of not completely precise succession to individual classification systems and diagnostics of individual horizons there may occur small inaccuracies or differences in comparison to the description according to new system directly at the probe in the field. Despite this fact, the new taxonomy and stratigraphy are fully convenient regarding basic information on classification into soil types and subtypes as well as stratigraphy of main diagnostic horizons. They are also fully applicable to publication purposes.



The pedological probe No. 7040B, soil type Endogleyic Cambisols.

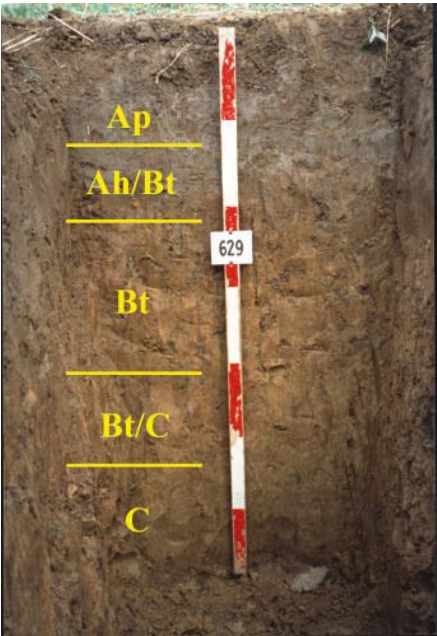
The example of transformation of soil horizons description, on the left the designation of horizons according to the MSCS, on the right according to contemporary the TCSS.

3.6 Popis půdního profilu a pedologických charakteristik pozorovacích ploch

U každé půdní sondy byly popsány následující charakteristiky půdního profilu: identifikace a popis půdních horizontů, barva jednotlivých horizontů, půdní struktura, textura (druh půdy), skeletovitost, vlhkost, konkrerce a biologické vlastnosti. Příklad tohoto popisu je uveden v tabulce 5.

Tabulka 5. Charakteristiky půdního profilu pozorovací plochy č. 7029B, půdní typ HNm – hnědozem modální
Table 5. Soil profile characteristics of monitoring plot No. 7029B, soil type – haplic Luvisols

Horizont + hloubka (Horizon + depth)	Barva (Colour)	Struktura (Structure)	Textura (Texture)	Skelet (Soil skeleton)	Vlhkost (Moisture)	Konkrerce (Concretion)	Biologické vlastnosti (Biological properties)
Ap 0–30 cm	šedohnědá	porušená hrudkovitá	h	0	vlahá soudržná	0	silně prokořeněná, biologicky oživená
Ah/Bt 30–42 cm	rezivohnědá, tmavé záteky	hrubě polyedrická	h	0	vlahá soudržná	0	silně prokořeněná, biologicky oživená
Bt 42–80 cm	rezivohnědá	hrubě polyedrická	h	0	vlahá tuhá	0	středně prokořeněná, biolo- gicky oživená
Bt/C 80–116 cm	narezle hnědá	prismatická	h	0	vlahá tuhá	0	středně prokořeněná, bio- logicky oživená
C 116 a více cm	plavohnědá	nestrukturní	h	0	vlahá ulehlá	0	slabě prokořeněná, biologicky oživená



Půdní profil pozorovací plochy č. 7029B,
půdní typ HNm – hnědozem modální.
Soil profile of monitoring plots No. 7029B,
soil type – haplic Luvisols.

4 Mikroelementy (B, Cu, Fe, Mn, Zn)

Šárka Poláková

Všechny rostliny ke svému růstu potřebují živiny. Jako živiny jsou u rostlin chápány látky anorganické, které se živinami stávají ve své iontové formě. Hlavními stavebními prvky rostlin jsou H, C, O, N, P, K, Mg, S, tzv. **makroelementy** – prvky, jejichž obsah v rostlině činí několik desetin až desítek %.

Z hlediska zdravého vývoje rostlin jsou nezbytné také prvky, jejichž obsah v rostlině je menší než 0,05 % – tzv. **mikroelementy** (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, B). V rostlinných pletivech mají funkci převážně katalytickou. Rostlinám umožňují efektivněji využívat hlavní živiny (P, K, Mg, Ca) a přímo či nepřímo ovlivňují kvalitu rostlinných produktů. Některé jsou zařazovány jako cizorodé prvky a přes rostliny vstupují do potravního řetězce.

V následujícím přehledu jsou zpracována data ze vzorků orných půd. Tato data byla dále rozdělena do dvou souborů: na data ze základního (bazálního) subsystému monitoringu a data ze subsystému kontaminovaných ploch.

Pro vyhodnocení obsahů přístupných mikroelementů byly použity výsledky stanovení vybraných prvků pomocí analytických metod, jež jsou významné z hlediska určení obsahů prvků pro potřeby rostlin. Měď (Cu), mangan (Mn), železo (Fe) a zinek (Zn) byly stanovovány v extrakčním roztoku DTPA-TEA (podle Lindsaya a Norvella). Tato metoda slouží především k určení uvolnitelnosti některých prvků pro rostliny. Obsah prvků byl stanoven metodou plamenové absorpční spektrofotometrie. Pro stanovení boru byla použita extrakce horkou vodou podle Bergera a Truoga. Tato extrakce je prakticky celosvětově využívána pro svou dobrou korelaci s příjmem boru rostlinami. Bor v extraktu byl stanoven metodou ICP-OES.

Obsahy přístupných mikroelementů v půdě jsou hodnoceny podle kategorií zásobenosti půd, které v roce 1990 publikoval Neuberg v Komplexní metodice výživy rostlin (Tabulka 6).

Tabulka 6. Kritéria hodnocení obsahu stopových prvků v orné půdě (Neuberg, 1990)

Table 6. Criteria for evaluation of the micronutrients content in arable soil (Neuberg, 1990)

Prvek (Element)	Druh půdy (Texture)	Obsah v mg.kg ⁻¹ půdy (Content)		
		Nízký (Low)	Střední (Medium)	Vysoký (High)
Bór (B) Berger-Truog	L	< 0,40	0,40–0,70	> 0.70
	S	< 0,60	0,60–1,00	> 1.00
	T	< 0,80	0,80–1,50	> 1.50
Měď (Cu) Lindsay-Norvell	L, S, T	< 0,80	0,80–2,70	> 2,70
Mangan (Mn) Lindsay-Norvell	L, S, T	< 10	10–100	> 100
Zinek (Zn) Lindsay-Norvell	L, S, T	< 1,00	1,00–2,50	> 2,50

Druh půdy (texture): L – lehká (light), S – střední (medium), T – těžká (heavy)

4 Microelements (B, Cu, Fe, Mn, Zn)

All plants need nutrients for their growth. Inorganic substances which become nutrients in their ionic form are understood as the nutrients in plants. The main building elements of plants are H, C, O, N, P, K, Mg, and S, so called macroelements – elements which contents in plants form several tenths up to tens of %.

Regarding the health plant phylogenesis there are also indispensable the elements which content in plant is lower than 0,05 %. These elements are called microelements (Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, and B). They have got predominantly catalytic function in plant tissues. They enable plants to use effectively main nutrients (P, K, Mg, and Ca) and they directly or indirectly influence the quality of plants products. Some of them are classified among risk elements and they enter into food chain via plants.

In the following survey the data from arable soils samples are processed. Furthermore, these data were divided into two files: data from basal subsystem of monitoring and data from subsystem of contaminated plots.

To evaluate the contents of available microelements there were applied the results of the determination of selected elements using the analytical methods which are important in relation to determination of elements' contents for plant needs. Copper (Cu), manganese (Mn), iron (Fe) and zinc (Zn) were determined in extractive solution DTPA-TEA (according to Lindsay and Norvell). This method is mainly used to determinate the availability of some elements for plants. The elements' content was determined by FAAS. The hot water extraction according to Berger and Truog was used for boron determination. This extraction is almost globally applied due to its good correlation with boron intake by plants. Boron in extraction was determined by ICP-OES.

The content of available elements in soil is evaluated according to soil supplementation classes, which were published by Neuberg in Complex methodology of plant nutrition (Table 6).



Zdravé porosty s vyváženým poměrem živin lahodí oku.

Healthy vegetation with balanced proportion of nutrients are easy on the eyes.

4.1 Bór (B)

Boron (B)

Bor je rostlinami přijímán pasivně. Velikost příjmu je závislá na vlhkosti půdy (za sucha se zvyšuje jeho vazba v půdě) a pH (přijatelnější v kyselém prostředí).

Ve fyziologických funkcích se od ostatních mikroelementů liší. Mocenství boru se nemění, netvoří cheláty. V rostlinách ovlivňuje:

- výstavbu a stabilitu buněčné stěny,
- růst a činnost meristematických pletiv,
- růst kořenů – podporuje přímo růst, ale při dostatku je také lepší energetické zásobování kořenů,
- transport asimilátů z chloroplastů a listů do zásobních orgánů,
- tvorbu generativních orgánů,
- hospodaření s vodou.

Nedostatek boru vede ke zbrzdění až odumírání apikálních částí rostlin, ke ztrátě květů a plodů, působí pokles kvality produktu a následně pokles výnosu.

U rostlin existují velké rozdíly v citlivosti k nadbytku boru; toxicita se projevuje na vrcholových listech, jejichž okraje nekrotizují a zasychají, list žloutne, dochází k poklesu kvality a kvantity výnosu.

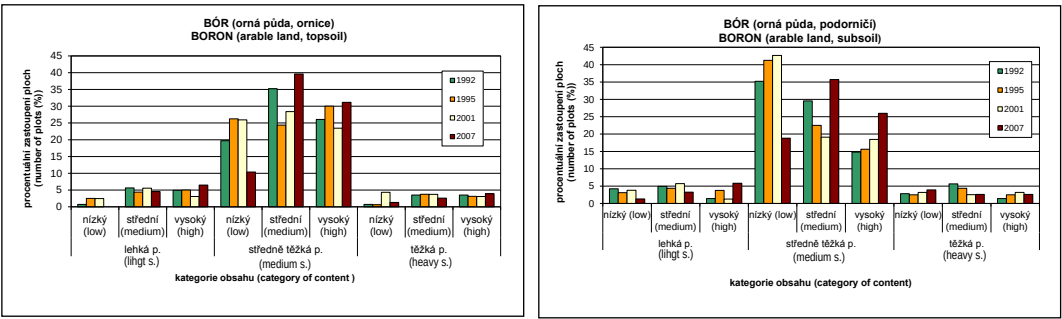
Tabulka 7. Deskriptivní statistika obsahu přístupného bóru (B) v orných půdách BMP (mg.kg⁻¹)

Table 7. Descriptive statistic of the content of available boron (B) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹)

	Rok (Year)	Ornice (Topsoil)						Podorníčí (Subsoil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	0,94	0,36	2,81	0,60	0,79	1,16	0,81	0,23	9,07	0,46	0,66	0,91
	1995	0,95	0,15	2,76	0,53	0,82	1,30	0,73	0,09	2,74	0,35	0,63	0,93
	2001	0,89	0,00	2,95	0,52	0,73	1,12	0,71	0,17	2,74	0,39	0,53	0,89
	2007	1,17	0,25	7,37	0,76	0,93	1,34	1,00	0,12	8,13	0,63	0,81	1,21
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	1,07	0,12	3,35	0,38	0,59	1,55	0,77	0,03	2,77	0,12	0,25	1,23
	2001	1,15	0,48	2,91	0,61	0,78	1,78	0,89	0,26	2,33	0,38	0,49	1,46
	2007	1,26	0,45	2,41	0,65	1,08	1,80	1,11	0,23	2,38	0,57	0,99	1,68

Graf 8. Hodnocení obsahu přístupného bóru (B) podle kategorií zásobenosti (Neuberg, 1990)

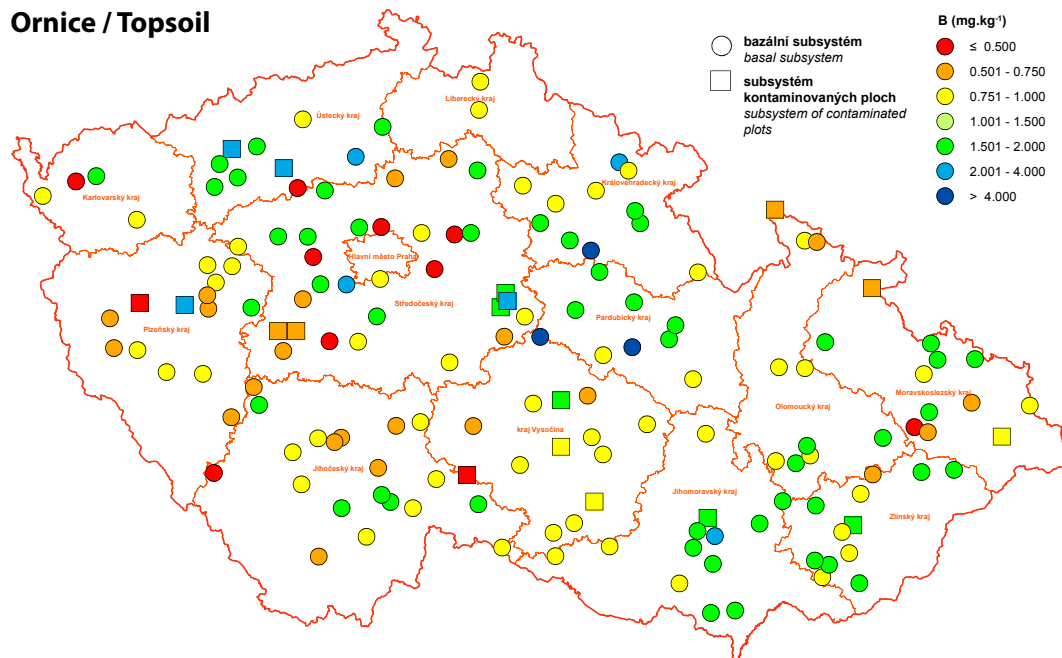
Figure 8. The content evaluation of available boron (B) according to the supplementation class (Neuberg, 1990)



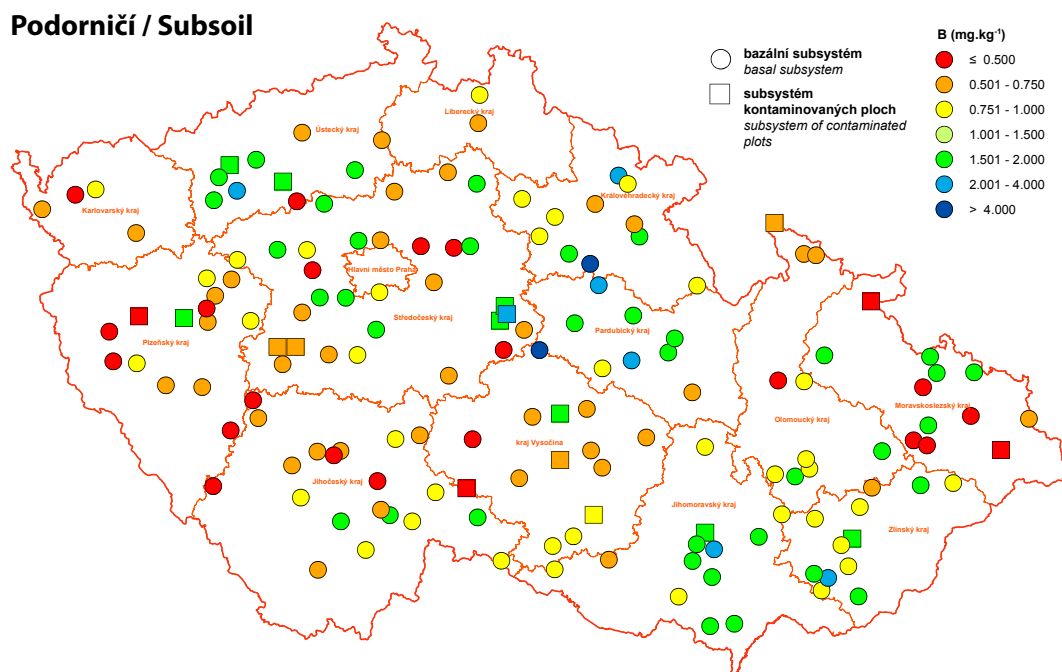
Mapka 8. Obsah přístupného bóru (B) v ornici a podorníči orných půd základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg^{-1})

Map 8. The content of available boron (B) in topsoil and subsoil of arable soils within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg^{-1})

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



4.2 Měď (Cu)

Copper (Cu)

Měď je rostlinami přijímána jako Cu^{2+} , příjem není výrazně ovlivněn jinými ionty. V půdě je silně sorbována, obtížně uvolnitelná, zvláště v půdách s vyšším obsahem organických látek. Lépe uvolnitelná je měď na půdách s nižším pH.

Fyziologické působení mědi je založeno na změně mocenství, tedy na oxidačně redukčních procesech. Účastní se procesu asimilace dusíku, příznivě ovlivňuje stabilitu chlorofylu.

Nedostatek mědi se projevuje na lehkých, kyselých půdách, dále na půdách s vysokým obsahem organické hmoty, případně na kyselých rekultivovaných půdách po silném vápnění. Ve většině našich půd je obsah mědi dostatečný, zvláště tam, kde se dlouhodobě uskutečňovala aplikace měďnatých přípravků proti houbovým chorobám – na viničích, chmelnicích.

Při sníženém příjmu mědi se snižuje využití dusíku, dochází ke zpomalení růstu, mladé listy zakrňují a deformují se, dochází k odumírání růstových konečků a je omezena tvorba generativních orgánů, což se projeví nižším výnosem zrna.

Nadbytek mědi je u rostlin ojedinělý vzhledem k vysoké sorpci mědi v půdě a silně omezenému transportu do nadzemních orgánů.

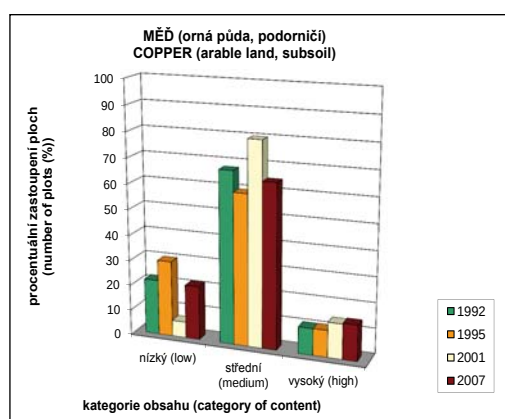
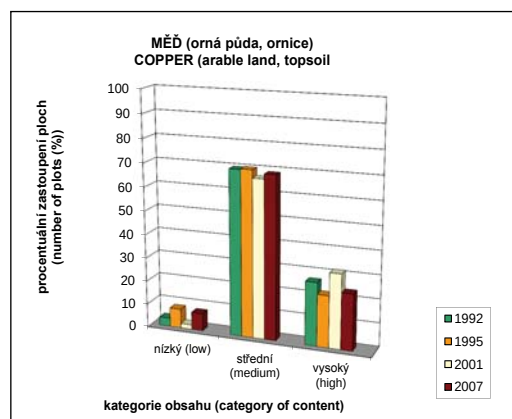
Tabulka 8. Deskriptivní statistika obsahu přístupné mědi (Cu) v orných půdách BMP (mg.kg^{-1})

Table 8. Descriptive statistic of the content of available copper (Cu) in arable soils of BSM system (mg.kg^{-1})

	Rok (Year)	Ornice (Topsoil)						Podorníci (Subsoil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	2,22	0,63	6,41	1,41	1,97	2,75	1,54	0,25	6,46	0,86	1,27	1,80
	1995	1,91	0,30	6,04	1,22	1,79	2,40	1,33	0,24	5,44	0,71	1,07	1,75
	2001	2,22	0,69	5,78	1,57	1,96	2,77	1,60	0,39	5,50	1,07	1,36	1,81
	2007	1,92	0,44	5,41	1,26	1,74	2,36	1,44	0,20	5,59	0,85	1,15	1,78
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	10,5	0,76	44,9	1,55	4,89	12,7	7,29	0,38	44,9	0,76	3,13	9,00
	2001	9,89	1,23	43,6	2,20	5,35	11,0	6,23	0,45	30,6	1,18	3,13	8,82
	2007	7,81	0,73	23,5	2,39	4,80	11,3	5,92	0,27	25,7	1,26	3,50	9,25

Graf 9. Hodnocení obsahu přístupné mědi (Cu) podle kategorií zásobenosti (Neuberg, 1990)

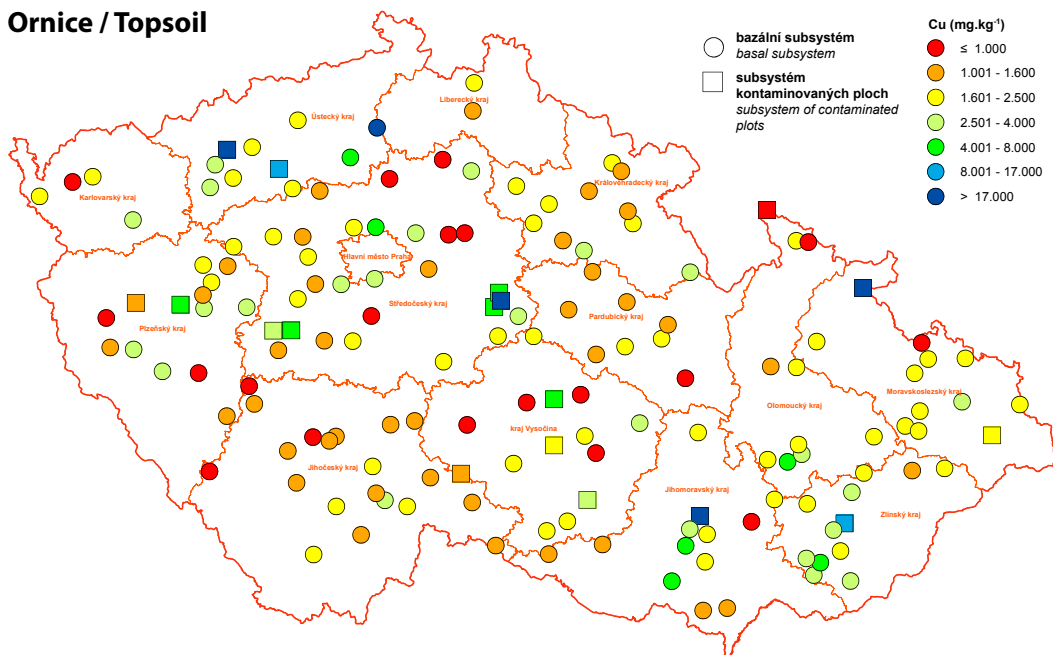
Figure 9. The content evaluation of available cooper (Cu) according to the supplementation class (Neuberg, 1990)



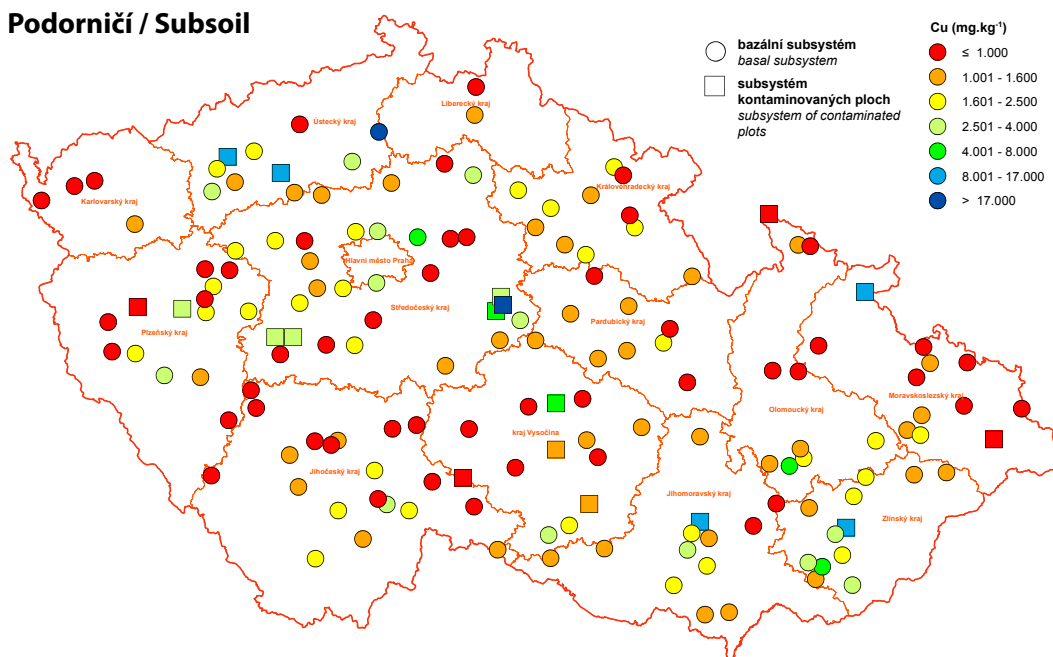
Mapka 9. Obsah přístupné mědi (Cu) v ornici a podorničí orných půd základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)

Map 9. The content of available copper (Cu) in topsoil and subsoil of arable soils within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



4.3 Železo (Fe)

Iron (Fe)

Železo je přijímáno téměř výhradně kořenovými špičkami ve formě Fe^{2+} a Fe^{3+} v závislosti na půdních podmínkách. V provzdušněných půdách s vysokou biologickou aktivitou a vysokým pH je značně snížena jeho rozpustnost. V těchto podmínkách vzrůstá význam chelátotvorných látek (jež jsou produkovány samotnými rostlinami), které reagují s Fe. Takto je zajištěna přítomnost Fe v roztoku.

Příjem rostlinami je značně ovlivněn pH (optimum pH 5–6,8). Při poklesu pH se zvyšuje rozpustnost železa, což může vést ke zvýšenému příjmu a toxicitě. V rostlině přechází většina železa do organických vazeb – je součástí prostetických skupin četných enzymů, ferredoxinu (vysoce účinného redoxního systému, který se uplatňuje v transportu elektronů při fotosyntéze) a mnohých jiných látek. Fyziologický význam železa spočívá v ovlivňování enzymatických dějů.

Nedostatečný obsah železa v půdě se vyskytuje na alkalických stanovištích s vysokým obsahem CaCO_3 (případně při nerozumném převápnění půd), na půdách písčitých s malým obsahem organické hmoty. Nedostatek Fe se může projevit v půdách s vysokou zásobou fosforu. Typickým příznakem nedostatku Fe je chloróza, především vrcholových částí rostlin.

Nadbytek železa se projevuje pouze na kyselých stanovištích, kde může působit až toxicky. Rostliny jsou slabé, špatně rostou, výnos a kvalita produkce je nízká.

Tabulka 9. Deskriptivní statistika obsahu přístupného železa (Fe) v orných půdách BMP (mg.kg^{-1})

Table 9. Descriptive statistic of the content of available iron (Fe) in arable soils of BSM system (mg.kg^{-1})

	Rok (Year)	Ornice (Topsoil)						Podorničí (Subsoil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	84,2	14,6	275	46,4	77,7	109	63,4	11,2	243	30,0	52,5	76,2
	1995	65,5	4,3	247	35,1	52,8	82,5	49,1	3,4	233	23,0	38,6	58,9
	2001	103	11,5	424	53,8	88,0	140	73,5	11,4	292	36,2	57,3	103
	2007	82,1	11,6	411	48,8	70,1	97,4	63,2	10,6	281	33,7	51,8	81,3
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	111	36,5	227	39,4	92,2	186	87,4	25,1	200	32,5	54,0	143
	2001	118	31,4	464	46,5	75,7	153	98,5	22,6	404	35,9	58,0	109
	2007	81,5	24,8	290	35,2	57,3	104	67,3	20,3	226	26,6	42,2	92,0



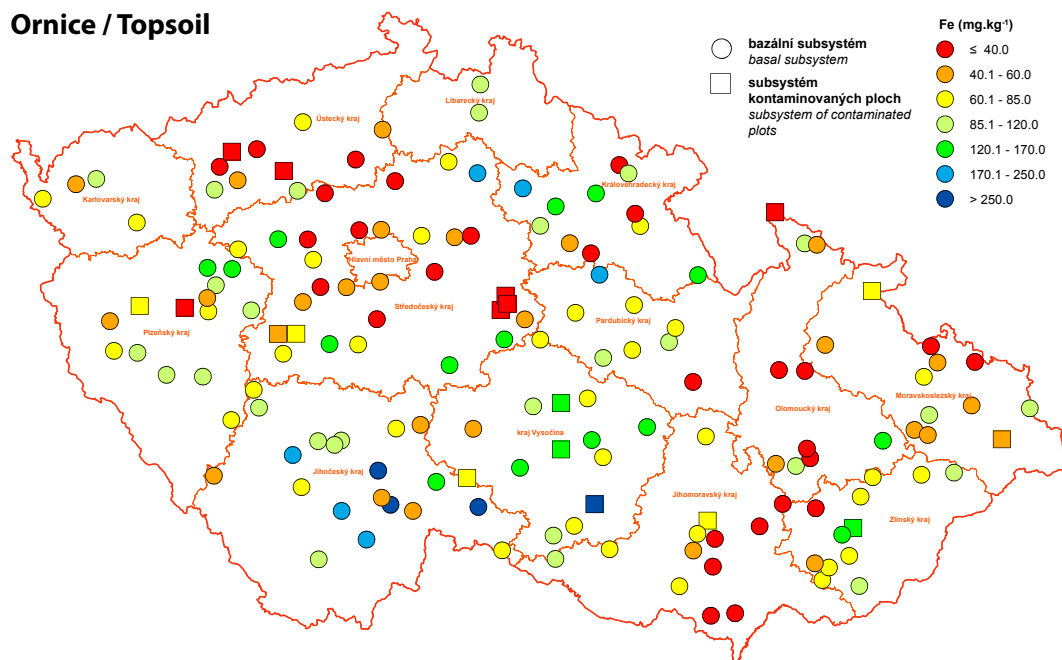
Obsah přístupného železa se stanovuje ve vzorcích půd odebraných v základní periodě z přesně vyměřených monitorovacích ploch (odběr po úhlopříčce).

The content of available iron is being determined in soil samples taken from precisely measured monitoring plots (sampling by diagonal) in basic period.

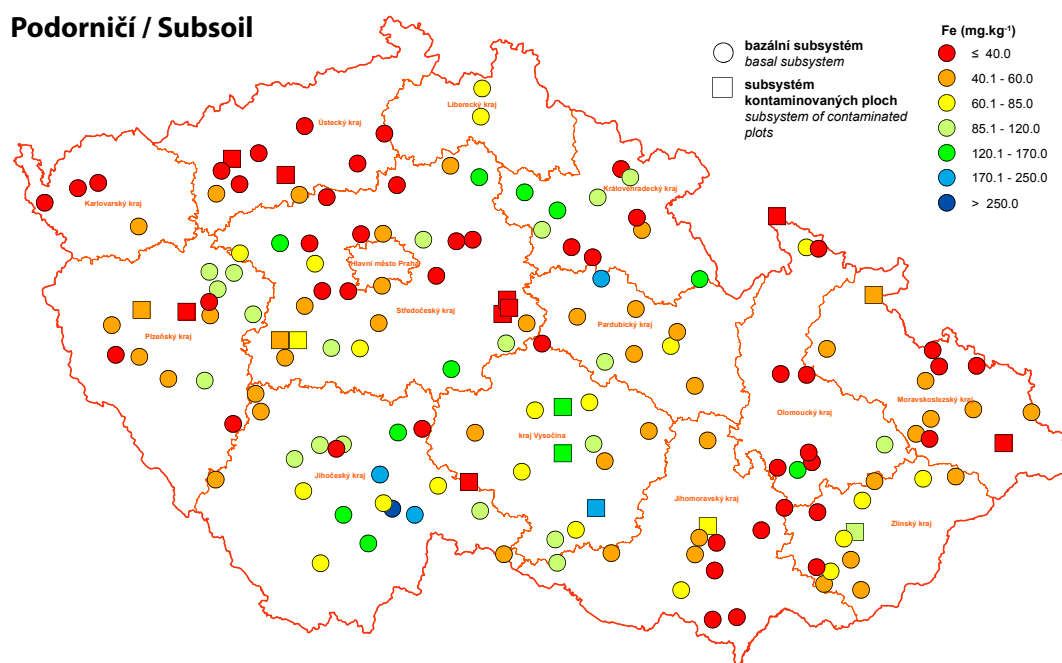
Mapka 10. Obsah přístupného železa (Fe) v ornici a podorníči orných půd základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg^{-1})

Map 10. The content of available iron (Fe) in topsoil and subsoil of arable soils within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg^{-1})

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



4.4 Mangan (Mn)

Manganese (Mn)

Mangan je přijímán jako Mn²⁺. Příjem je významně ovlivněn aciditními podmínkami a redoxpotenciálem půdy. Obecně platí, že přijatelnost manganu je v kyselejší oblasti reakce půdy a při redukčních podmínkách vyšší (na zamokřených půdách může vést až k toxicitě), naopak zvýšená oxidace na půdách neutrálních až alkalických, provzdušněných a biologicky aktivních vede k omezení příjmu až k projevům nedostatku.

Mangan se v rostlinách účastní mnoha fyziologických funkcí:

- aktivace enzymů,
- syntézy vitamínů (zejména vitamínu C),
- fotosyntetických reakcí,
- výstavby chlorofylu.

Nedostatek manganu se projevuje především po vápnění. Nastane omezení syntézy bílkovin, vitamínu C a chlorofylu, což v konečném důsledku způsobí pokles kvality rostlinných produktů. Projevy nedostatku Mn jsou u různých rostlin různé, většinou se objevují chlorózy mladých listů, případně zakrsnutí rostliny. Při silném nedostatku dochází k nekrotám až k odumírání rostlin.

Nadbytek manganu se projevuje pouze na silně kyselých půdách u rostlin nesnášejících kyselá stanoviště. Reakce na nadbytek je stejná jako na nedostatek. Výskyt nadbytku manganu často souvisí s nedostatkem fosforu a molybdenu.

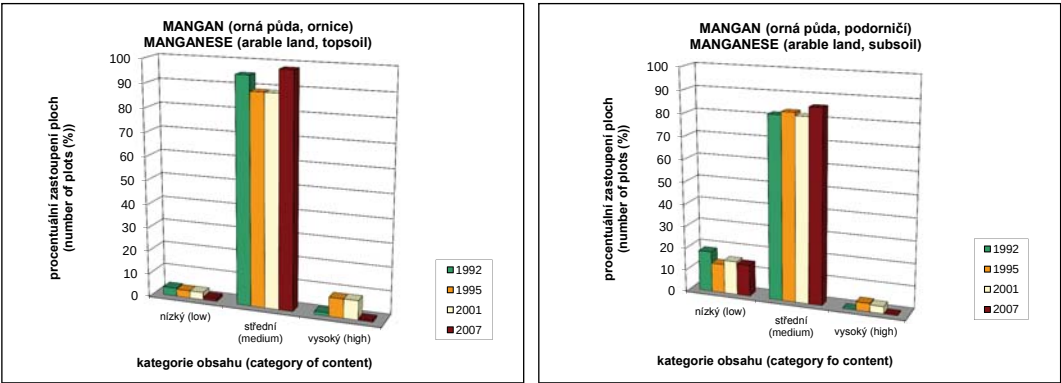
Tabulka 10. Deskriptivní statistika obsahu přístupného manganu (Mn) v orných půdách BMP (mg.kg⁻¹)

Table 10. Descriptive statistic of the content of available manganese (Mn) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹)

	Rok (Year)	Ornice (Topsoil)						Podomičí (Subsoil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	35,6	5,64	202	21,1	30,6	45,3	21,4	2,41	61,7	11,4	19,5	26,6
	1995	43,6	5,11	214	24,8	38,7	54,1	26,3	2,69	170	13,4	21,1	32,7
	2001	47,1	9,20	205	26,4	36,5	56,7	29,1	2,93	183	12,9	23,1	36,2
	2007	40,1	6,58	143	27,6	37,0	49,9	26,4	4,50	72,9	14,6	24,3	35,0
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	69,8	17,3	184	28,1	41,4	114	43,1	11,5	136	15,2	19,5	81,9
	2001	40,9	7,25	182	17,0	36,0	47,1	27,5	6,53	147	10,3	19,7	29,0
	2007	32,7	12,6	60,0	19,1	36,8	40,5	21,2	5,93	50,4	9,79	17,5	32,2

Graf 10. Hodnocení obsahu přístupného manganu (Mn) podle kategorií zásobenosti (Neuberg, 1990)

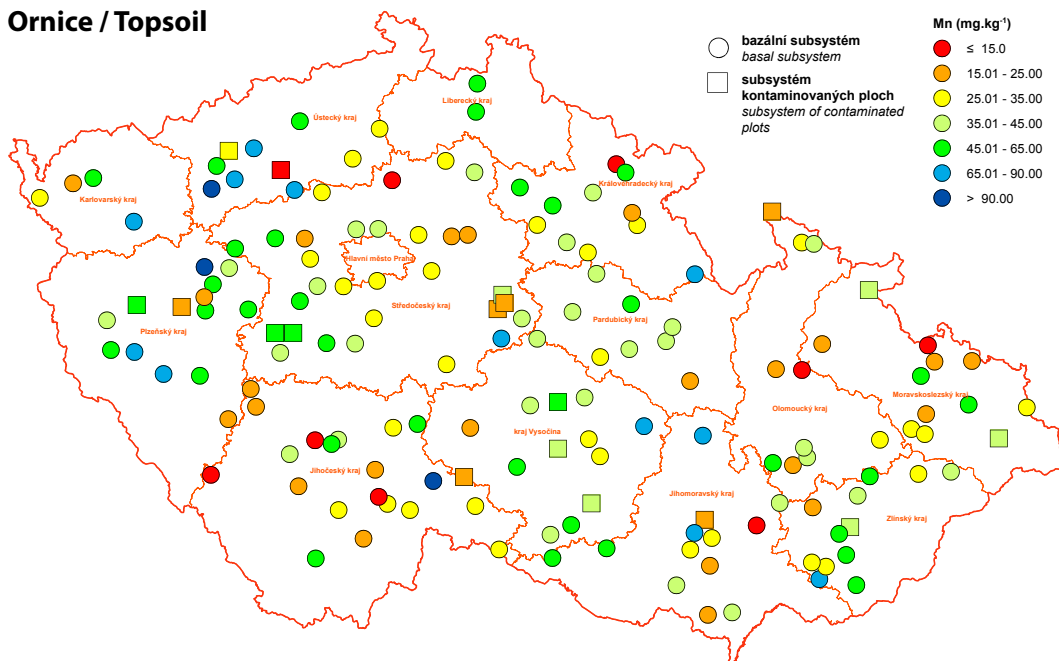
Figure 10. The content evaluation of available manganese (Mn) according to the supplementation class (Neuberg, 1990)



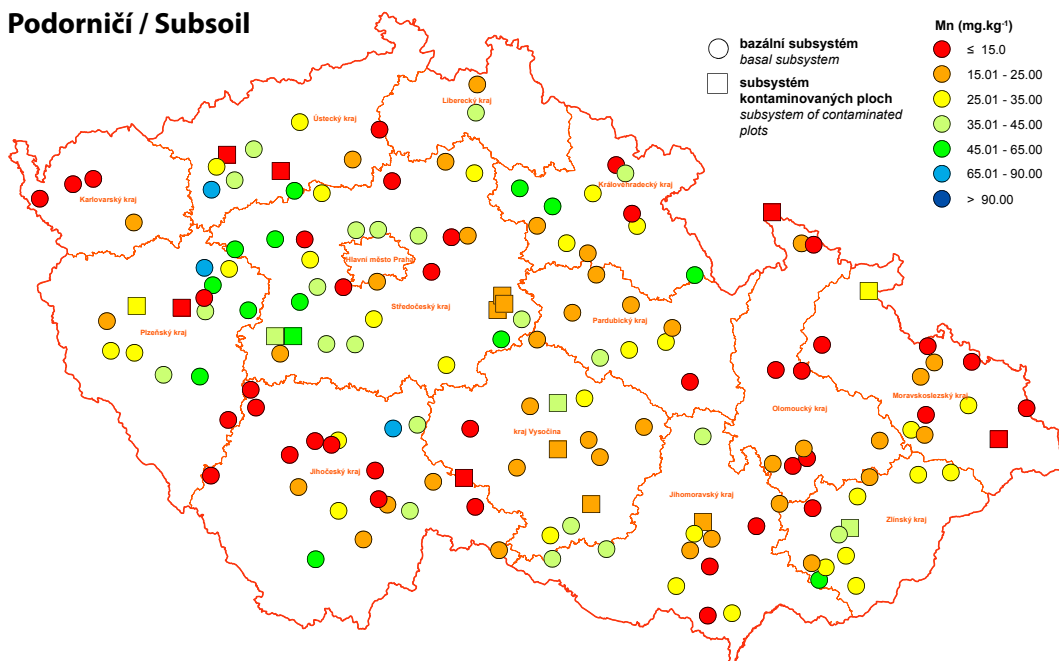
Mapka 11. Obsah přístupného manganu (Mn) v ornici a podorníči orných půd základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg^{-1})

Map 11. The content of available manganese (Mn) in topsoil and subsoil of arable soils within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg^{-1})

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



Rostliny mohou zinek přijímat jako kationt Zn^{2+} , nebo v hydratované či chelatované podobě. Některé rostliny si příjem zinku mohou ulehčit vylučováním chelatizujících látek kořeny. Příjem zinku je silně inhibován mědí, projevuje se také kompetiční vliv Fe a Mg. Příjem zinku rostlinou je ovlivňován:

- pH půdy (se vzrůstajícím pH klesá příjem),
- obsahem zinku v půdě a jeho formou,
- dalšími ionty přítomnými v půdním roztoku,
- geologickým původem půdotvorného substrátu,
- fyziologickými faktory (rostlinný druh, varieta, zdravotní stav, ...),
- teplotami (nízké teploty vedou k poklesu příjmu),
- metabolickými inhibitory.

Zinek je součástí mnoha enzymatických systémů. Podobá se Mg^{2+} a Mn^{2+} , a proto většina enzymů může být aktivována všemi třemi ionty. Účastní se metabolismu dusíku, aminokyselin, ovlivňuje syntézu proteinů, tryptofanu (prekurzor IAA), byl také prokázán vztah mezi obsahem zinku a auxinů v pletivech vyšších rostlin.

Deficit zinku u rostoucích rostlin vede k metabolickým poruchám – nejdříve je přerušena syntéza RNA, následně klesají obsahy proteinů, celkového dusíku a DNA. Nedostatek Zn se projevuje chlorózou listů, vytvářením zakrslých forem, malých listů a slabě vyvinutou apikální dominancí.

Toxicita zinku k rostlinám je obecně nízká (její projevy nejsou příliš dobře popsány) a byla pozorována pouze u rostlin rostoucích na půdách s nadměrným obsahem zinku.

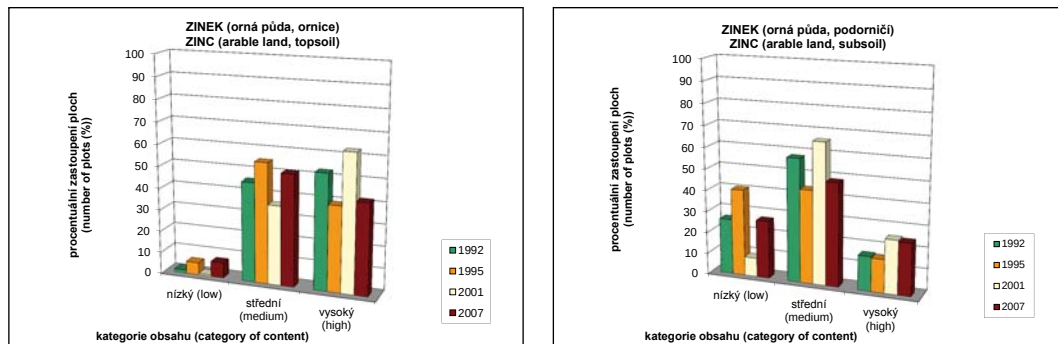
Tabulka 11. Deskriptivní statistika obsahu přístupného zinku (Zn) v orných půdách BMP ($mg.kg^{-1}$)

Table 11. Descriptive statistic of the content of available zinc (Zn) in arable soils of BSM system ($mg.kg^{-1}$)

	Rok (Year)	Ornice (Topsoil)						Podorničí (Subsoil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max (Max)	25. perc (25 th perc.)	Medián (Median)	75. perc (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	3,35	0,65	20,3	1,97	2,61	3,66	2,03	0,56	13,5	0,98	1,33	2,08
	1995	2,35	0,40	7,24	1,57	2,13	2,85	1,33	0,26	4,59	0,78	1,07	1,69
	2001	2,95	0,81	14,0	2,18	2,65	3,42	1,89	0,61	8,61	1,33	1,69	2,21
	2007	2,51	0,32	13,0	1,63	2,13	2,94	1,64	0,26	4,72	0,97	1,48	2,22
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	20,7	0,85	60,8	2,00	18,6	39,3	10,5	0,55	39,0	1,16	7,55	18,0
	2001	21,1	2,57	69,5	4,28	19,2	28,4	12,3	1,59	40,6	2,51	6,43	22,8
	2007	20,3	1,00	67,6	4,35	16,3	26,1	14,7	0,47	44,1	2,78	10,9	25,8

Graf 11. Hodnocení obsahu přístupného zinku (Zn) podle kategorií zásobenosti (Neuberg, 1990)

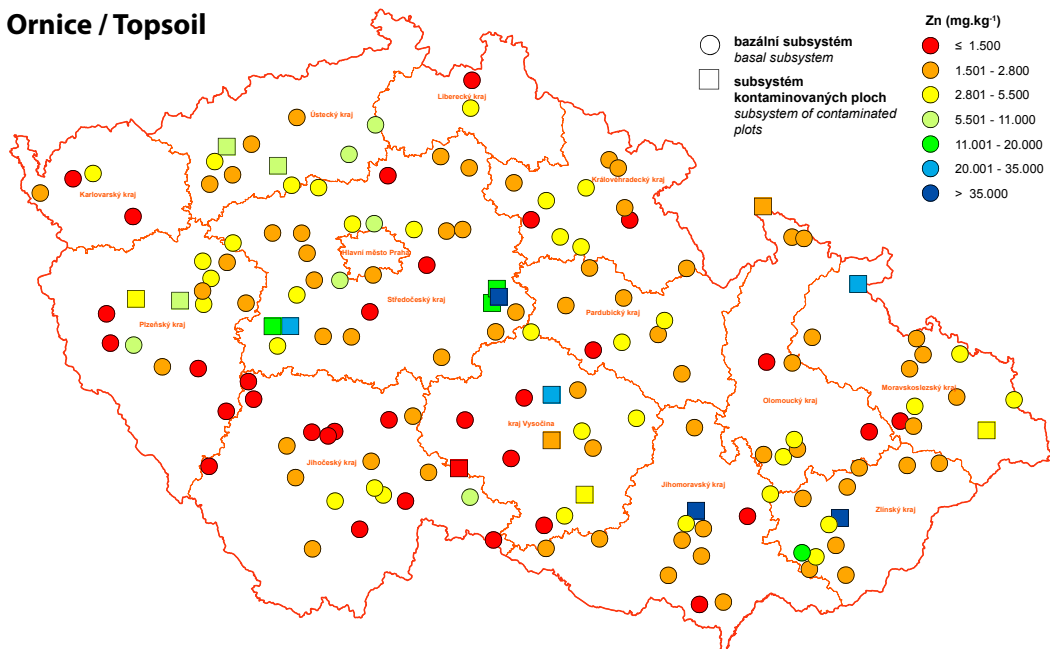
Figure 11. The content evaluation of available zinc (Zn) according to the supplementation class (Neuberg, 1990)



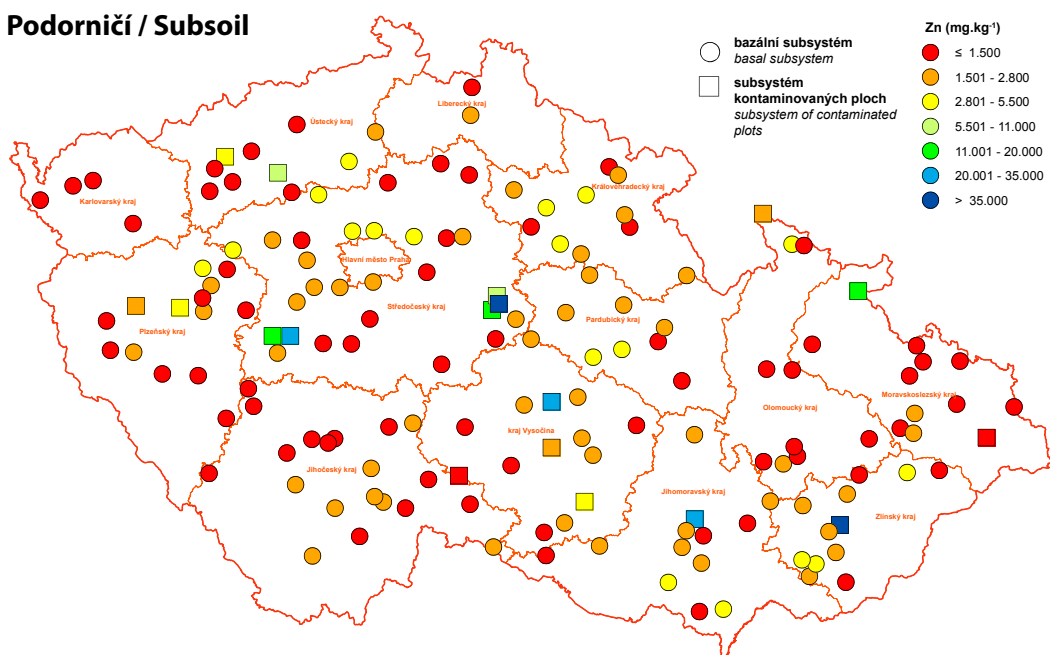
Mapka 12. Obsah přístupného zinku (Zn) v ornici a podorníči orných půd základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg^{-1})

Map 12. The content of available zinc (Zn) in topsoil and subsoil of arable soils within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg^{-1})

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



5 Rizikové prvky

Ladislav Kubík

Rizikové prvky patří do skupiny tzv. těžkých kovů, což jsou chemické prvky, zejména přechodné kovy, některé polokovy, lanthanoidy a aktinoidy. Existuje mnoho různých definic, některé vyčleňují těžké kovy podle hustoty, jiné podle protonového čísla nebo atomové hmotnosti či podle toxicity. Jsou to látky vesměs cizorodé, které se mohou ve vyšších koncentracích významným způsobem podílet na kontaminaci životního prostředí, a tím i zemědělských půd. Některé z nich jsou však pro živé organismy ve stopových koncentracích nezbytné (železo, měď, zinek), ovšem při vyšších koncentracích jsou toxické, jiné jsou jedovaté při všech koncentracích (olovo, rtuť, kadmium). Velká část těžkých kovů rozptýlených nyní v půdě, atmosféře a organismech se na svoje místo dostala zásluhou lidské činnosti, v některých případech (olovo, rtuť) je jejich množství v biologických cyklech několikasetnásobně vyšší než by odpovídalo přirozenému pozadí.

V přirozených podmínkách se nacházejí v nevelkých množstvích, ale díky antropogenním vlivům se jejich obsah v půdě zvyšuje, a to zejména v povrchové vrstvě humózního horizontu. S tím souvisí i toxicita těžkých kovů, která je úměrná jejich setrvání v půdě. Akumulace a geochemické cykly těžkých kovů v půdě závisí rozhodujícím způsobem na hodnotě pH půdy – pokud dojde k okyselení, např. v důsledku kyselých dešťů, těžké kovy se uvolňují a jsou více pohyblivé v půdním roztoku a snáze přijatelné rostlinami, případně vyplavované do spodních vod. Kumulace těžkých kovů v půdě má výrazný ekologický dopad.

Každá půda se vyznačuje určitou požadovou hodnotou těžkých kovů, která vyjadřuje jejich přirozený obsah. V důsledku antropogenní činnosti dochází k pronikání těžkých kovů do půdního prostředí a zvyšování jejich hladiny nad úroveň pozadí. Jedná se zejména o produkty průmyslové činnosti, dopravy a energetiky. Za nejzávažnější zdroj kontaminace jsou považovány imise, které zasahují celou biosféru, a přitom dlouhodobě negativně ovlivňují faktory půdní úrodnosti.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) sleduje v zemědělských půdách tyto těžké kovy: Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn a Hg. Jejich obsahy jsou stanovovány ve výluhu lučavky královské a následně hodnoceny podle limitů uvedených ve vyhlášce č. 13/1994 Sb.



Příprava (mineralizace a následná filtrace) půdních vzorků ke stanovení rizikových prvků v lučavce královské v NRL ÚKZÚZ Brno.

Preparation (mineralization and filtration) of soil samples for determination of hazardous elements in Aqua Regia in the ÚKZÚZ National Reference Laboratory in Brno.

5 Hazardous elements

Hazardous elements belong to the group of so called heavy metals, which are chemical elements especially transition metals, some semi-metals, lanthanides and actinides. There are a lot of different definitions, some of them setting apart the heavy metals according to their density, other according to protonic number or atomic mass or toxicity. These elements are mainly extraneous elements which, in a higher concentration, may significantly partake in contamination of environment and thereby also of agricultural soils. However, some of them being in trace concentrations (iron, copper, zinc) necessary for living organisms, are nevertheless toxic in higher concentrations; others are toxic in all concentrations (plumbum, mercury, cadmium). Nowadays, a large number of heavy metals dispersed in soil, atmosphere and organisms come to their place owing to human activities, in some cases (plumbum, mercury) their amount in biological cycles is several hundredfold higher than it should correspond to its natural background.

In natural conditions they occur in small amounts but due to anthropogenic influences their content in soil is increasing, mainly on a surface layer of humic horizon. This also relates to the toxicity of heavy elements, which is directly proportional to persistence of heavy metals in soil. An accumulation and geochemical cycles of heavy metals in soils crucially depend on the value of soil pH; in case of acidification (e.g. as a result of acid rains) heavy metals are released and they are more mobile in soil solution as well as more easily acceptable by plants. The cumulation of heavy metals in soil has got a significant ecological impact.

Each soil is distinguished by particular background value, which represents its natural content. As a result of anthropogenic activity heavy metals infiltrate into the soil environment and their level above the background increase as well. It concerns mainly the products of industrial activities, transport and energetic. The imissions are being considered as the most serious contamination source interfering the whole biosphere and negatively influencing the factors of soil fertility in the long term.

The Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture (ÚKZÚZ) monitors these heavy metals in agricultural soils: Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, V, Zn, and Hg. Their contents are determined in aqua-regia mineralisates and subsequently evaluated according to the limits set down in Decree No. 13/1994 Coll.



5.1 Hliník (Al)

Aluminium (Al)

Hliník je třetí nejrozšířenější prvek (po kyslíku a křemíku) a nejrozšířenější ze všech kovů na Zemi. Tvoří kolem 8 % zemské kůry a je především vázán v oxidech a v hliníkokřemičitanech. Ve sloučeninách se vyskytuje pouze v mocenství Al^{3+} . Nejznámější rudou s vysokým obsahem hliníku je bauxit $Al_2O_3 \cdot 2 H_2O$. Antropogenním zdrojem hliníku jsou odpadní vody z povrchové úpravy hliníku a jeho slitin, z výroby papíru, kůže, barviv aj.

Jde o prvek, který je v půdě v neutrálním rozsahu pH velmi málo rozpustný až nerozpustný. Jeho rozpustnost se značně zvyšuje v kyselém ($pH < 6$) a alkalickém ($pH > 8$) prostředí a/nebo v přítomnosti anorganických a organických komplexotvorných ligandů. Vlivem kyselých srážek se zvyšuje množství volného hliníku v půdě až na hodnoty 200 mg.kg^{-1} a může následně docházet k migraci hliníku v půdě do povrchových i podzemních vod. Toxickému působení Al se lze bránit pomocí vápnění.

Sloučeniny hliníku ve vyšších koncentracích jsou toxické pro většinu rostlin a pravděpodobně i pro savce. Rostliny jsou na obsah Al různě citlivé např. ječmen, řepka, hořčice a pšenice jsou citlivé, zatímco sója a pohanka již méně. Rostliny tolerantní vůči hliníku dokáží hliník z půdy akumulovat ve svých pletivech, vyšší koncentrace hliníku lze nalézt v zelenině (až 80 mg.kg^{-1}). Rostlinou přijatý Al se hromadí v kořenech, omezuje jejich růst a brzdí příjem jiných iontů, hlavně fosforu. Hliník se nepovažuje u člověka za esenciální prvek. Existuje u něj silné podezření, že jeho případný zvýšený výskyt v krvi lidí může být příčinou vzniku Alzheimerovy choroby tím, že likviduje mozkové a nervové buňky.

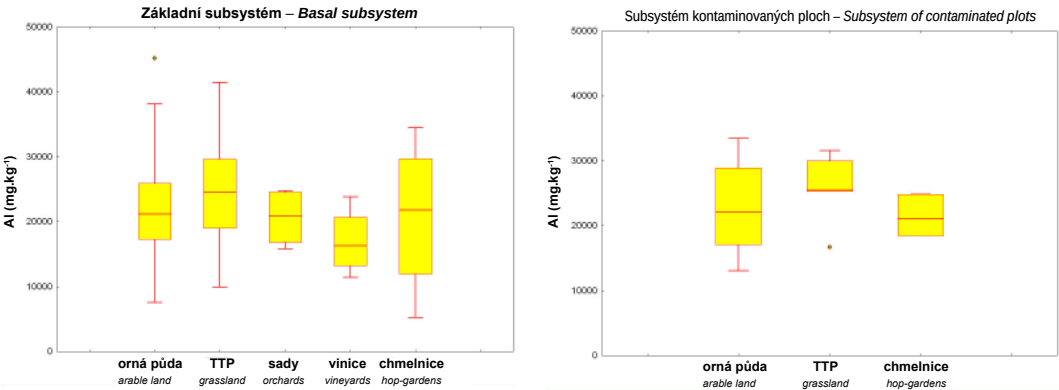
Tabulka 12. Deskriptivní statistika obsahu hliníku (Al) na zemědělských půdách BMP (mg.kg^{-1}) – ornice

Table 12. Descriptive statistic of the content of aluminium (Al) in arable soils of BSM system (mg.kg^{-1}) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992												
	1995	19966	7260	43000	16175	19600	23425	21664	6280	41300	15475	21850	27350
	2001	21192	8030	54000	17225	20800	24775	22059	7120	42800	16525	22850	26600
	2007	21475	7880	51300	17200	21000	25400	23599	7280	45600	17975	22700	28125
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	18512	9541	36280	13492	16225	22877	25938	21415	30170	22533	25842	29396
	2001	21909	12400	35900	16475	22000	25225	31588	29500	33200	30250	31650	33125
	2007	21544	12900	33800	15850	20000	26400	32013	29700	33800	30925	32150	33550

Graf 12. Krabicové grafy obsahu hliníku (Al) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

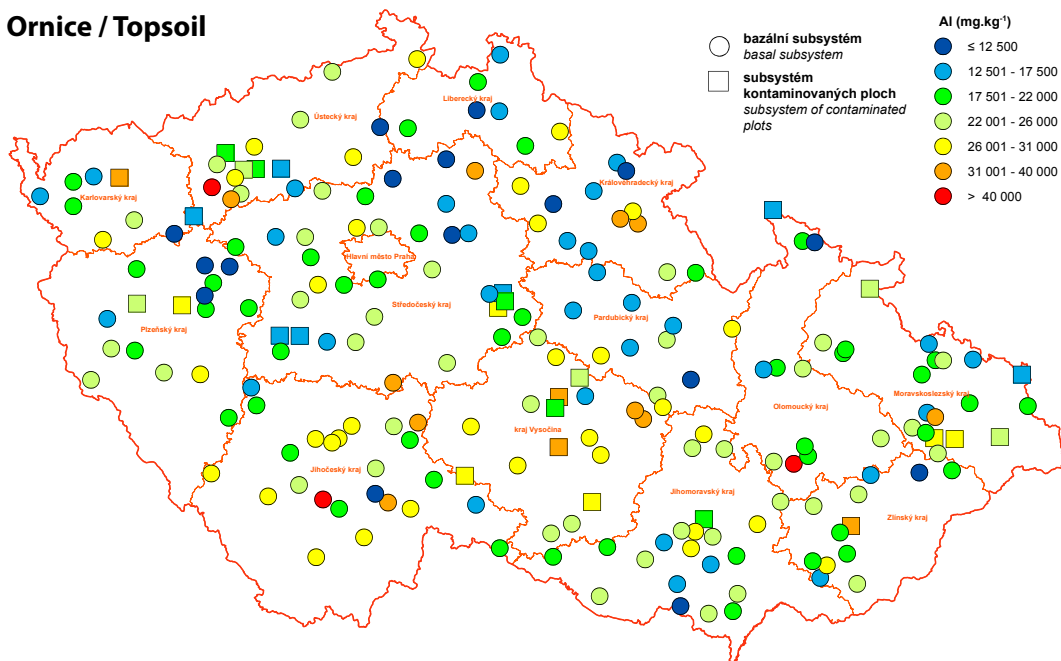
Figure 12. Boxplots of the aluminium (Al) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem



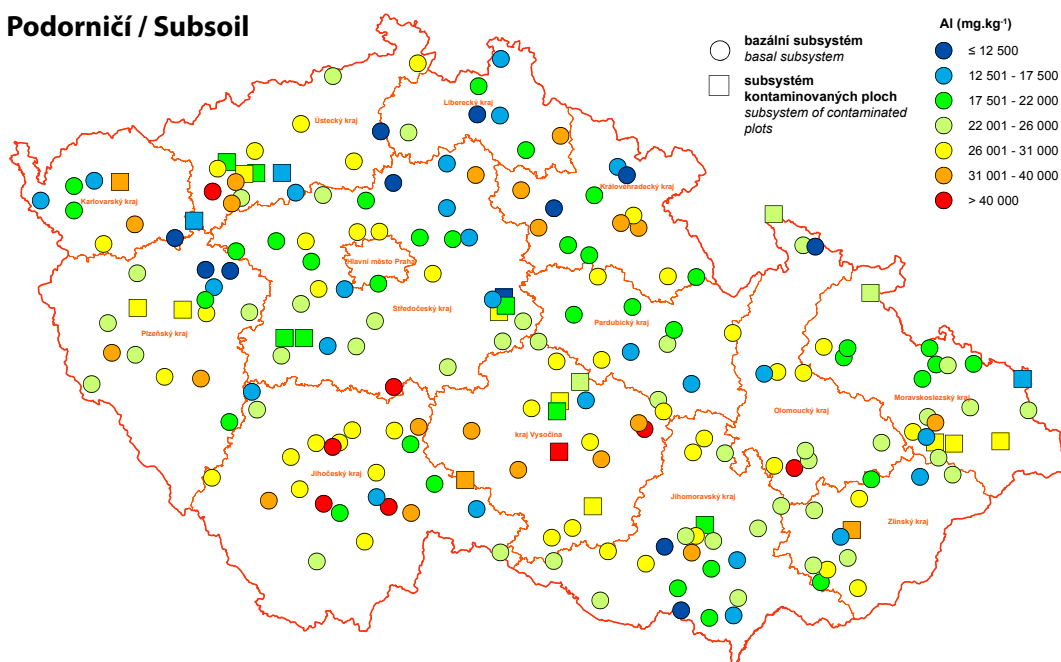
Mapka 13. Obsah hliníku (Al) v ornici a podorničí základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)

Map 13. The content of aluminium (Al) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



Arsen je v zemské kůře značně vzácným prvkem, průměrný obsah činí pouze 1,5–3,0 mg.kg⁻¹. Nejvýznamnějším nerostem arsenu je arsenopyrit (FeAsS) a také löllingit (FeAs₂). V horninách se vyskytuje jako příměs především v rudách mědi, olova, niklu, kobaltu, antimonu, stříbra, zlata a železa a jako stopová příměs v mnoha ložiscích uhlí. Do životního prostředí se arsen dostává hlavně emisemi ze spalování uhlí a zpracování rud. Je také součástí některých insekticidů a fosforečných hnojiv.

Anorganický arsen se vyskytuje v půdách zcela přirozeně. Jeho obsah v půdě má široké rozpětí od 1 do 40 mg.kg⁻¹ (průměrně 3–4 mg.kg⁻¹). Jeho mobilita v půdě je malá a téměř se nevyluhuje, do okolního prostředí se dostává větrnou nebo vodní erozí. Jeho formy v půdě se mohou měnit reakcí s kyslíkem nebo s jinými molekulami, nebo činností půdních bakterií. As se v půdě vyskytuje hlavně ve formě arsenitanů a arseničnanů Fe a Al.

Arsen nemůže být z životního prostředí odstraněn, může pouze měnit svoji formu. Obecně je arsen a jeho sloučeniny vysoce toxický, řadí se mezi látky mutagenní, teratogenní a karcinogenní. Sloučeniny As³⁺ jsou asi pětikrát až dvacetkrát toxičtější než As⁵⁺. V rostlinách se As akumuluje v nepatrných množstvích od 0,09–1,5 mg.kg⁻¹. Toxické účinky lze zmírnit aplikací síry a dobrou výživou rostlin fosforem. U lidí může arsen způsobit rakovinu plic a kůže, zvyšuje pravděpodobnost nádorů jater, ledvin a močového měchýře.

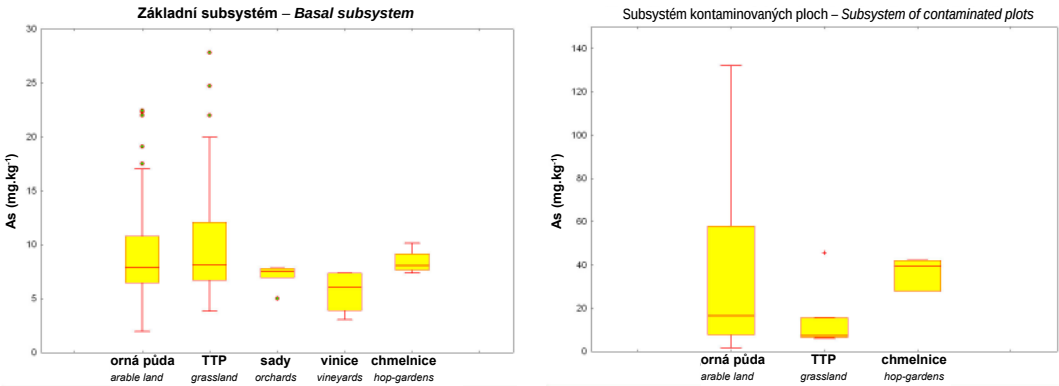
Tabulka 13. Deskriptivní statistika obsahu arsenu (As) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 13. Descriptive statistic of the content of arsenic (As) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

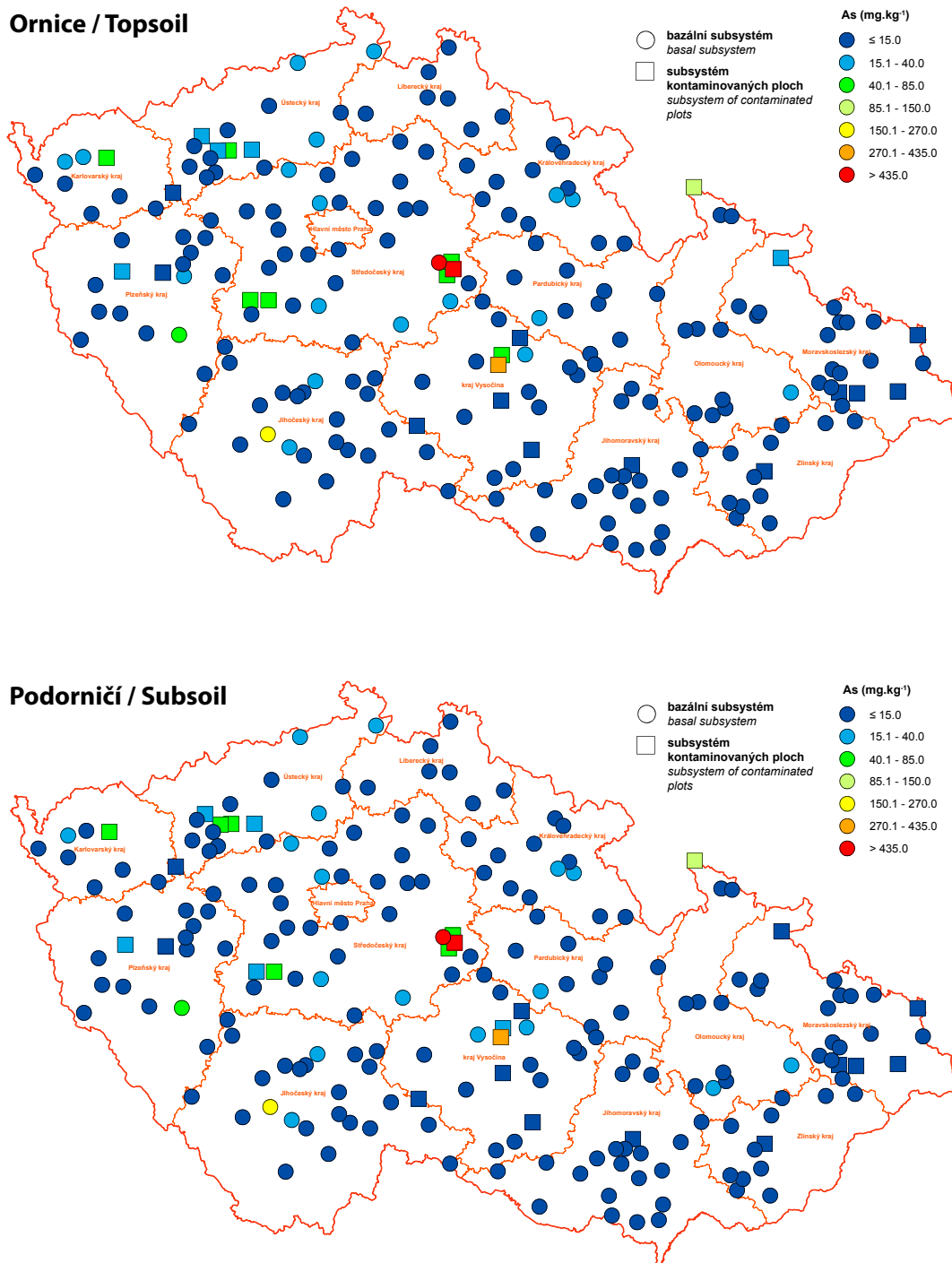
	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992												
	1995	9,62	1,90	212,7	5,40	7,20	9,63	8,99	2,90	37,70	4,98	7,25	10,20
	2001	10,67	2,66	186,2	6,53	8,28	11,06	9,42	2,73	41,97	5,11	7,00	10,33
	2007	11,17	2,12	250,0	6,39	8,13	11,23	9,47	1,05	45,50	4,85	6,96	10,25
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	64,18	4,34	433,4	8,69	32,32	67,96	6,68	3,45	9,85	3,54	6,70	9,83
	2001	85,94	4,58	536,0	9,31	31,06	56,18	7,66	3,30	12,02	3,56	7,70	11,79
	2007	78,89	2,60	461,0	8,06	36,70	64,80	6,14	1,05	11,20	1,05	6,62	10,62

Graf 13. Krabicové grafy obsahu arsenu (As) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 13. Boxplots of the arsenic (As) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem



Mapka 14. Obsah arsenu (As) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)
 Map 14. The content of arsenic (As) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)



5.3 Beryllium (Be)

Beryllium (Be)

Beryllium je v zemské kůře poměrně málo zastoupené (3,0–10,0 mg.kg⁻¹). Díky jeho poměrně velké reaktivitě se v přírodě setkáváme pouze se sloučeninami berylia. Ve všech svých sloučeninách se vyskytuje pouze v mocenství Be²⁺. Nejdůležitějším minerálem s obsahem berylia je aluminosilikát beryl. Be se vyskytuje jako nečistota u uhlí a palivovém oleji. Jejich spalováním je pak vázáno na částice prachu a popelu a uvolňováno do ovzduší.

Beryllium se ve formě různých chemických sloučenin přirozeně vyskytuje v půdě, kde může jeho koncentraci zvyšovat spád z průmyslových podniků. Průměrný obsah berylia v půdách se pohybuje kolem 0,05–2,2 mg.kg⁻¹. Větší část Be v půdě je nerozpustná ve vodě a zůstává navázána na půdní částice.

Beryllium je pro rostliny cizorodým prvkem, který se v nich obvykle vyskytuje v nízkých koncentracích (v přirozených podmínkách 0,001–0,4 mg.kg⁻¹ sušiny). Schopnost kumulovat zvýšené množství berylia mají zejména vikvovité a brukvovité rostliny. Toxické koncentrace Be v rostlině se pohybují v rozmezí 10–150 mg.kg⁻¹ sušiny. Beryllium brzdí klíčení semen a příjem vápníku a hořčíku kořeny, narušuje příjem fosforu a poškozuje některé enzymy a proteiny. Beryllium a především jeho soli jsou z hlediska humánní medicíny velmi rizikové, jsou jak přímo toxické, tak potenciálně karcinogenní.

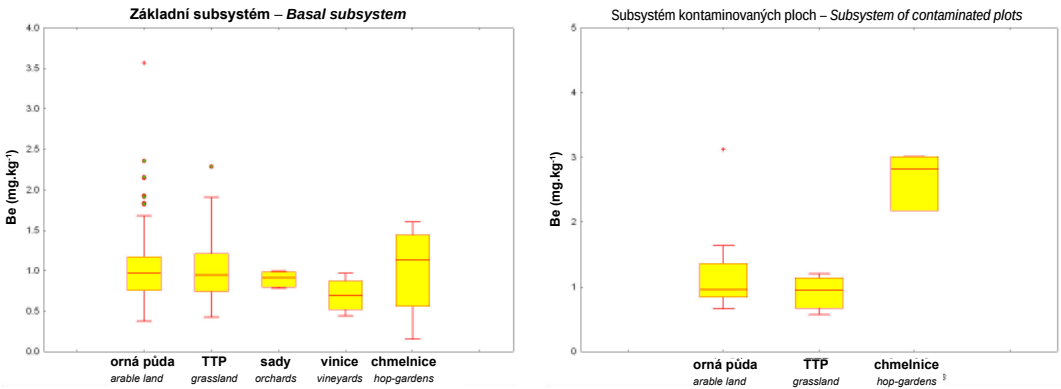
Tabulka 14. Deskriptivní statistika obsahu berylia (Be) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 14. Descriptive statistic of the content of beryllium (Be) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	1,27	0,48	4,64	0,87	1,16	1,47	1,17	0,10	2,38	0,78	1,22	1,50
	1995	1,26	0,40	3,50	1,00	1,20	1,50	1,29	0,50	2,30	0,90	1,30	1,63
	2001	1,28	0,38	3,94	1,00	1,22	1,48	1,10	0,40	2,60	0,72	0,95	1,57
	2007	1,02	0,43	3,71	0,75	0,95	1,13	1,12	0,36	2,27	0,93	1,17	1,30
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	2,00	0,61	14,96	0,90	1,07	1,62	1,57	1,25	1,99	1,30	1,51	1,85
	2001	2,01	0,83	10,96	1,16	1,26	1,79	1,51	1,13	1,83	1,21	1,53	1,83
	2007	1,62	0,63	10,50	0,80	0,93	1,24	1,57	1,49	1,69	1,50	1,54	1,61

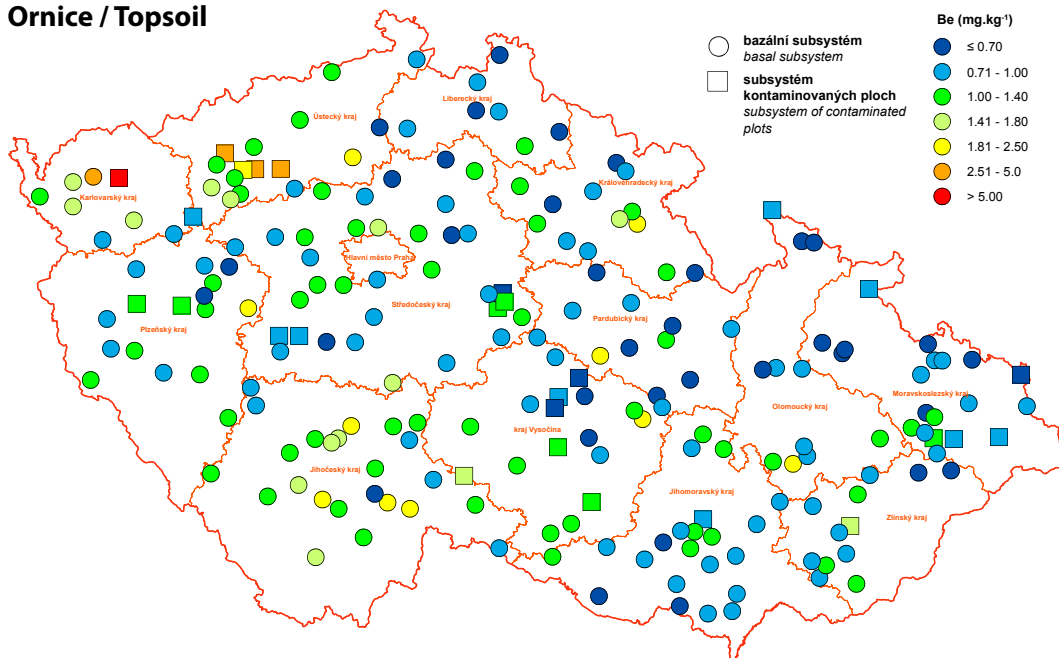
Graf 14. Krabicové grafy obsahu berylia (Be) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 14. Boxplots of the beryllium (Be) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem

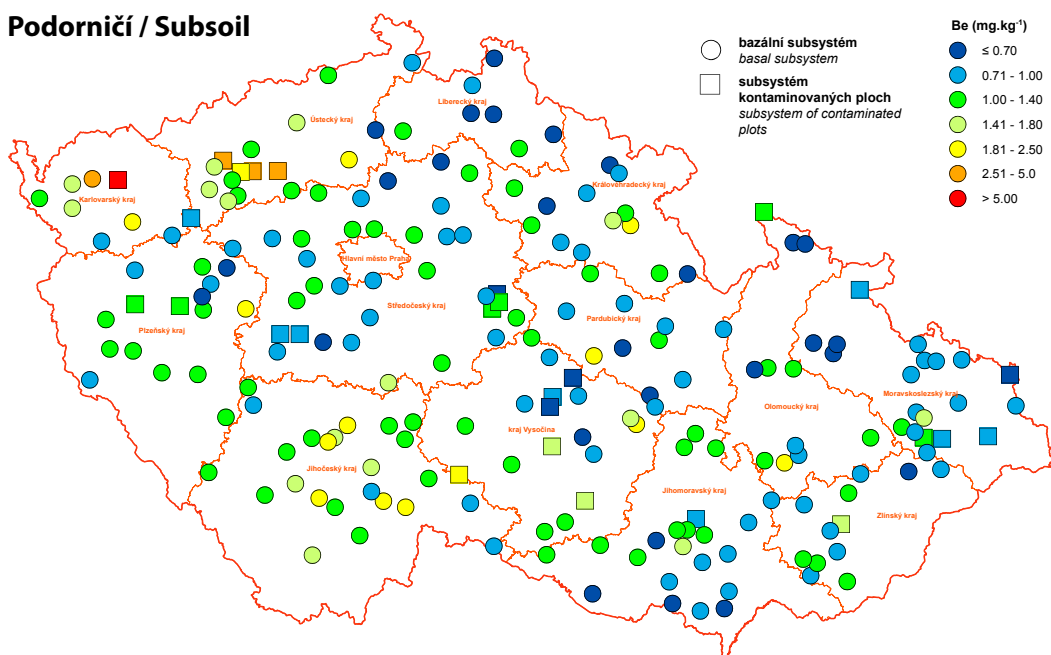


Mapka 15. Obsah berylia (Be) v ornici a podorničí základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg^{-1})
 Map 15. The content of beryllium (Be) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg^{-1})

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



5.4 Kadmium (Cd)

Cadmium (Cd)

V zemské kůře je kadmium vzácným prvkem (průměrný obsah 0,1–0,5 mg.kg⁻¹). V přírodě se kadmium nachází v minerálu greenockitu (CdS), vyskytuje se jako příměs rud zinku a někdy i olova. Z přirozených zdrojů kadmia jsou nejvýznamnější sopečné výbuchy. Emise kadmia do ovzduší způsobené člověkem jsou přibližně 8krát vyšší než emise přirozené. Významným zdrojem Cd je těžba, výroba a jeho zpracování, spalování fosilních paliv a komunálního a nemocničního odpadu.

V půdě a horninovém prostředí se Cd vyskytuje v malém množství. Do půdy se dostává hlavně atmosférickou depozicí, hnojením fosfátovými hnojivy kontaminovanými kadmiiem a zavážením čistírenských kalů na pole. Průměrný obsah kadmia v půdě v přirozených podmínkách činí 0,01–1,1 mg.kg⁻¹. V půdách ČR je (mimo zdroje kontaminace) běžný obsah 0,2–1,5 mg.kg⁻¹. Za posledních 150 let se podle literárních údajů zvýšil obsah kadmia v půdách o 27–55 %. Cd se v půdě kumuluje nejvíce ve vrstvě 0–5 cm a s přibývajícím hloubkou jeho koncentrace klesá. Pohyb Cd v půdě ovlivňuje pH, koncentrace Cl⁻ iontů, množství a obsah jílových minerálů, kvalita humusových látek aj. S rostoucí hodnotou pH rozpustnost sloučenin Cd klesá, nejpohyblivější je při pH 4,5–5,5. Cd se značně imobilizuje vápněním, jílovými minerály a huminovými kyselinami.

Rostlina přijímá Cd převážně jako Cd²⁺ a to buď z půdy nebo atmosféry. Příjem z půdy převládá až při vysokém obsahu Cd v půdě a při kyselém pH. Rostliny jsou vůči Cd různě citlivé. Toxicita kadmia se projevuje omezeným růstem, poškozením kořenů, červenohnědým zbarvením listů, které předchází chlorózu. Vegetativní části rostlin obsahují větší množství Cd než semena a plody. Pro živočichy je Cd vysoce toxické, negativně ovlivňuje činnost ledvin, plic, jater i kardiovaskulárního systému. Je zařazeno podle klasifikace EPA jako pravděpodobný lidský karcinogen. Akumulace organismy je velmi vysoká; dochází ke hromadění kadmia v potravních řetězcích – tzv. bioakumulaci.

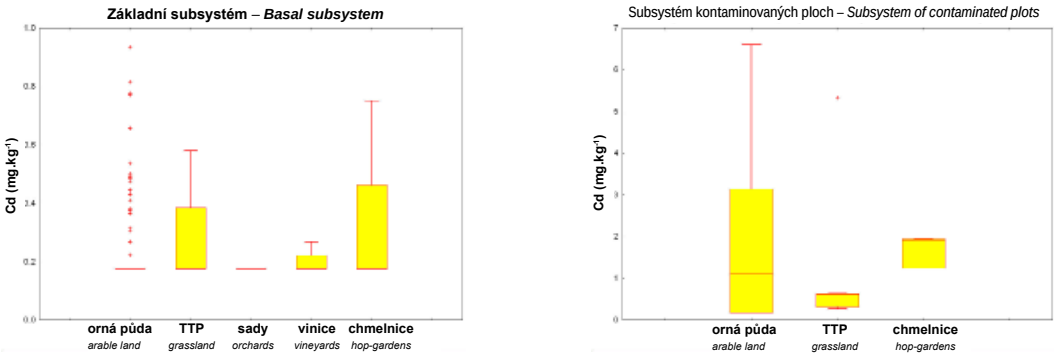
Tabulka 15. Deskriptivní statistika obsahu kadmia (Cd) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 15. Descriptive statistic of the content of cadmium (Cd) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	0,28	0,12	1,14	0,12	0,28	0,36	0,25	0,12	0,94	0,12	0,24	0,34
	1995	0,29	0,05	1,20	0,20	0,20	0,40	0,25	0,10	0,80	0,20	0,20	0,30
	2001	0,27	0,05	1,11	0,18	0,24	0,33	0,26	0,08	0,87	0,16	0,20	0,31
	2007	0,23	0,18	0,99	0,18	0,18	0,18	0,21	0,18	0,80	0,18	0,18	0,18
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	2,05	0,27	6,66	0,55	1,30	2,59	4,00	0,19	9,45	0,26	2,85	7,97
	2001	1,84	0,25	5,98	0,51	1,05	2,73	3,23	0,21	6,71	0,21	2,89	6,26
	2007	1,76	0,18	5,39	0,39	1,13	2,45	3,39	0,18	6,71	0,18	3,30	6,62

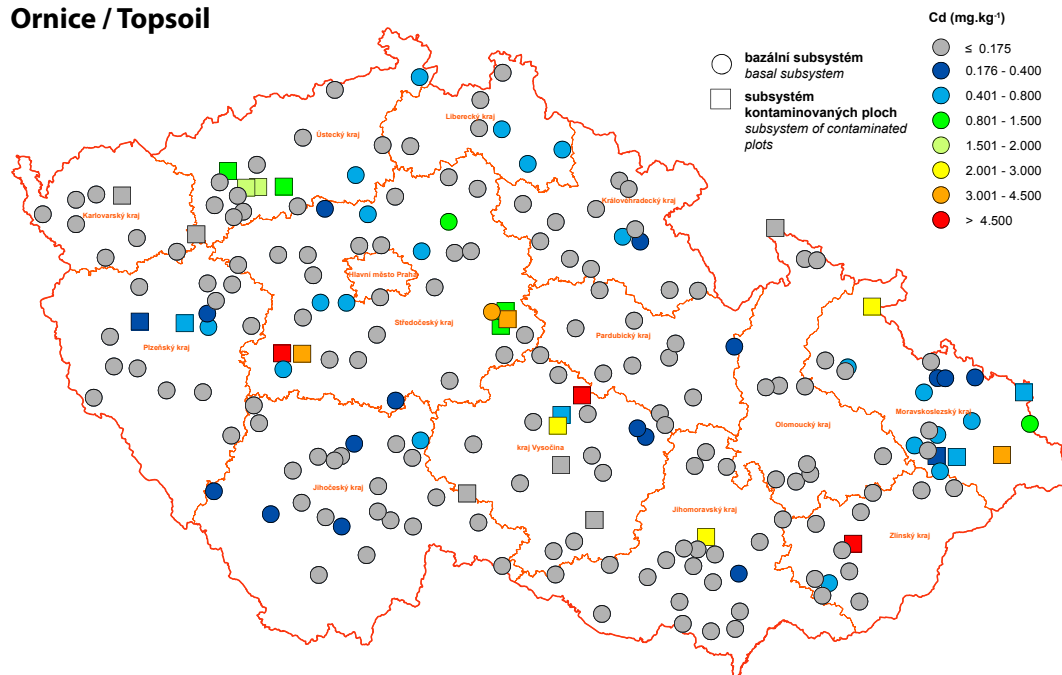
Graf 15. Krabicové grafy obsahu kadmia (Cd) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 15. Boxplots of the cadmium (Cd) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem

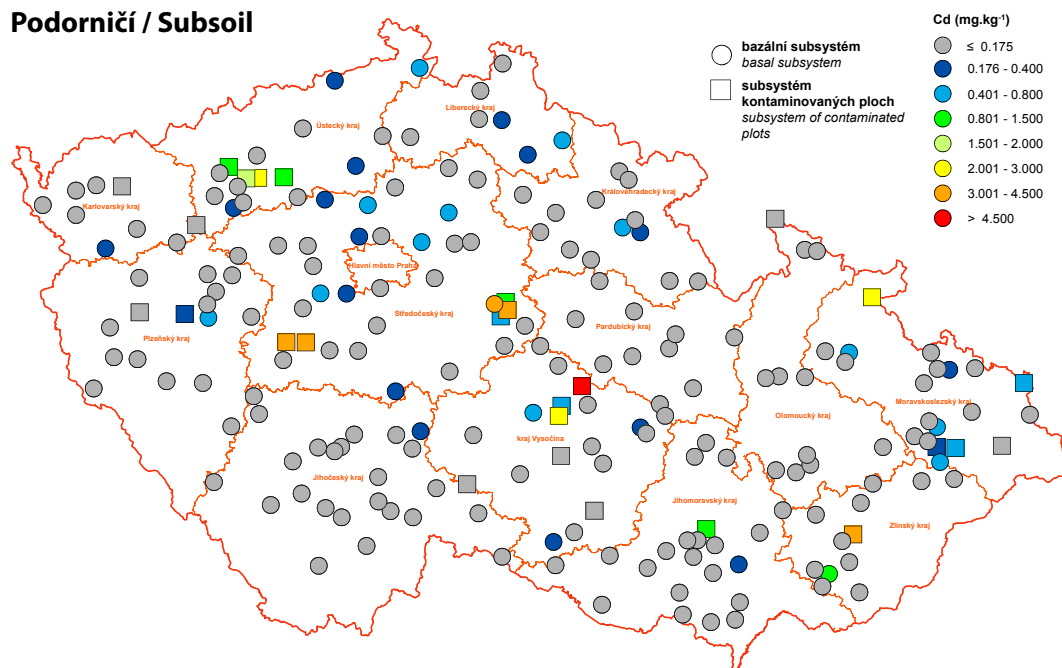


Mapka 16. Obsah kadmia (Cd) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)
 Map 16. The content of cadmium (Cd) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



V zemské kůře činí průměrný obsah kobaltu kolem 29 mg.kg⁻¹, doprovází niklové rudy a nalezneme jej i jako doprovodný prvek v sulfidických rudách mědi nebo olova. Nejdůležitější nerosty kobaltu jsou smaltin CoAs₃, linnéit Co₃S₄ a kobaltit CoAsS. Kobalt se dostává do prostředí spalováním fosilních paliv (kouř z topenišť, výfukové plyny).

V půdách ČR je průměrné zastoupení kobaltu 14 mg.kg⁻¹, celosvětový průměr činí 8 mg.kg⁻¹. Při nižším pH je v půdním roztoku pohyblivější. Z půdy může být odčerpáván rostlinami nebo pronikat do podzemních vod.

Kobalt je přijímán rostlinou jak kořeny tak i listy, jeho koncentrace v pletivech se pohybuje v rozmezí 0,2–0,5 mg.kg⁻¹. Významná je jeho schopnost tvořit komplexní sloučeniny s různými organickými radikály. Toxický efekt u rostlin se projevuje chlorózami. Pro živočichy, včetně člověka, je Co důležitým stopovým prvkem. Nadměrné obsahy však působí toxicky, zejména na plíce.

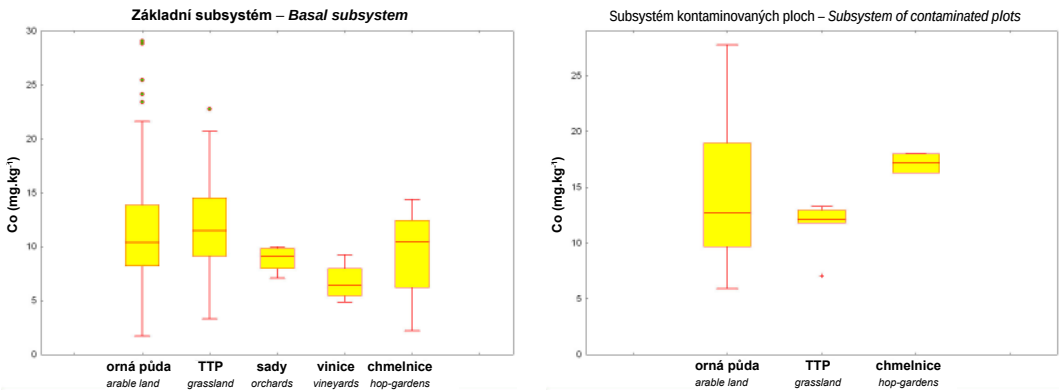
Tabulka 16. Deskriptivní statistika obsahu kobaltu (Co) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 16. Descriptive statistic of the content of cobalt (Co) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc.)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	12,82	2,10	42,20	9,50	12,20	15,48	16,00	0,50	46,90	8,13	15,35	20,05
	1995	10,50	1,70	37,00	7,60	9,80	12,73	12,79	2,10	31,50	6,28	13,40	15,43
	2001	10,70	2,16	33,32	7,86	9,99	12,54	12,73	2,49	30,56	6,89	13,08	15,76
	2007	10,94	1,65	37,40	8,24	10,10	13,13	13,45	3,09	35,90	8,07	12,70	16,60
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	15,92	5,82	35,41	11,22	14,54	19,62	13,22	12,45	14,35	12,86	13,11	13,35
	2001	13,70	5,63	27,84	9,56	12,50	15,57	11,46	11,13	11,67	11,40	11,49	11,57
	2007	13,80	5,83	28,20	9,49	12,70	16,43	11,61	11,10	12,00	11,30	11,65	11,93

Graf 16. Krabicové grafy obsahu kobaltu (Co) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

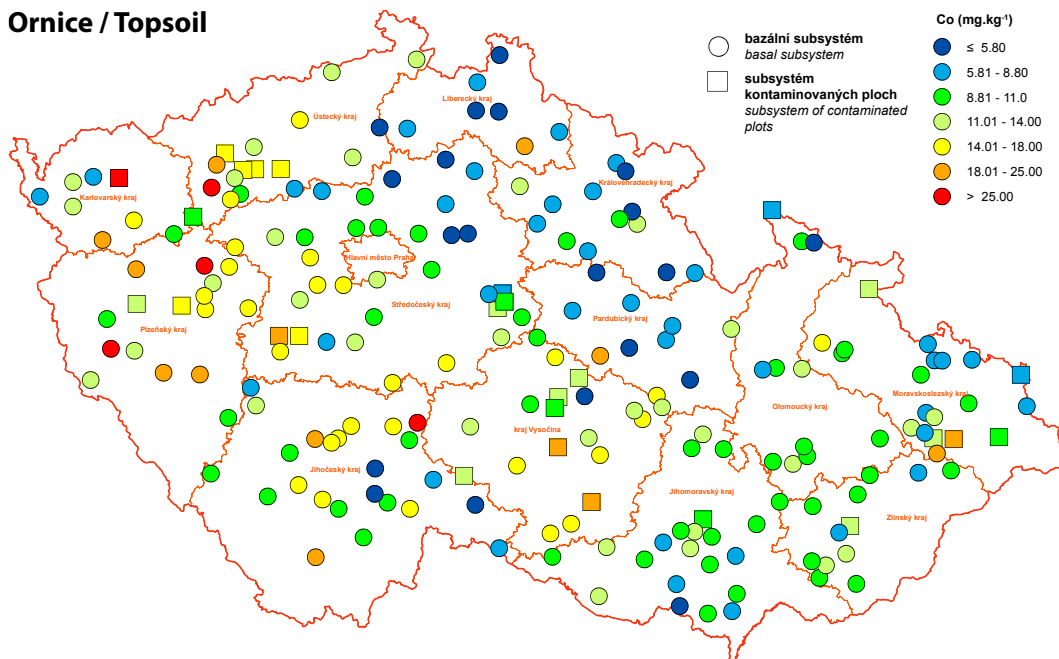
Figure 16. Boxplots of the cobalt (Co) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem



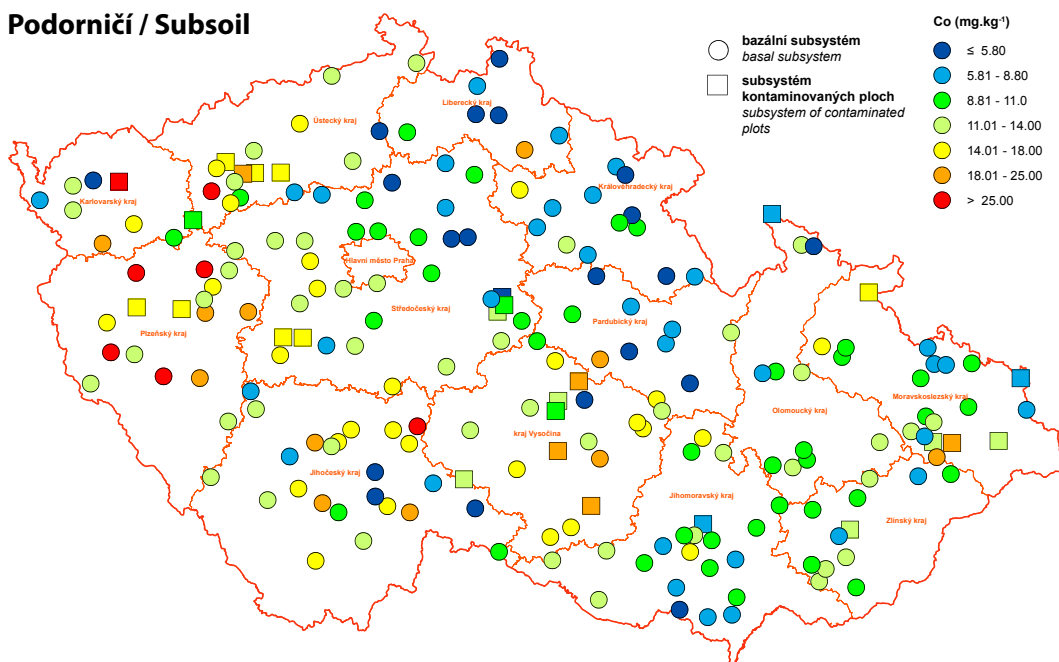
Mapka 17. Obsah kobaltu (Co) v ornici a podorničí základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)

Map 17. The content of cobalt (Co) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



Chrom patří mezi prvky s poměrně značným zastoupením v zemské kůře (průměrný obsah 0,1–0,2 g.kg⁻¹). V přírodě se chrom vyskytuje velmi často ve formě chromitu FeCr₂O₄ a krokoitu PbCrO₄. Chrom se nachází v sopečném prachu a plynech. Všechn chrom přírodního původu je ve stavu Cr³⁺. Velkým zdrojem Cr jsou prachové částice uvolňované při spalování fosilních paliv, dále cementárny, spalovny domovních odpadů a odpadní kaly, výfukové plyny z automobilů s katalyzátorem aj.

Chrom je přítomen ve všech typech půd (5–120 mg.kg⁻¹). Pohyblivost Cr v půdě závisí na pH, stupni rozkladu organické hmoty, obsahu jílových minerálů a redoxpotenciálu půdy. Většina Cr je v málo pohyblivé formě kationtů Cr³⁺ vázaných na Fe a Al. V aerobních podmínkách se oxiduje na Cr⁶⁺, který je v kyselých a alkalických půdách velmi pohyblivý.

Rostliny kumulují Cr nejvíce v kořenech, méně pak v listech a stoncích, nejnižší obsahy byly zjištěny v zrnu. Chrom stimuluje vývoj rostlin a kladně působí na metabolismus cukrů. Toxicita závisí nejen na množství Cr, ale i na stupni jeho oxidace a přístupnosti přijatelných forem. Ovlivňuje intenzitu růstu. Pro člověka je toxický Cr⁶⁺, jeho negativní účinek má vliv na kůži, sliznice, zažívací trakt. Je také klasifikován jako karcinogen.

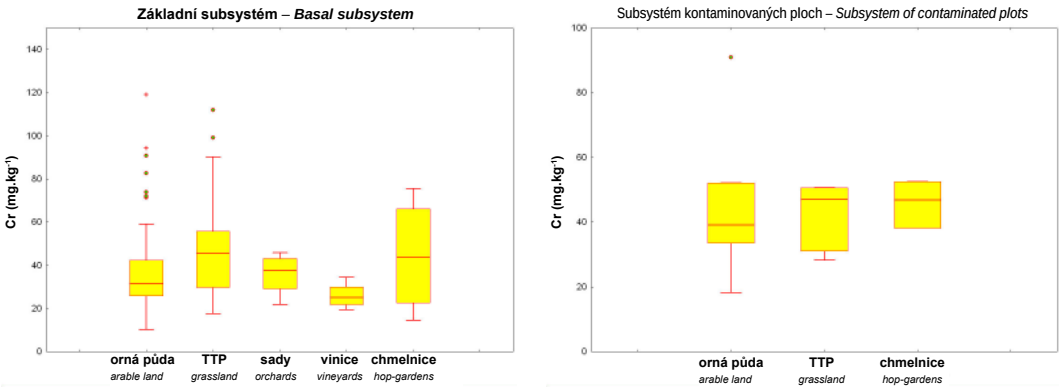
Tabulka 17. Deskriptivní statistika obsahu chromu (Cr) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 17. Descriptive statistic of the content of chromium (Cr) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Mmax)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	39,19	10,70	114,30	29,53	38,45	45,70	55,97	10,50	443,90	25,63	41,15	56,58
	1995	35,16	11,80	138,00	26,78	33,15	39,93	67,31	9,52	580,00	21,80	41,55	53,73
	2001	35,95	12,52	88,71	28,58	34,85	41,32	60,73	11,00	496,70	22,42	43,72	51,47
	2007	35,90	11,30	141,00	26,58	31,80	40,85	62,58	9,98	395,00	23,95	37,25	53,43
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	48,42	16,60	178,40	28,32	42,09	47,13	316,43	41,26	691,40	47,55	234,57	612,73
	2001	50,39	18,92	170,40	27,67	43,60	50,17	280,19	41,94	555,70	42,65	245,47	523,13
	2007	46,47	18,00	148,00	30,95	38,20	45,28	277,89	35,40	526,00	37,40	268,65	525,00

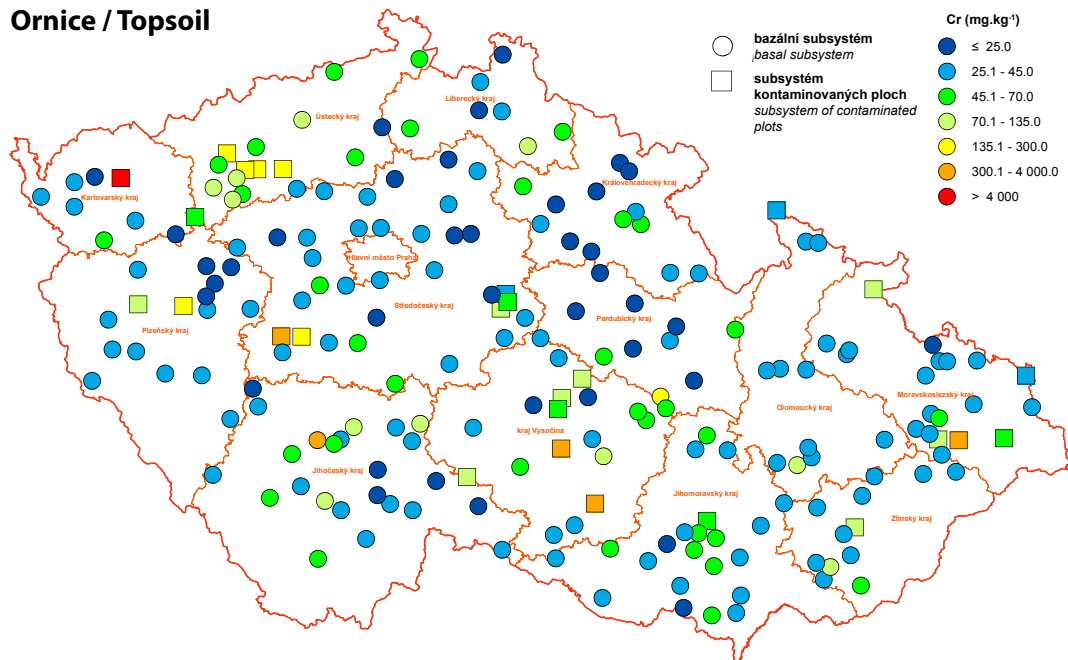
Graf 17. Krabicové grafy obsahu chromu (Cr) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 17. Boxplots of the chromium (Cr) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem

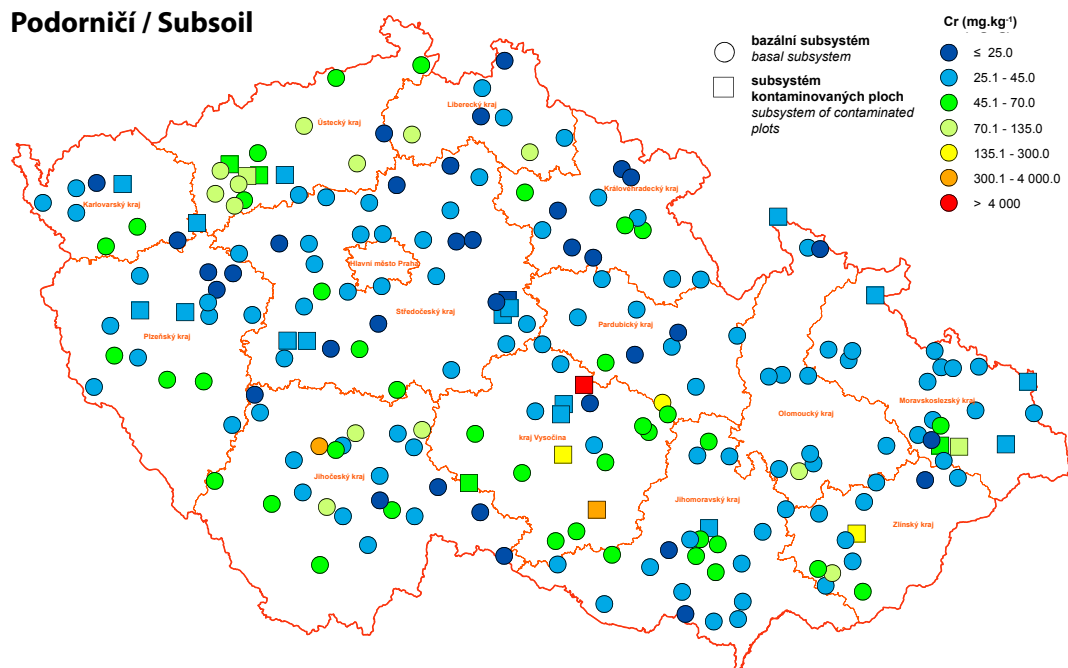


Mapka 18. Obsah chromu (Cr) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)
 Map 18. The content of chromium (Cr) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



5.7 Měď (Cu)

Copper (Cu)

Měď je v zemské kůře přítomna vzácně. Její obsah se odhaduje na 55–70 mg.kg⁻¹. Ryzí měď se v přírodě nachází vzácně, převážně se vyskytuje ve sloučeninách. Nejčastěji ji nacházíme ve formě sulfidů (např. covellin CuS, chalkopyrit CuFeS₂). Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje patří těžba a zpracování měděných rud, spalování fosilních paliv a odpadů, odpadní vody z povrchové úpravy kovů nebo aplikace algicidních preparátů.

Celkový obsah mědi v půdě je uváděn v rozmezí 2–180 mg.kg⁻¹. Vlivem biologické sorpce klesá její obsah s hloubkou profilu. V půdě se měď nachází ve formě kationtů Cu²⁺ a Cu⁺. Na pohyblivost mědi má vliv klesající pH, např. používání fyziologicky kyselých hnojiv. Měď je v půdách silně vázána na organické látky a jílové částice, proto nejvíce mědi je ve svrchní vrstvě půdy a nedochází k transportu hlouběji.

Měď je rostlinami přijímána jen v malém množství. Její obsah v rostlinách se pohybuje od 2–20 mg.kg⁻¹. U rostlin můžeme pozorovat jak deficienci Cu (Cu plní v rostlině funkci katalytického prvku), tak i její fytotoxicitu, která se projevuje chlorózou. Měď patří mezi esenciální prvky pro organismus živočichů i člověka. Jsou známy především projevy nedostatku mědi jako je např. anémie. Přebytek Cu je velmi vzácný. Při požití množství většího než 2 gramy Cu může nastat akutní otrava mědí a smrt.

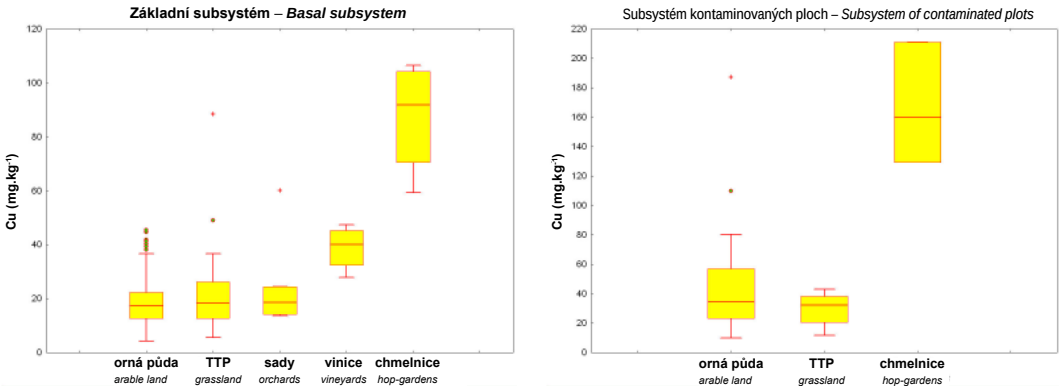
Tabulka 18. Deskriptivní statistika obsahu mědi (Cu) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 18. Descriptive statistic of the content of copper (Cu) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	20,25	4,90	52,20	13,60	19,50	24,18	19,65	5,20	57,10	11,25	16,85	24,88
	1995	18,62	3,75	49,00	12,10	17,80	22,40	19,64	4,48	54,50	10,95	18,45	24,95
	2001	17,76	4,04	165,1	12,25	16,79	20,74	20,06	4,37	49,91	11,43	16,56	23,13
	2007	18,39	4,80	54,70	12,80	17,20	22,00	19,73	4,12	47,50	11,62	16,90	24,65
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	56,82	9,00	238,3	26,80	35,99	67,55	42,24	22,85	65,60	24,82	39,47	60,26
	2001	52,44	9,75	234,4	22,44	36,67	54,52	38,13	22,33	54,62	23,07	37,49	53,08
	2007	50,42	9,37	193,0	23,88	35,95	60,55	39,55	21,00	57,80	22,17	39,40	57,38

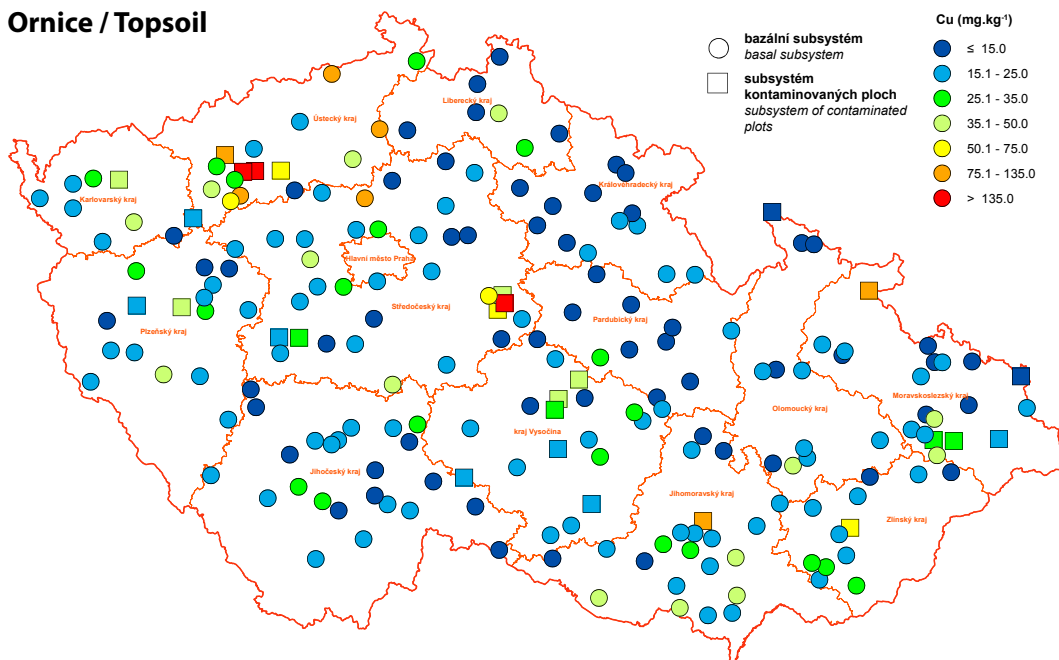
Graf 18. Krabicové grafy obsahu mědi (Cu) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 18. Boxplots of the copper (Cu) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem

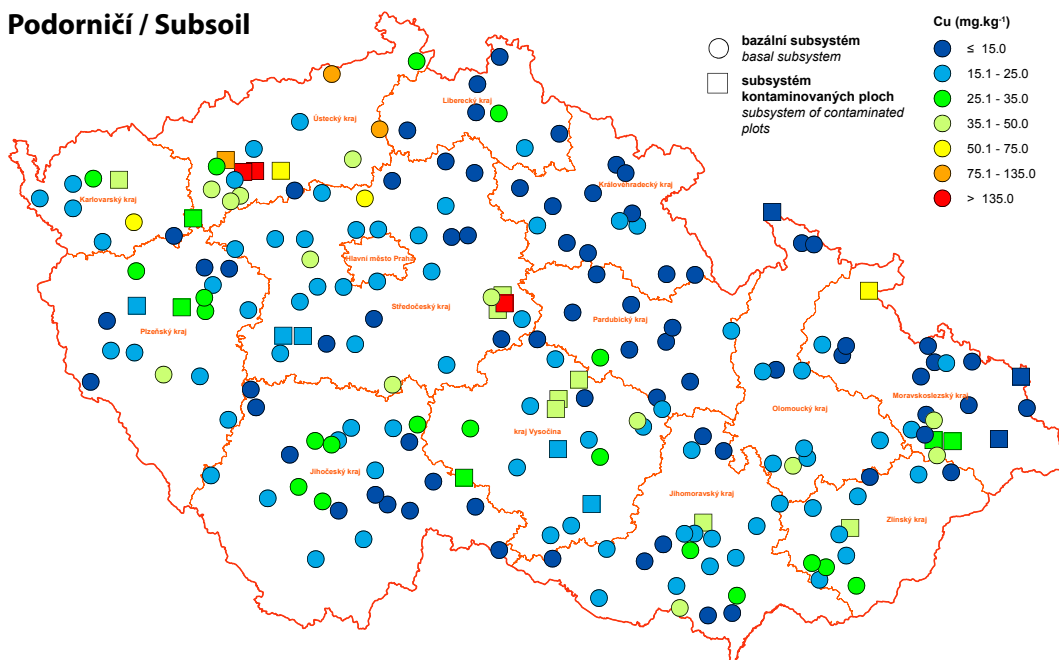


Mapka 19. Obsah mědi (Cu) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)
 Map 19. The content of copper (Cu) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



5.8 Molybden (Mo)

Molybdenum (Mo)

Molybden je v zemské kůře vzácný, jeho obsah se odhaduje na 1,5–8 mg.kg⁻¹. V rudách se vyskytuje jen v nízkých koncentracích, nejvýznamnější je molybdenit MoS₂.

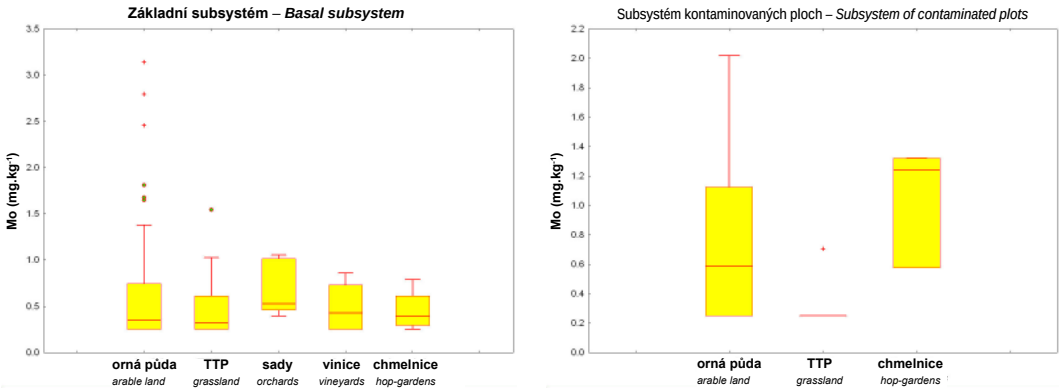
V porovnání s ostatními prvky je celkový obsah molybdenu v půdě malý, v průměru se jedná o 3 mg.kg⁻¹. V půdním prostředí se vyskytuje ve vodorozpustné, výměnné a nevýměnné formě. Rozpustnost a pohyblivost Mo v půdě závisí zejména na stupni nasycení sorpčního komplexu vápníkem, při vyšším obsahu se zvyšuje. Rovněž vyšší koncentrace fosfátových iontů a vyšší pH může příznivě působit na zvýšení přístupnosti molybdenu.

Molybden je přijímán rostlinami pravděpodobně jako aniont MoO₄²⁻. V rostlině je snadno pohyblivý a může do ní vstoupit jak kořeny, tak i povrchem nadzemních částí. Může být přijímán rostlinami ve vysokém množství bez toxického vlivu na růst a vývoj, hromadí se hlavně ve vegetativních částech. V praxi je běžná deficience Mo, toxické působení je pozorováno až při velmi vysokém obsahu. Pro živočišné organismy a člověka může být zvýšený obsah Mo nebezpečný a toxický (molybdenová podagra – nervové poruchy).

Tabulka 19. Deskriptivní statistika obsahu molybdenu (Mo) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice
Table 19. Descriptive statistic of the content of molybdenum (Mo) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992												
	1995	0,320	0,010	2,260	0,200	0,245	0,400	0,399	0,010	2,800	0,150	0,210	0,320
	2001	0,427	0,050	2,720	0,280	0,370	0,516	0,577	0,130	3,326	0,357	0,413	0,469
	2007	0,567	0,250	3,780	0,250	0,250	0,783	0,618	0,250	2,900	0,250	0,250	0,735
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	0,568	0,250	1,411	0,250	0,542	0,723	0,671	0,520	0,930	0,555	0,610	0,787
	2001	0,515	0,050	1,218	0,336	0,490	0,595	0,693	0,577	0,749	0,695	0,702	0,709
	2007	0,697	0,250	1,960	0,250	0,640	0,940	0,688	0,250	1,360	0,250	0,625	1,070

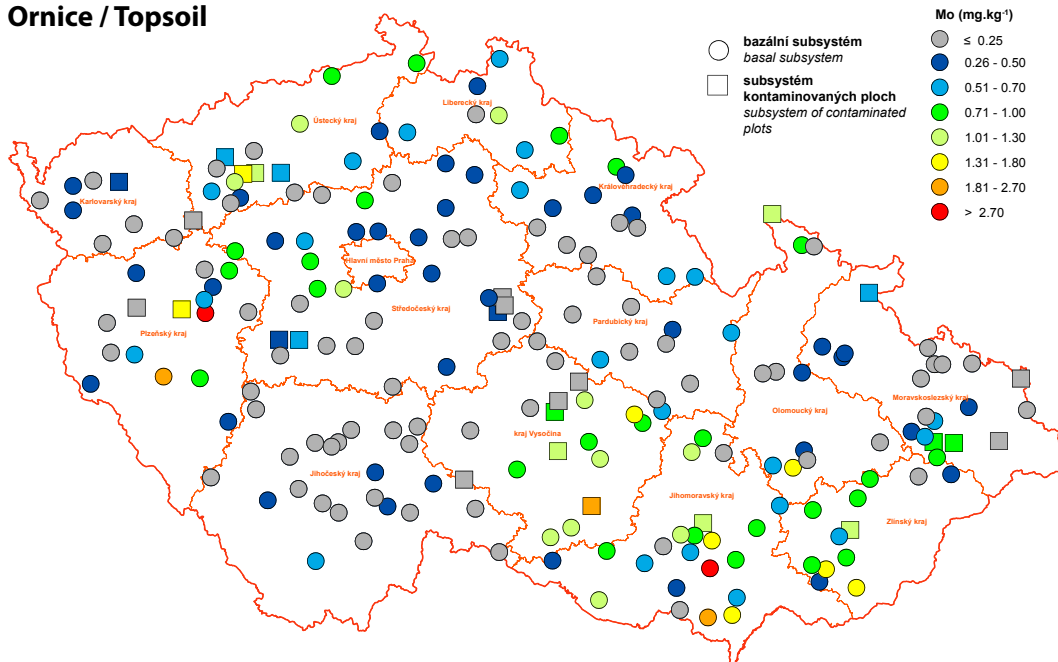
Graf 19. Krabicové grafy obsahu molybdenu (Mo) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému
Figure 19. Boxplots of the molybdenum (Mo) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem



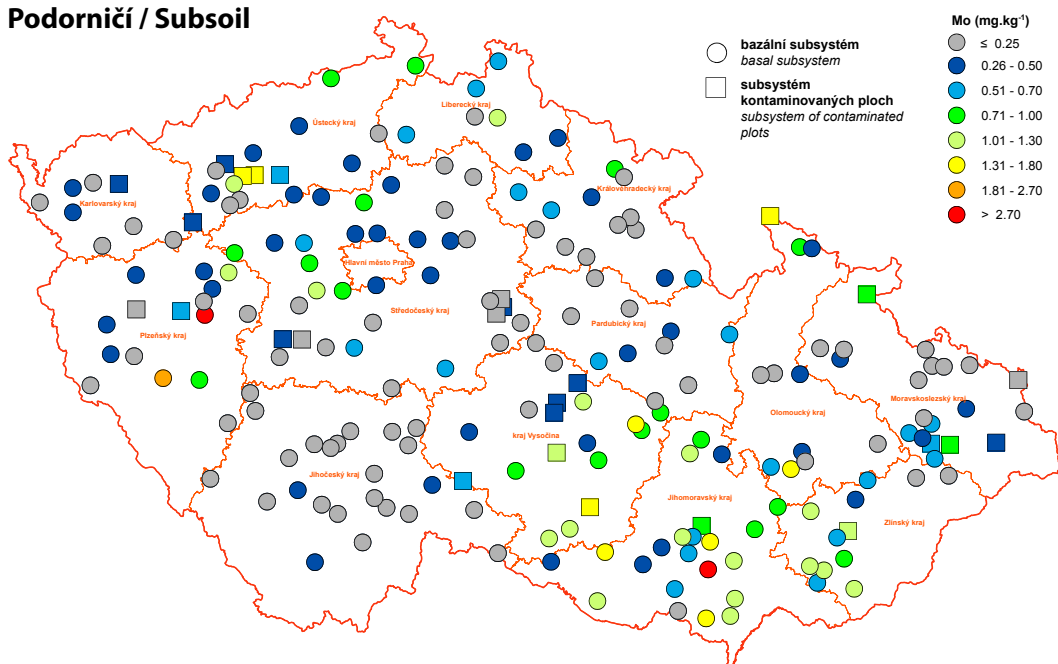
Mapka 20. Obsah molybdenu (Mo) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)

Map 20. The content of molybdenum (Mo) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



Nikl je v přírodě hojně zastoupen. Průměrná koncentrace Ni v zemské kůře je 75 mg.kg⁻¹. S ryzím niklem se v přírodě setkáme pouze vzácně, a to v meteoritech. Obvykle se vyskytuje jako oxid ve směsi s železem, např. limonit (Fe, Ni)O(OH) a garnierit (Ni, Mg)₃Si₂O₅(OH). Nikl se také uvolňuje při lesních požárech. Část atmosférického niklu pochází z meteoritického prachu. Meteority obsahují 5–50 % niklu. Antropogenním zdrojem je těžba a zpracování Ni, spalování fosilních paliv a odpadů, aplikace čistírenských kalů.

V půdě se nikl vyskytuje v silikátové formě a značná část je také adsorbována jílovými minerály a oxidy Fe, Mn, a Al. Průměrný obsah niklu v půdě činí 5–50 mg.kg⁻¹. Rozpustnost Ni závisí zejména na hodnotách pH půdy. Při pH pod 5,5 jeho rozpustnost a přijatelnost vzrůstá. Rozpustnost niklu je také větší za přítomnosti redukčních podmínek v půdě.

Běžný obsah niklu v rostlinách je v rozmezí 0,4–4,0 mg.kg⁻¹ sušiny, fytotoxické koncentrace v rozmezí 10–100 mg.kg⁻¹ sušiny. Vysoký obsah niklu omezuje růst rostlin a potlačuje fotosyntézu a transpiraci. U bobovitých bylo zjištěno snížení fixace vzdušného dusíku. Vliv niklu na zdravotní stav lidského organismu je jednoznačně negativní. Při velkých a nebo pravidelně zvýšených dávkách Ni se silně zvyšuje riziko vzniku rakoviny a dnes je řazen i mezi teratogeny. V běžném životě se poměrně často setkáváme s kožní alergií na nikl.

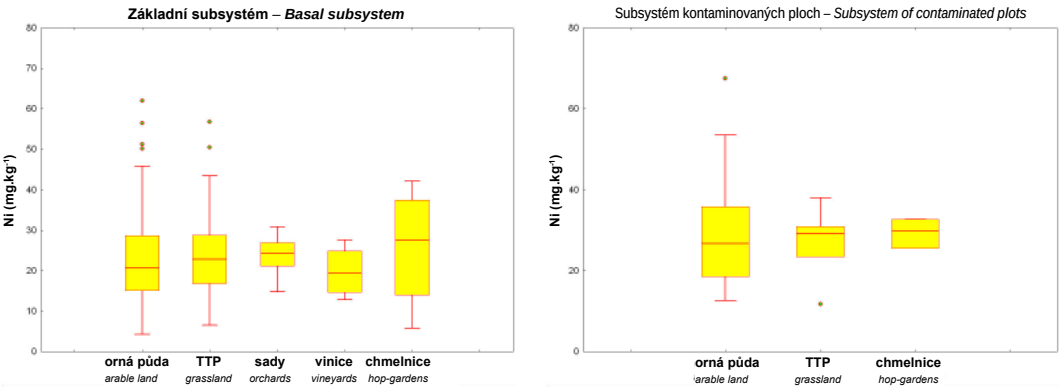
Tabulka 20. Deskriptivní statistika obsahu niklu (Ni) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 20. Descriptive statistic of the content of nickel (Ni) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	24,59	5,30	58,50	16,80	24,90	31,18	27,87	2,50	174,2	12,03	21,90	32,72
	1995	21,53	4,39	66,30	14,00	21,65	26,90	34,25	5,04	276,0	11,97	24,55	27,55
	2001	19,71	4,37	56,48	13,20	19,17	24,27	26,45	5,03	180,2	11,18	20,18	26,55
	2007	22,82	3,92	69,70	15,00	21,00	28,10	32,05	5,72	157,0	15,25	21,20	36,45
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	29,23	11,27	98,31	18,07	26,91	34,28	39,56	21,92	56,96	25,47	39,25	55,02
	2001	26,22	11,80	72,02	16,30	23,71	30,60	35,52	19,03	52,62	19,55	35,32	51,46
	2007	28,51	11,90	69,50	17,82	26,15	33,40	37,41	20,70	54,30	21,43	37,05	53,62

Graf 20. Krabicové grafy obsahu niklu (Ni) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

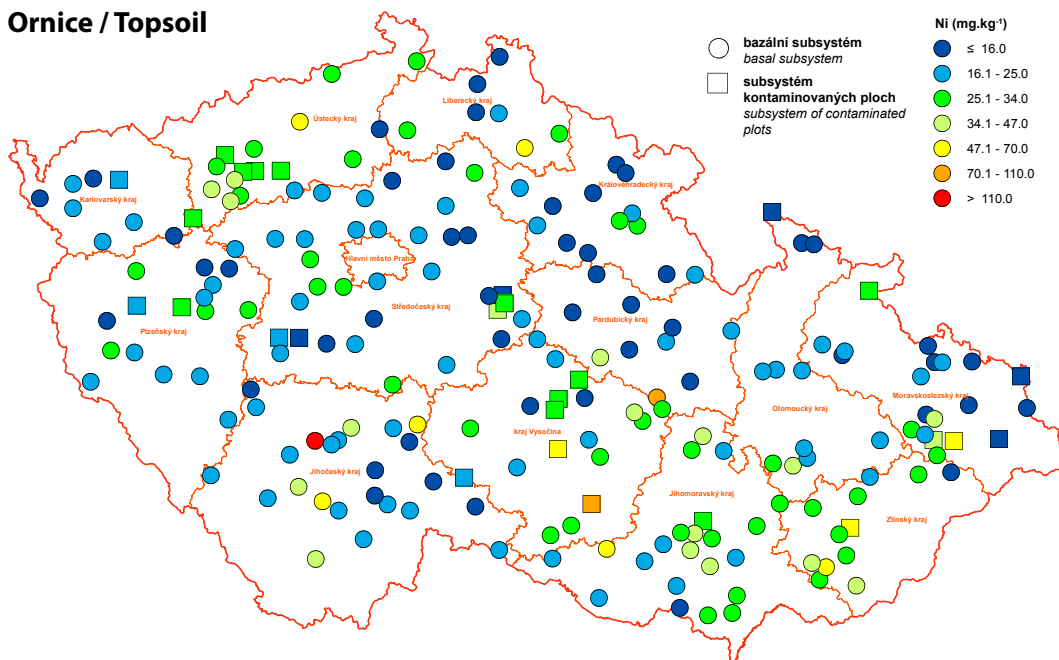
Figure 20. Boxplots of the nickel (Ni) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem



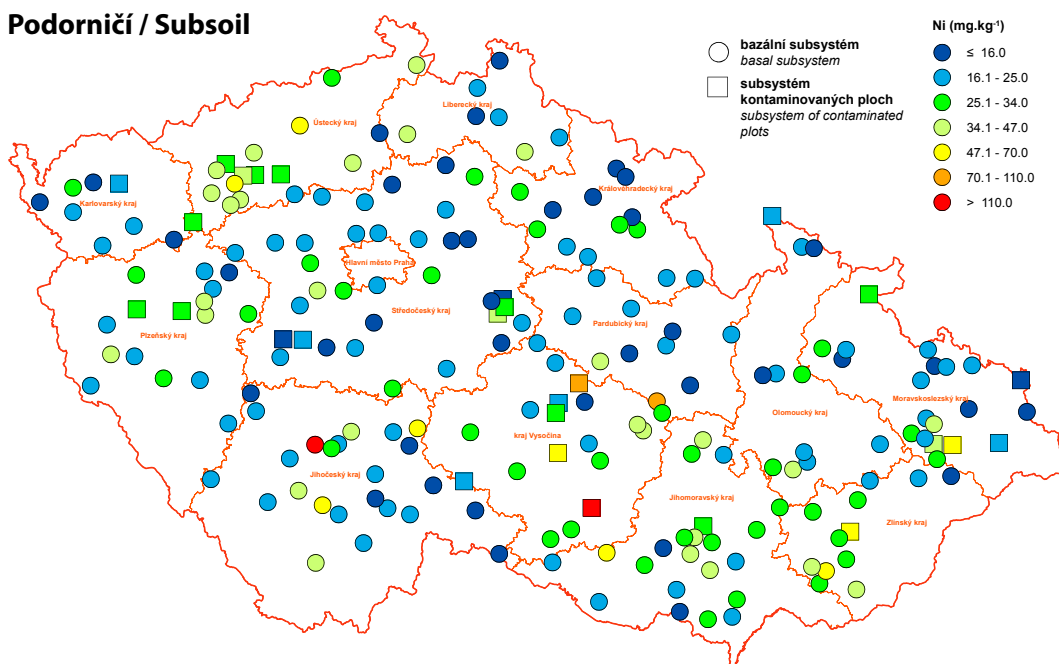
Mapka 21. Obsah niklu (Ni) v ornici a podorničí základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)

Map 21. The content of nickel (Ni) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



Olovo je v zemské kůře zastoupeno řídce (průměrný obsah 12–16 mg.kg⁻¹), ale je nejrozšířenější z těžkých kovů. Elementární olovo se v přírodě vyskytuje pouze vzácně. Nejběžnějším minerálem a zároveň rudou je galenit PbS. Dále se olovo často vyskytuje jako doprovodný prvek v rudách zinku a stříbra. Antropogenní emise olova jsou významné, odhaduje se, že jsou 17,5krát vyšší než zdroje přirozené. Hlavním antropogenním zdrojem jsou spalovací procesy, k lokálnímu znečištění dochází i při těžbě a zpracování olova.

Průměrná koncentrace olova v horninách i půdě se udává kolem 20 mg.kg⁻¹. V půdě se olovo nachází zejména ve formě Pb²⁺, je však známa i jeho čtyřmocná forma. V půdě je olovo velmi málo pohyblivé, což způsobuje malá rozpustnost solí olova a silná sorpce jílovými minerály i humusovými látkami. Sorpce humusem je pevnější než jílovými minerály, proto se olovo hromadí převážně v humusovém horizontu. Přesto je upozorňováno na to, že imobilitu olova nelze přeceňovat, protože za přítomnosti chelátů jako transportních systémů může pohyblivost olova překvapivě narůstat.

V přirozených podmínkách je Pb přítomno ve všech rostlinách (běžný obsah 2–3 mg.kg⁻¹). Olovo rostlina přijímá pasivně a příjem je ovlivňován pH a teplotou. V rostlině je olovo pevně vázané a nepohyblivé. V malých koncentracích působí stimulačně, ve vyšších toxicky – narušuje metabolismus vápníku, inhibuje enzymatické systémy, snižuje příjem CO₂, působí na buněčné dělení, omezuje příjem vody. Pro živočichy i člověka je olovo toxické. Olovo se po vniknutí do organismu akumuluje a ukládá hlavně v kostech a v malém množství v krvi, vylučuje se jen obtížně. Expozice olovem vede k poškození celé řady orgánů: ledvin, jater, nervového systému, červených krvinek, cév a svalstva. Olovo má rovněž mutační účinky.

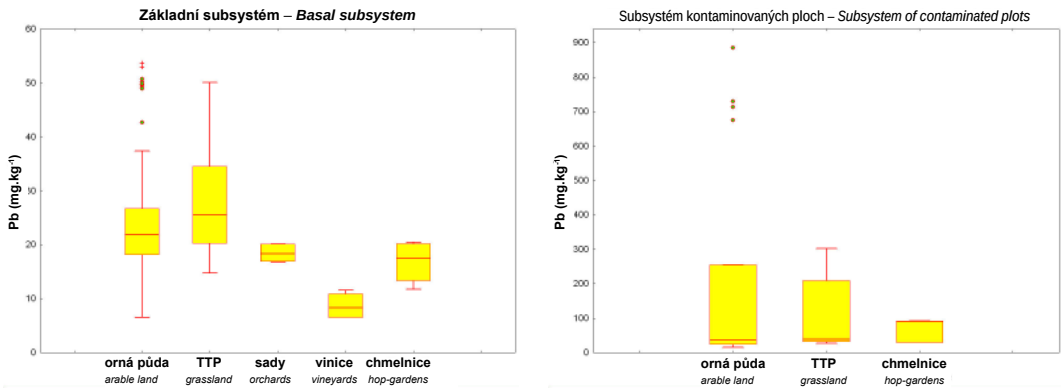
Tabulka 21. Deskriptivní statistika obsahu olova (Pb) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 21. Descriptive statistic of the content of plumbum (Pb) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	28,51	11,40	463,2	20,70	25,25	31,08	20,81	6,80	34,40	15,70	21,10	25,40
	1995	22,02	4,70	137,0	16,38	19,90	24,03	19,50	10,20	38,20	15,13	18,60	23,18
	2001	22,89	8,93	63,80	16,89	20,57	25,68	18,62	9,20	27,90	15,19	18,80	23,04
	2007	24,28	6,50	64,70	17,98	21,40	27,03	19,29	6,50	28,20	16,45	20,50	24,05
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	193,3	18,97	839,5	30,79	48,88	246,7	31,53	22,79	40,56	24,01	32,53	37,71
	2001	226,0	13,66	869,5	26,51	54,95	230,1	26,93	22,90	30,84	24,00	26,98	29,61
	2007	239,1	15,20	946,0	28,30	57,25	357,3	30,60	22,40	37,10	25,30	30,85	36,75

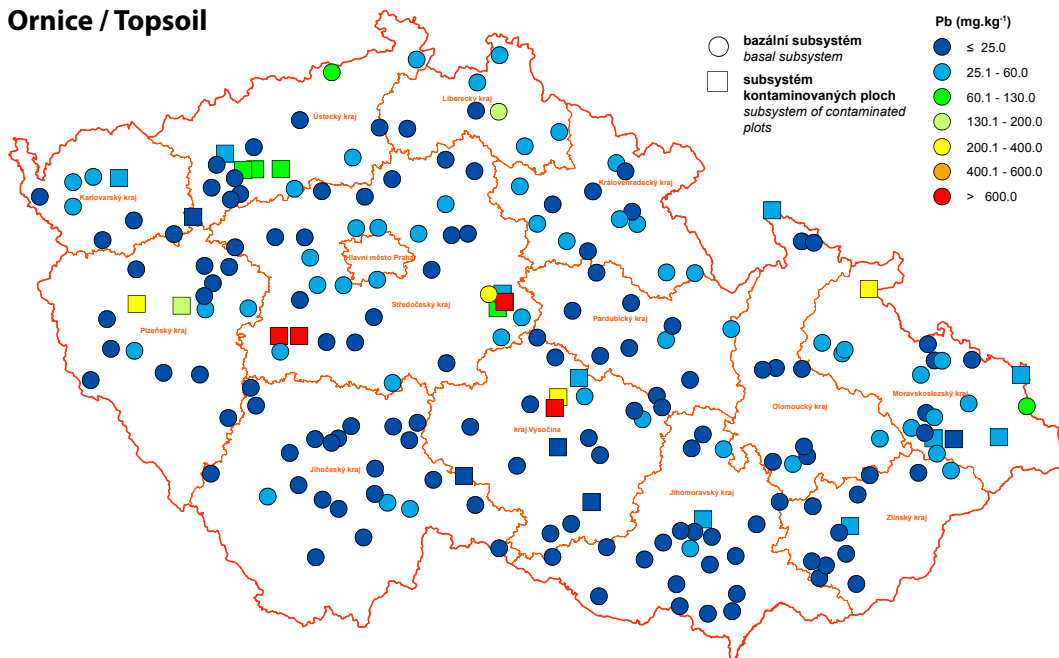
Graf 21. Krabicové grafy obsahu olova (Pb) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 21. Boxplots of the plumbum (Pb) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem

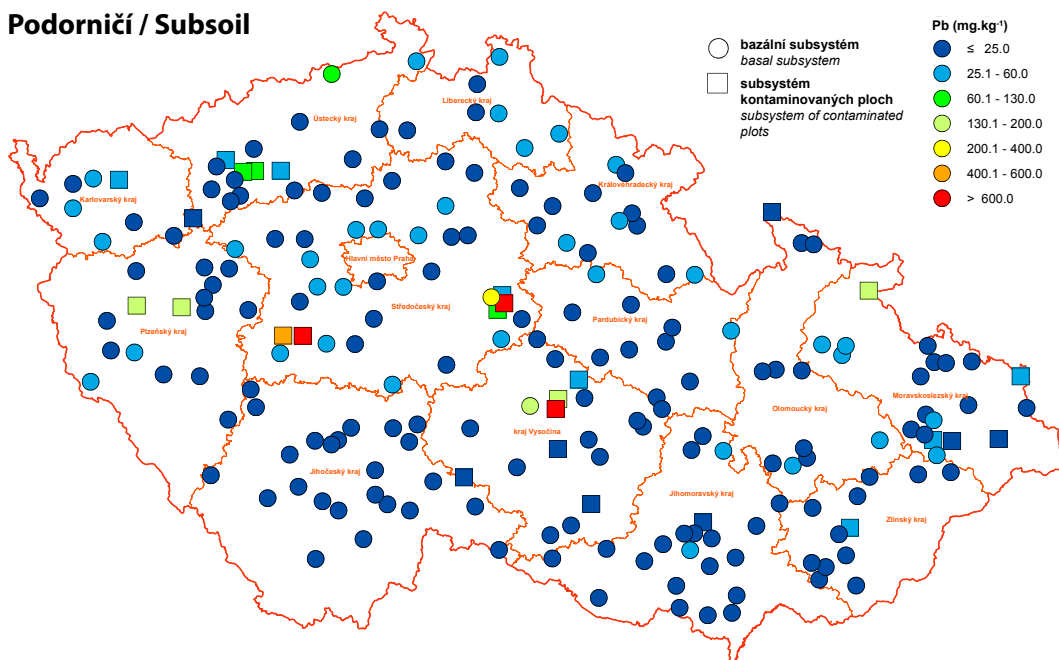


Mapka 22. Obsah olova (Pb) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg^{-1})
 Map 22. The content of plumbum (Pb) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg^{-1})

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



Obsah vanadu v zemské kůře je 136 mg.kg⁻¹, ale ve větších množstvích se vyskytuje jen zřídka. Většina vanadu se získává jako vedlejší produkt při zpracování některé z asi 60 rud, v nichž je obsažen. Mezi nejdůležitější minerály patří patronit VS₄. Nejčastěji se však vanad vyskytuje v rudách ve formě sloučeniny s kyslíkem, je obsažen také v ropě. Vanad většinou vstupuje do prostředí z přírodních zdrojů a z procesů hoření topných olejů. V půdě vanad zůstává po dlouhý čas.

Vanad je anionogenní prvek, který tvoří oxid vanadičitý. Některé rostliny jej hromadí ve značném množství až v hodnotách 10⁻⁴ g.g⁻¹ sušiny, ale běžný obsah činí 10⁻⁶ g.g⁻¹. U vyšších rostlin není dosud jednoznačně potvrzeno, zda je pro rostliny nezbytný, i když při fixaci vzdušného dusíku může částečně nahradit Mo. Nadbytek vanadu působí na živočichy i člověka výrazně negativně. Chronická otrava vanadem se projevuje zvracením, průjmem, bolestí břicha, poklesem krevního tlaku, zrychlením tepu srdce, sníženou hladinou krevního cukru, selháním jater a nadledvinek.

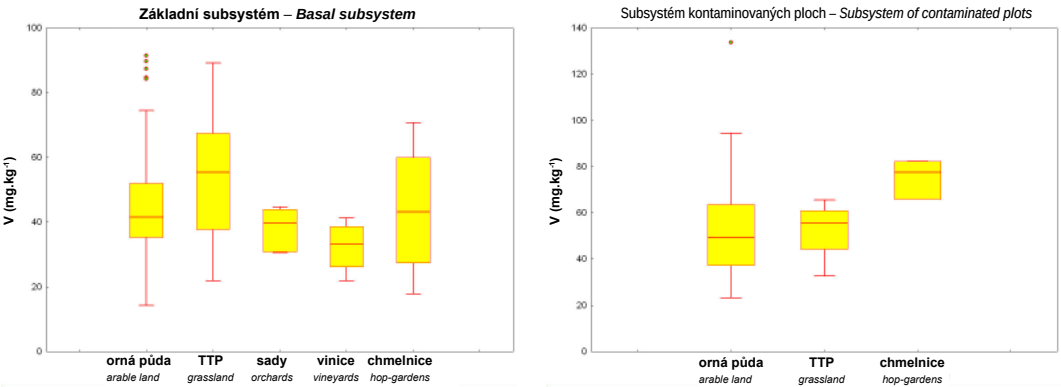
Tabulka 22. Deskriptivní statistika obsahu vanadu (V) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 22. Descriptive statistic of the content of vanadium (V) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	50,96	13,80	159,8	38,25	47,60	58,38	66,69	14,20	279,6	31,30	61,05	75,40
	1995	43,56	11,60	125,0	32,90	40,60	50,70	59,83	12,40	218,	26,83	53,30	71,03
	2001	45,79	13,36	132,5	36,01	42,93	51,81	55,32	13,95	213,5	30,52	53,21	58,20
	2007	43,41	13,80	130,0	35,05	41,20	49,80	55,80	14,70	213,0	35,25	51,25	57,60
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	62,59	22,88	165,8	43,16	48,21	69,04	68,66	52,03	89,2	55,98	66,64	78,09
	2001	53,75	26,59	133,5	37,72	44,17	55,92	60,93	57,44	63,1	59,24	61,49	62,72
	2007	52,16	22,80	135,0	36,85	41,80	54,65	63,04	57,70	66,7	60,63	63,85	65,83

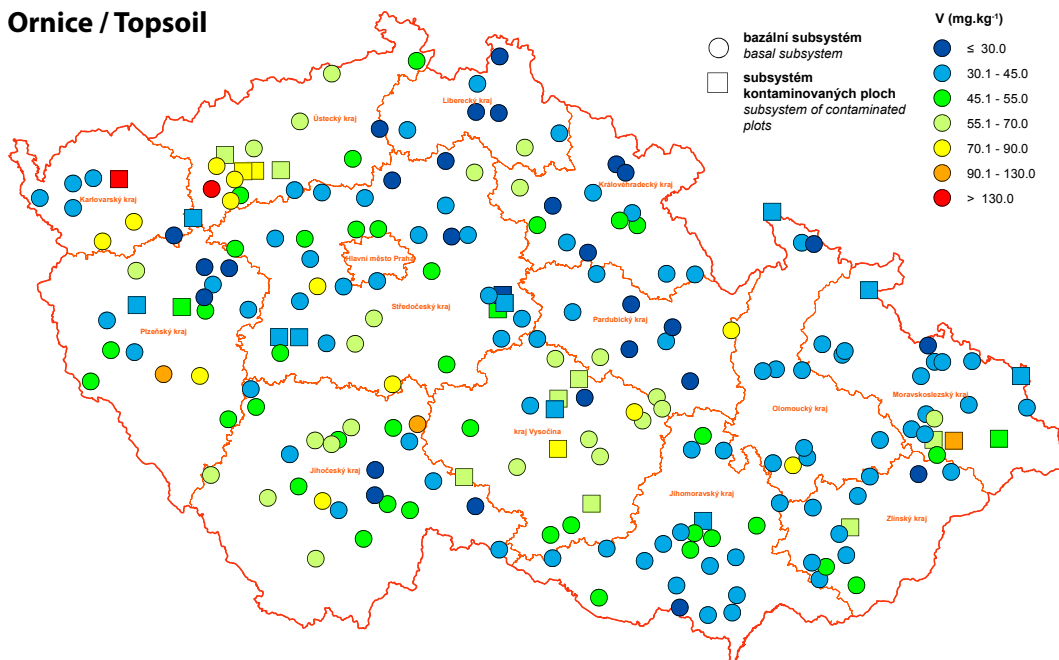
Graf 22. Krabicové grafy obsahu vanadu (V) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 22. Boxplots of the vanadium (V) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem

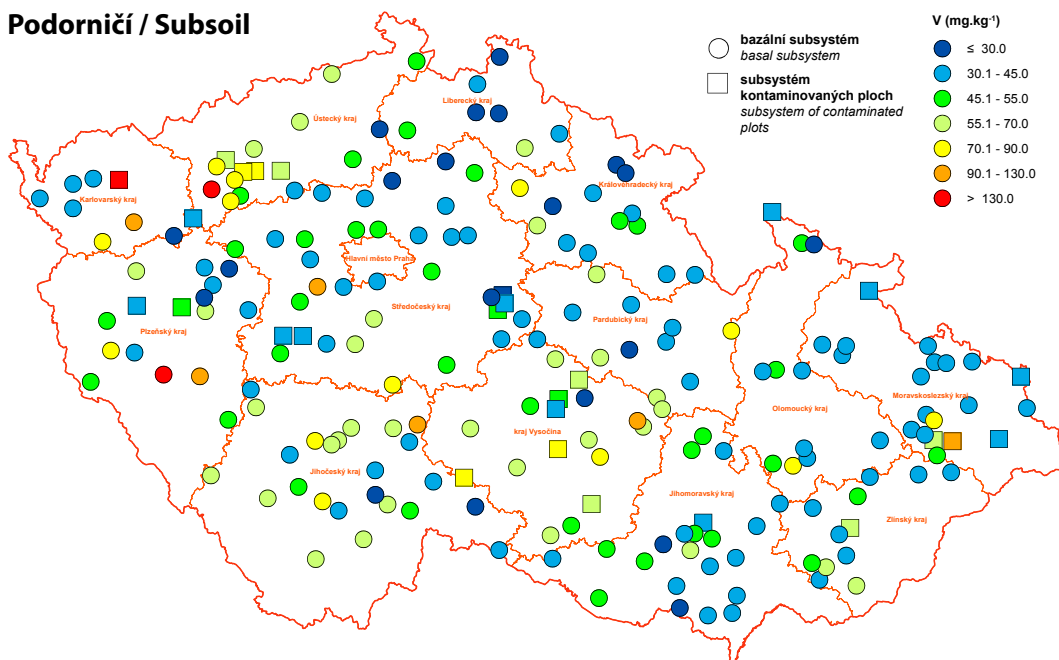


Mapka 23. Obsah vanadu (V) v ornici a podorníčí základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)
 Map 23. The content of vanadium (V) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorníčí / Subsoil



V zemské kůře je zinek bohatě zastoupen (průměrný obsah 76 mg.kg⁻¹). Hlavním minerálem a rudou pro průmyslovou výrobu zinku je sfalerit ZnS. Vzácně se v přírodě můžeme setkat i s elementárním, kovovým zinkem. Antropogenním zdrojem zinku je především atmosférický spad a průmyslové odpadní vody (vody ze zpracování neželezných rud, z moříren mosazi, ze zpracování tuků a z povrchové úpravy kovů).

Zinek je v půdě obsažen v různých formách, jeho celkový obsah je značně rozdílný a závisí zejména na obsahu Zn v mateční hornině, charakteru půdotvorného procesu a lokálních bodech znečištění. V ornících činí 10–300 mg.kg⁻¹. Jeho přijatelnost je velmi nízká. Organické látky jsou schopny vázat zinek do stabilních forem, a proto se hromadí hlavně v humózním horizontu a v rašelině. Při kyselém a zásaditém pH půdy je zinek pohyblivý, při neutrálním tvoří málo pohyblivé soli.

Zinek patří mezi prvky, které mají významný vliv na správný vývoj všech živých organismů, rostlinných i živočišných. Rostliny přijímají zinek ve formě Zn²⁺, případně v hydratovaných formách a v chelátové vazbě. Hromadí se zvláště v kořenových pletivech, pohyb rostlinou je velmi malý. Zinek se podílí na mnoha fyziologických a biologických funkcích v rostlinách. Můžeme pozorovat jak jeho nedostatek – drobnolistost, tak i toxicitu – redukce růstu kořenů a listů. U člověka přílišné množství zinku způsobuje bolesti žaludku, křeče, zvracení a průjemy.

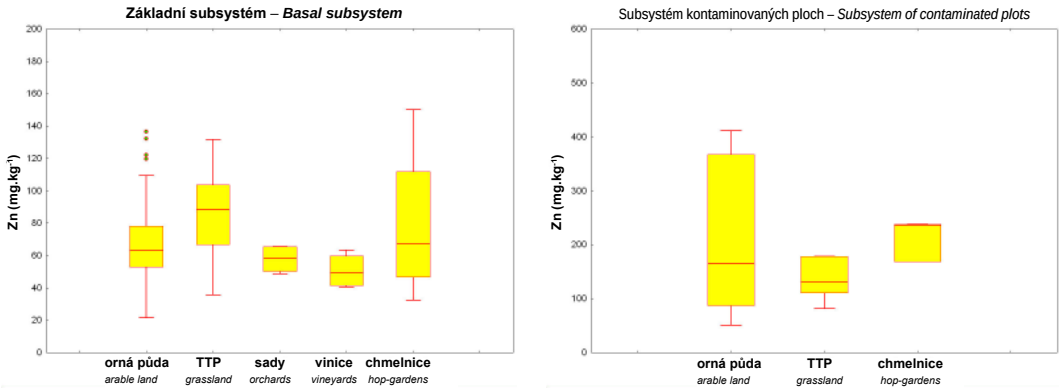
Tabulka 23. Deskriptivní statistika obsahu zinku (Zn) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 23. Descriptive statistic of the content of zinc (Zn) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	81,34	23,00	166,0	64,00	77,85	97,38	76,57	23,90	116,9	58,28	76,15	98,10
	1995	64,72	17,80	136,0	49,30	60,00	75,35	64,89	20,90	108,0	46,38	66,95	83,40
	2001	67,16	21,80	138,1	53,11	62,47	78,60	68,05	20,90	125,5	47,90	66,64	91,30
	2007	67,27	23,70	137,0	52,98	63,35	76,98	67,21	20,90	101,0	51,20	66,70	87,70
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	260,1	52,45	965,8	95,34	182,0	300,8	240,8	99,86	401,9	106,0	230,0	366,3
	2001	253,1	53,16	1033	91,27	175,0	312,1	222,1	88,27	367,0	94,92	215,5	346,5
	2007	233,8	49,90	870,0	84,75	174,0	312,5	228,2	86,70	380,0	89,93	217,2	369,3

Graf 23. Krabicové grafy obsahu zinku (Zn) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

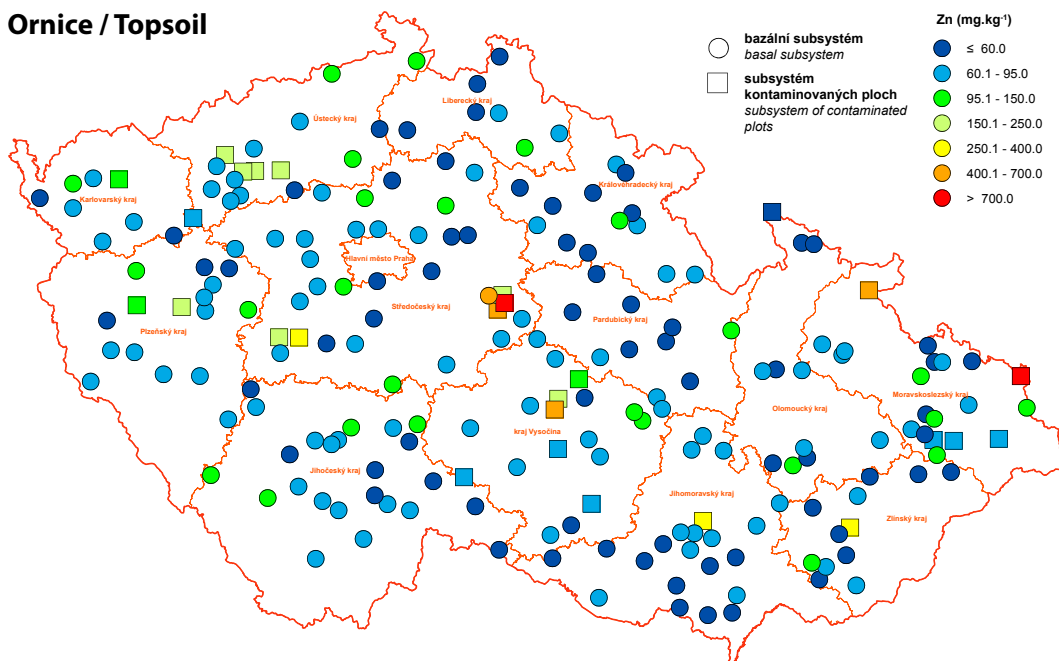
Figure 23. Boxplots of the zinc (Zn) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem



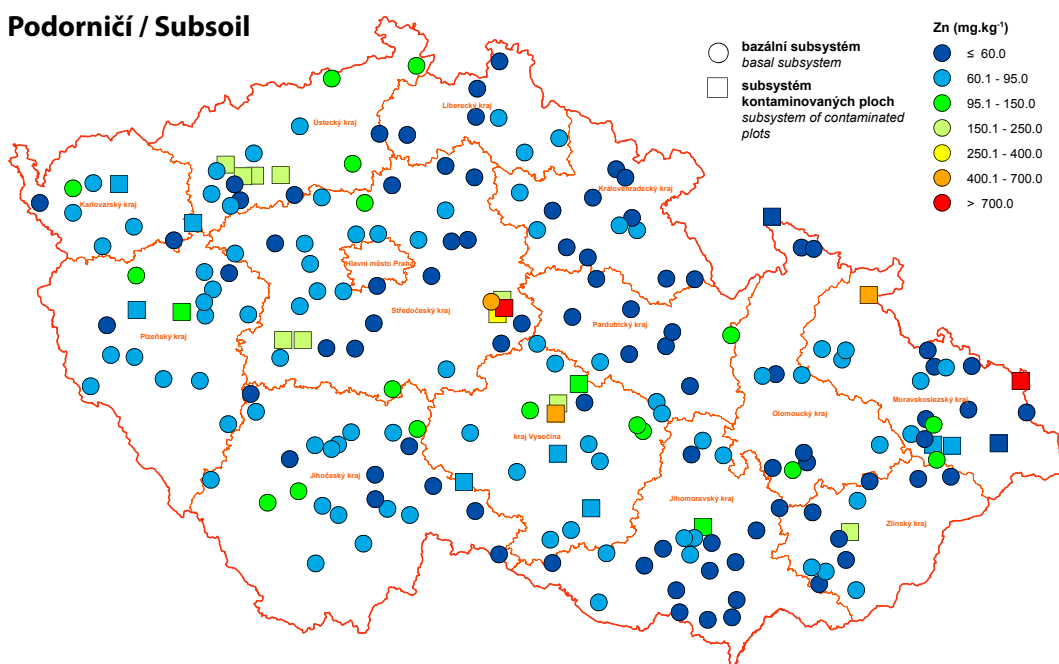
Mapka 24. Obsah zinku (Zn) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg⁻¹)

Map 24. The content of zinc (Zn) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg⁻¹)

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



5.13 Rtut' (Hg)

Mercury (Hg)

V zemské kůře je rtuť velmi vzácná (průměrný obsah 0,1–0,3 mg.kg⁻¹). V přírodě se vyskytuje vzácně i jako elementární prvek, hlavním minerálem a zdrojem pro výrobu je však rumělka neboli cinabarit, HgS. Přibližně 80 % rtuti uvolňované lidskou činností je emitováno do vzduchu ve formě kovové rtuti. Primárním zdrojem je spalování fosilních paliv a odpadů. Do půdy se rtuť dostává z hnojiv, fungicidů, komunálního odpadu, atmosférickou depozicí, aplikací čistírenských kalů.

Obsah Hg v půdách je dán především pedogenetickými procesy (průměrný obsah 0,02–0,2 mg.kg⁻¹) a může se zde vyskytovat ve třech formách – elementární Hg, Hg²⁺, methylrtuť CH₃Hg⁺. Rozdělení forem rtuti v půdách je závislé na půdní reakci a redox potenciálu. Kationtová forma může být snadno sorbována půdními koloidy. Dvojmocná rtuť je rychle a silně vázána na organickou hmotu a anorganické složky (povrch jílových minerálů a hydratovaných oxidů Fe a Mn).

Rostlina přijímá rtuť snadno, je kumulována v kořenech a může být translokována i do nadzemních částí. Obsah Hg v rostlině je málo závislý na jejím obsahu v půdě, ale přímo úměrný obsahu ve vzduchu. Rtůť omezuje růst rostlin, vývin kořenů a fotosyntézu. Pro člověka s živočichy je rtuť toxická a je kumulativním jedem. Z organismu se vylučuje jen velmi pozvolna a obtížně, její většina se přitom koncentruje především v ledvinách a v menší míře i v játrech a slezině.

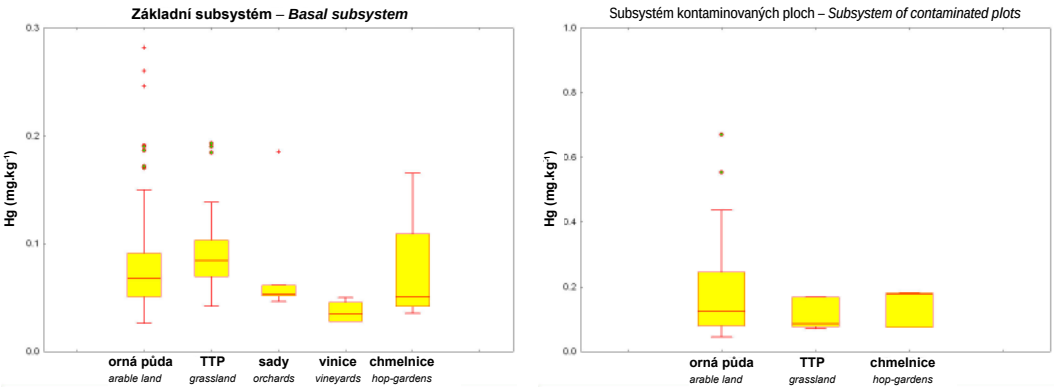
Tabulka 24. Deskriptivní statistika obsahu rtuti (Hg) na zemědělských půdách BMP (mg.kg⁻¹) – ornice

Table 24. Descriptive statistic of the content of mercury (Hg) in arable soils of BSM system (mg.kg⁻¹) – topsoil

	Rok (Year)	Ostatní půda (Other soil)						Lehká půda (Light soil)					
		Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)	Průměr (Average)	Min. (Min)	Max. (Max)	0,25 perc. (25 th perc)	Medián (Median)	0,75 perc. (75 th perc.)
Základní subsystém (Basic subsystem)	1992	0,113	0,021	1,058	0,055	0,078	0,129	0,103	0,029	0,330	0,057	0,076	0,132
	1995												
	2001	0,096	0,033	0,805	0,056	0,072	0,098	0,083	0,025	0,279	0,050	0,063	0,082
	2007	0,090	0,025	0,777	0,051	0,068	0,089	0,074	0,022	0,297	0,041	0,059	0,080
Kontaminovaný subsystém (Contaminated subsystem)	1992												
	1995	3,586	0,057	50,00	0,104	0,223	0,331	0,532	0,051	1,221	0,078	0,299	1,069
	2001	2,458	0,058	39,20	0,100	0,158	0,267	0,528	0,480	0,580	0,480	0,525	0,573
	2007	2,898	0,046	55,80	0,100	0,153	0,243	0,362	0,047	0,742	0,054	0,340	0,652

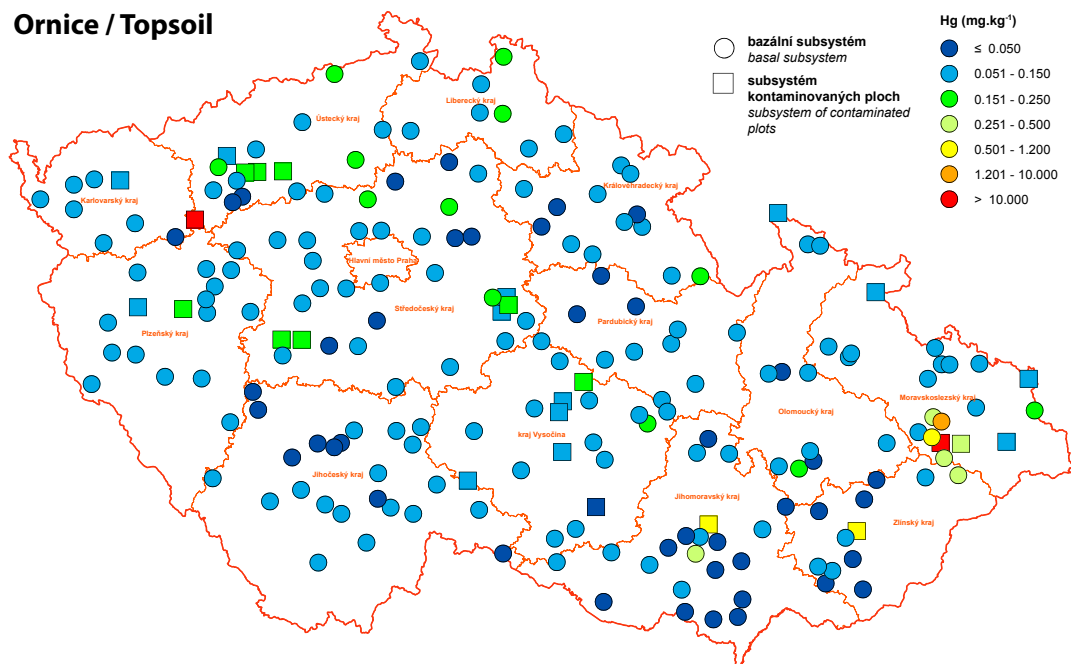
Graf 24. Krabicové grafy obsahu rtuti (Hg) pro sledované kultury v ornici základního a kontaminovaného subsystému

Figure 24. Boxplots of the mercury (Hg) content for monitored cultures in topsoil of the basal and contaminated subsystem

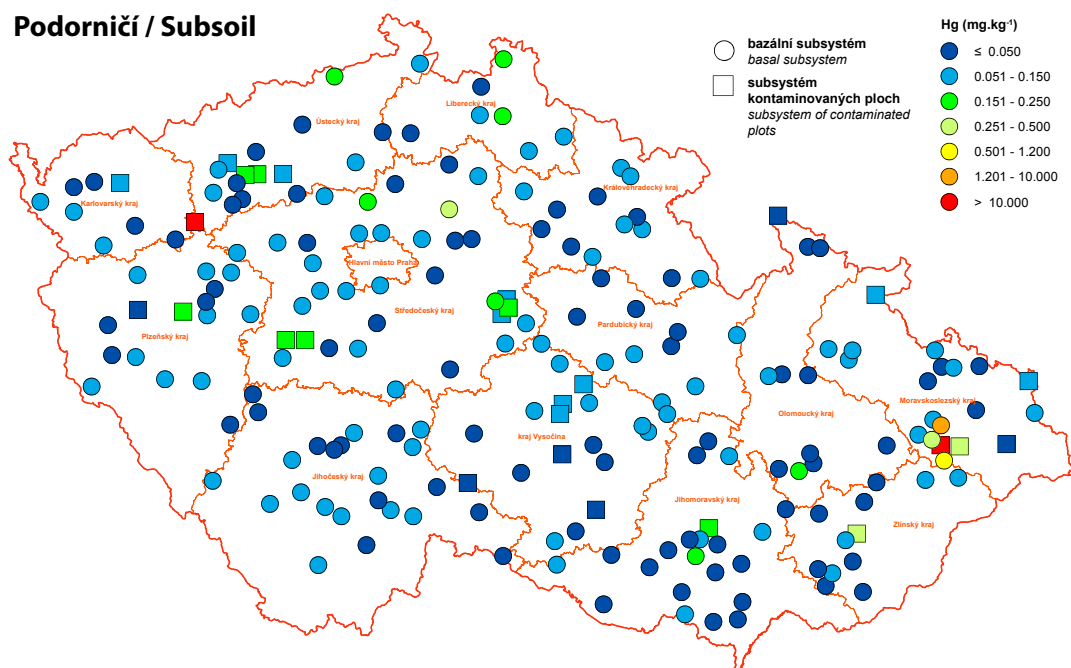


Mapka 25. Obsah rtuti (Hg) v ornici a podorníči základního a kontaminovaného subsystému BMP (2007; mg.kg^{-1})
 Map 25. The content of mercury (Hg) in topsoil and subsoil within basal and contaminated subsystem of monitoring (2007; mg.kg^{-1})

Ornice / Topsoil



Podorníči / Subsoil



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

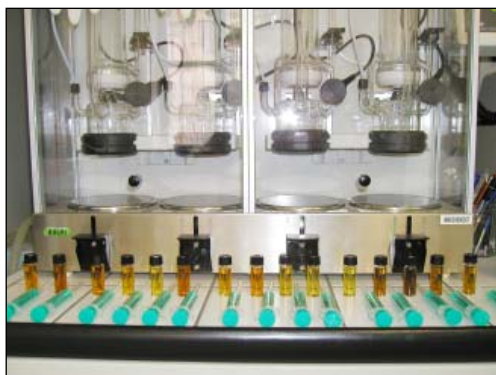
Šárka Poláková

Perzistentní organické polutanty (Persistent Organic Pollutants, 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 jejich cyklické odpařování z povrchu půd a vod, transport atmosférou ve formě páry a prachu a následná depozice deštěm, sněhem nebo tuhými částicemi.

Perzistentní organické látky vznikají přírodními procesy (např. sopečnou činností, požáry), převážná část jejich zdrojů je však antropogenního původu. Výrobu a použití vybraných látek reguluje Stockholmská úmluva o perzistentních organických polutantech. Úmluva byla podepsána 23. května 2001 a zavazuje signatářské země omezit u vybraných látek výrobu, používání a vypouštění do životního prostředí. Česká republika úmluvu podepsala i ratifikovala v roce 2002 a 17. května 2004 vstoupila úmluva v platnost.

Úmluva se v době podpisu týkala těchto 12 látek a jejich skupin: aldrin, dichlordifenyl-trichlorethan (DDT), dieldrin, endrin, heptachlor, chlordan, mirex, toxafen, hexachlorbenzen (HCB), polychlorované bifenylly (PCB), polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a dibenzofurany (PCDF). V květnu 2009 na 4. konferenci smluvních stran Stockholmské úmluvy v Ženevě bylo na seznam přidáno dalších 9 látek a jejich skupin: hexabromobifenyl (HBB), penta- a oktabromovaný difenyléter (PBDE, OBDE), pentachlorbenzen, lindan, α - a β -hexachlorcyklohexan, chlordecon, perfluorooktansulfonát (PFOS).

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský sleduje v zemědělských půdách obsahy vybraných POPs [7 kongenerů PCB, HCB, 4 izomery HCH (α -, β -, γ -, δ -) a látky skupiny DDT] a 16 EPA PAHs.



Půdní vzorky určené ke stanovení PCB a organochlorových pesticidů se v laboratořích ÚKZÚZ extrahují do nepolárního rozpouštědla a poté analyzují metou GC-MS/MS na přístroji Varian 1200.

In the ÚKZÚZ laboratories, soil samples designated to PCB and organochlorine pesticides determination are extracted into non-polar solvent and subsequently analyzed using the GC-MS/MS method on the instrument Varian 1200.

6 Persistent organic pollutants (POPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

Persistent organic pollutants (POPs) are substances which persist for a long time in the environment. They have some typical characteristics – they are characterized by high ability to bioaccumulate in fatty tissues of humans and wildlife, high level of chemical and biological stability and by a tendency towards long-distance transport. Due to these characteristics, they are able to disperse thousands kilometres from the source and to contaminate the whole biosphere. It is generally known that the cyclic evaporation from soil and water surface which causes air drifting of POPs in the shape of vapour and dust and subsequent rain, snow or solid particles deposits is the mechanism explaining the POPs mobility in the environment.

Persistent organic pollutants are created by processes in nature (e.g. volcanic activities, fires); however, the overwhelming part of their sources is of anthropogenic origin. The production and usage of selected substances is regulated by the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. The Convention was signed on the 23th of May 2001 and it binds the signatory states to restrict production, usage and emission of selected substances into the environment. The Czech Republic signed and ratified the Convention in 2002 and on the 17th of May the Convention entered into force.

In the days of signature the Convention referred to these 12 substances and their groups: aldrin, chlordane, DDT, dieldrin, endrin, heptachlor, mirex, toxaphene, hexachlorobenzene, polychlorinated biphenyls (PCBs) and polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans (PCDD/PCDF). In May 2009 during the fourth conference of the contracting parties of the Stockholm Convention in Geneva there were added another 9 additional chemicals and their groups on the list: alpha hexachlorocyclohexane, beta hexachlorocyclohexane, chlordecone, hexabromobiphenyl, hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether (commercial octabromodiphenyl ether), lindane, pentachlorobenzene, perfluorooctane sulfonic acid, its salts and perfluorooctane sulfonyl fluoride, tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether (commercial pentabromodiphenyl ether).

The Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture monitors the contents of selected POPs [7 PCB congeners, HCB, 4 HCH isomers (α -, β -, γ -, δ -) and DDT and its metabolites] and 16 EPA PAHs in agricultural soils.

Pod pojmem DDT není chápáno pouze p,p'-DDT (dichlordifenyiltrichloreten - vlastní účinná látka), ale celá skupina látek blízkých. Při výrobě vzniká o,p'-DDT a také p,p'-DDD a o,p'-DDD (dichlordifenyldichloreten), které se v prostředí transformují na DDE (dichlordifenyldichloretylen). Předpokládá se, že poločas rozpadu DDT na DDE a DDD je 2–15 let. DDT a jeho metabolity jsou velmi stálé, málo těkavé sloučeniny lipofilní povahy s nízkou rozpustností ve vodě a výraznou schopností kumulace v tukových tkáních organismů (bioakumulace) a adsorpce na povrchy tuhých částic. Všechny tyto vlastnosti je předurčují k dlouhé perzistenci v prostředí a pronikání do potravních řetězců.

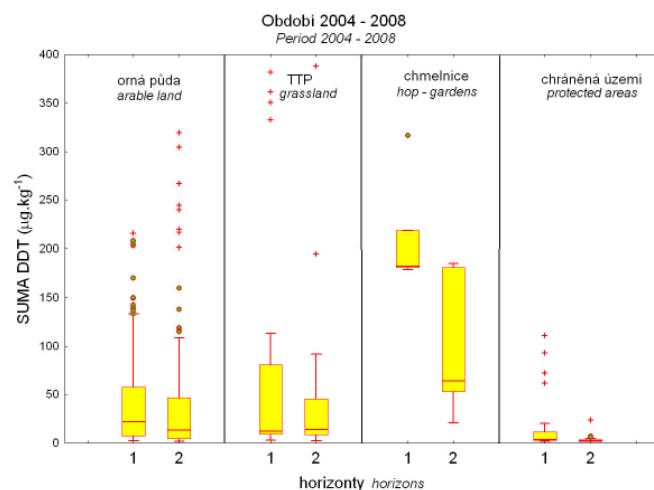
Látky skupiny DDT jsou velmi toxické pro vodní organismy, způsobují významný pokles reprodukční schopnosti nejen rybožravých a vodních ptáků, ale i pěvců a suchozemských šelem. Také u člověka se DDT a jeho metabolity hromadí v těle, především v tukových tkáních. Akutní expozice DDT ovlivňuje nervový systém. Chronická expozice poškozuje játra, narušuje metabolismus a funkci steroidních hormonů. Lze předpokládat, že dochází k negativnímu ovlivnění reprodukčního systému a zdravého vývoje plodu.

V bývalém Československu bylo používání DDT zakázáno v roce 1974.

Tabulka 25. Deskriptivní statistika obsahů sumy látek skupiny DDT (suma o,p'- a p,p'- izomerů DDT, DDE, DDD) v půdních vzorcích BMP (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Table 25. Descriptive statistic of the sum of DDT substances (the sum of o,p'- and p,p'- isomers DDT + DDE + DDD) in BSM soil samples (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Kultura (Culture)	Horizont (Horizon)	Průměr (Average)	Min (Min)	Max (Max)	25 perc. (25 th perc.)	Medián (Median)	75 perc. (75 th perc.)	10 perc. (10 th perc.)	90 perc. (90 th perc.)
Orná půda (Arable land)	Ornice (Topsoil)	57,8	2,25	658	7,30	22,2	57,6	5,10	138
	Podorničí (Subsoil)	44,0	1,50	710	4,66	13,1	47,0	2,66	105
Chmelnice (Hop-garden)	Ornice (Topsoil)	215	179	316	181	182	218	179	316
	Podorničí (Subsoil)	101	21,1	185	53,3	64,1	181	21,1	185
Trvalé travní porosty (Grassland)	Svrchní hor. (Topsoil)	95,4	2,80	462	9,42	12,3	80,8	6,68	362
	Spodní hor. (Subsoil)	100	2,50	664	8,80	13,9	45,8	3,90	415
CHKO (Protected areas)	Svrchní hor. (Topsoil)	18,0	1,50	110	3,06	3,57	11,8	1,77	72,1
	Spodní hor. (Subsoil)	3,63	1,50	23,7	1,50	2,20	3,30	1,50	6,60



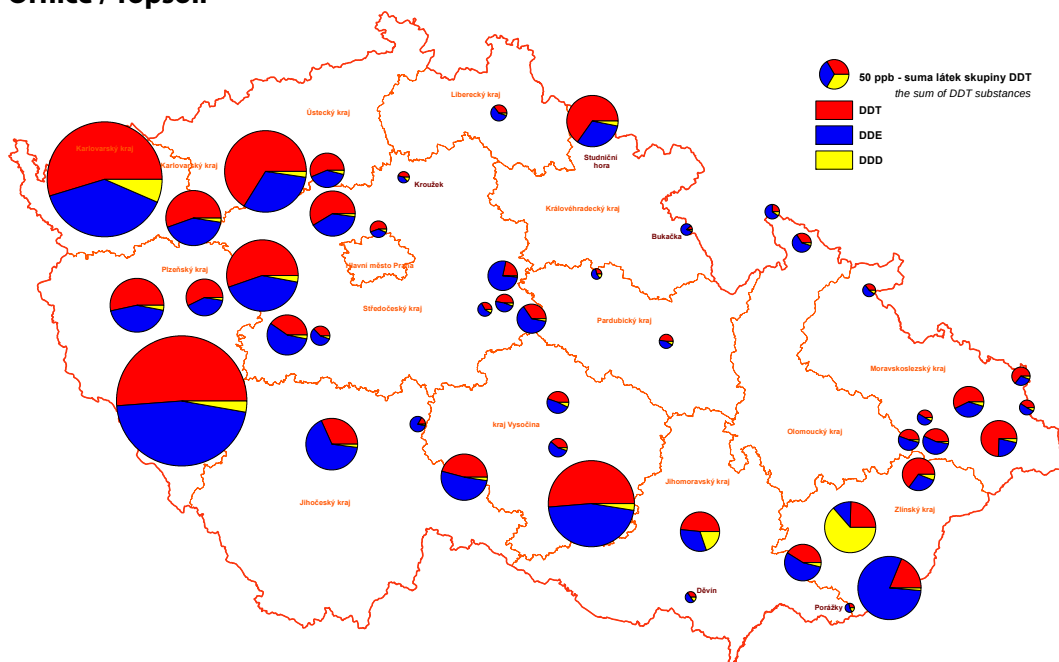
Graf 25. Rozpětí obsahů sumy látek skupiny DDT (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Figure 25. Content range of the sum of DDT and its metabolites (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

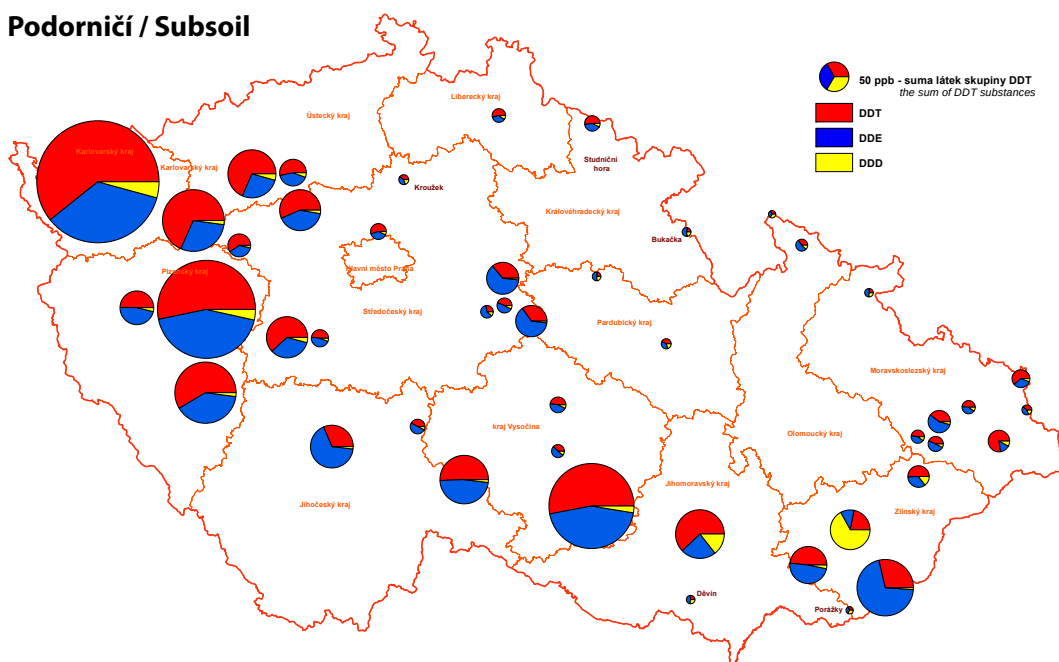
Mapka 26. Obsah látek skupiny DDT v ornici a podorničí zemědělských půd BMP (medián 2004–2008, všechny kultury $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Map 26. The content of DDT and its metabolites in topsoil and subsoil of agricultural soils of monitoring (median, 2004–2008, all cultures, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



Hexachlorcyklohexan (HCH) je synteticky vytvořená látka. Technický HCH byl v bývalém Československu používán od roku 1956 pouze v lesích. HCH se vyskytuje v několika izomerních modifikacích (α -, β -, δ -, γ -), přičemž γ -modifikace je označována jako lindan a je z izomerů nejúčinnější jako insekticid. Jednotlivé izomery mají extrémně odlišné chování, zatímco α -izomer je silně volatilní, β - je v prostředí extrémně stabilní, γ - je degradabilní a v půdách se již téměř nenalézá (uvádí se poločas rozpadu v půdě 3–4 roky). O chování δ -izomeru se neví téměř nic.

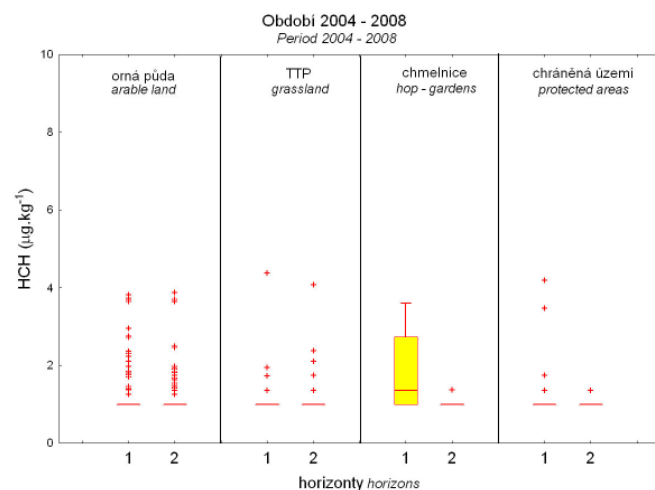
Nejtoxičtější je γ -izomer – lindan. Obecně je popisována zejména neurotoxicita při akutní inhalaci. Chronická expozice ústí v poškození jater, urogenitálního ústrojí a snižování imunity. Lindan může vstupovat do těla orálně, inhalačně nebo kontaktem s kůží. Akutní inhalace lindanu vyvolává podráždění nosu a hrtanu, poškození krve (anemie) a poškození kůže. Orální expozicí je ovlivňována nervová soustava (křeče, záchvaty). Mezi projevy patří dále nevolnost, zvracení a poškození svalů a kardiovaskulárního systému. Chronická inhalace lindanu poškozuje játra, ledviny, krev, nervovou soustavu a kardiovaskulární a imunitní systém. Podle klasifikace EPA patří lindan mezi možné lidské karcinogeny (rakovina jater).

V současné době je výroba a použití lindanu v ČR zakázáno.

Tabulka 26. Deskriptivní statistika obsahů sumy izomerů HCH v půdních vzorcích BMP (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Table 26. Descriptive statistic of the sum content of HCH isomers in BSM soil samples (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Kultura (Culture)	Horizont (Horizon)	Průměr (Average)	Min (Min)	Max (Max)	25 perc. (25 th perc.)	Medián (Median)	75 perc. (75 th perc.)	10 perc. (10 th perc.)	90 perc. (90 th perc.)
Orná půda (Arable land)	Ornice (Topsoil)	1,17	1,00	3,82	1,00	1,00	1,00	1,00	1,58
	Podorničí (Subsoil)	1,13	1,00	3,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,45
Chmelnice (Hop-garden)	Ornice (Topsoil)	1,94	1,00	3,60	1,00	1,5	2,74	1,00	3,60
	Podorničí (Subsoil)	1,07	1,00	1,37	1,00	1,00	1,00	1,00	1,37
Trvalé travní porosty (Grassland)	Svrchní hor. (Topsoil)	1,25	1,00	4,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,95
	Spodní hor. (Subsoil)	1,27	1,00	4,08	1,00	1,00	1,00	1,00	2,10
CHKO (Protected areas)	Svrchní hor. (Topsoil)	1,27	1,00	4,19	1,00	1,00	1,00	1,00	1,75
	Spodní hor. (Subsoil)	1,04	1,00	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	1,35



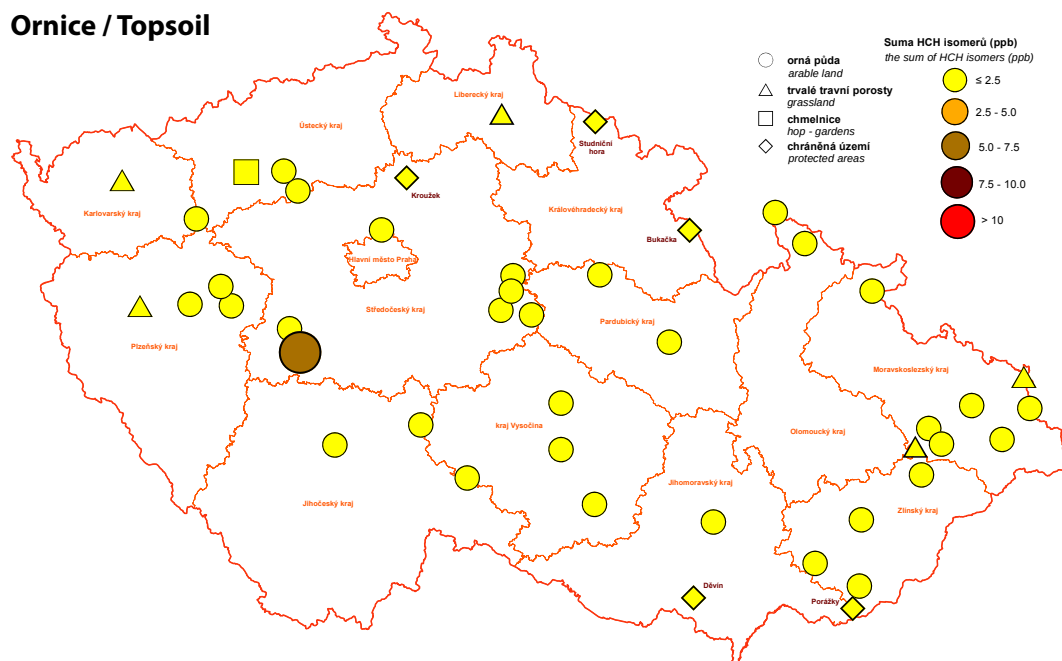
Graf 26. Rozpětí obsahů sumy 4 izomerů HCH (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Figure 26. Content range of the sum of 4 HCH isomers (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Mapka 27. Obsah HCH v ornici půd BMP (medián, 2004–2008, všechny kultury, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Map 27. The content of HCH in topsoil of agricultural soils of monitoring (median, 2004–2008, all cultures, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Ornice / Topsoil



Dlouholetým používáním obsoletních pesticidů došlo k masivní kontaminaci půd, vod i bioty. Z těchto matic se postupně stávají rezervoáry uvedených látek. Hlavním mechanismem, vysvětlujícím jejich pohyblivost v prostředí, je cyklické odpařování z povrchu půd a vod, atmosférický transport a následná depozice ve formě tuhých částic, deště nebo sněhu.

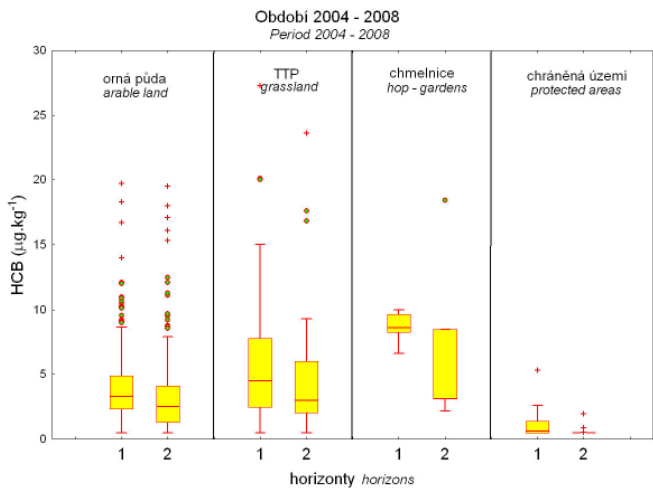
Due to long-term application of obsolete pesticides massive contamination of soils, waters and biotas occurred. The reservoirs of mentioned substances gradually originate from these matrixes. Cyclic evaporation from soil and water surfaces, atmospheric transport and subsequent deposition in the form of solid particles, rain or snow are the main mechanism explaining their mobility in the environment.

Hexachlorbenzen (HCB) je syntetická látka, hojně využívaná jako fungicid na ochranu semen. Obchodování a používání HCB pro ochranu rostlin bylo v Evropě zakázáno v roce 1988. V průmyslu se HCB užíval např. při výrobě pyrotechniky, světlic, jako tavidlo při výrobě hliníku, nebo k ochraně dřeva. HCB stále vzniká jako vedlejší produkt nebo nečistota v některých chemických procesech. Je také vedlejším produktem při výrobě chlorovaných rozpouštědel, chlorovaných aromatických látek a pesticidů. Spalování je důležitý zdroj úniků HCB do životního prostředí.

HCB je pro zdraví lidí velmi nebezpečný. Po expozici touto látkou může u zasažených osob dojít k extrémnímu zvýšení rizika onemocnění rakovinou, ohrožení vývoje plodu, podráždění očí, nosu, dýchacích cest i kůže, k poškození jater a ledvin a k poškození funkce štítné žlázy. Hexachlorbenzen je dle US EPA klasifikován jako karcinogen třídy B2 (pravděpodobný lidský karcinogen).

Tabulka 27. Deskriptivní statistika obsahů HCB v půdních vzorcích BMP (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)
Table 27. Descriptive statistic of the HCB content in BSM soil samples (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Kultura (Culture)	Horizont (Horizon)	Průměr (Average)	Min (Min)	Max (Max)	25 perc. (25 th perc.)	Medián (Median)	75 perc. (75 th perc.)	10 perc. (10 th perc.)	90 perc. (90 th perc.)
Orná půda (Arable land)	Ornice (Topsoil)	4,58	<0,5	52,1	2,35	3,30	4,89	1,45	9,40
	Podorničí (Subsoil)	3,57	<0,5	19,5	1,30	2,50	4,12	0,50	8,24
Chmelnice (Hop-garden)	Ornice (Topsoil)	8,62	6,60	9,98	8,28	8,60	9,66	6,60	9,98
	Podorničí (Subsoil)	7,05	2,16	18,4	3,10	3,10	8,47	2,16	18,4
Trvalé travní porosty (Grassland)	Svrchní hor. (Topsoil)	6,77	<0,5	27,3	2,48	4,48	7,80	0,56	20,0
	Spodní hor. (Subsoil)	6,26	<0,5	30,8	2,04	3,00	6,00	0,50	17,6
CHKO (Protected areas)	Svrchní hor. (Topsoil)	1,15	<0,5	5,33	0,50	0,60	1,40	0,50	2,54
	Spodní hor. (Subsoil)	0,57	<0,5	1,96	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52

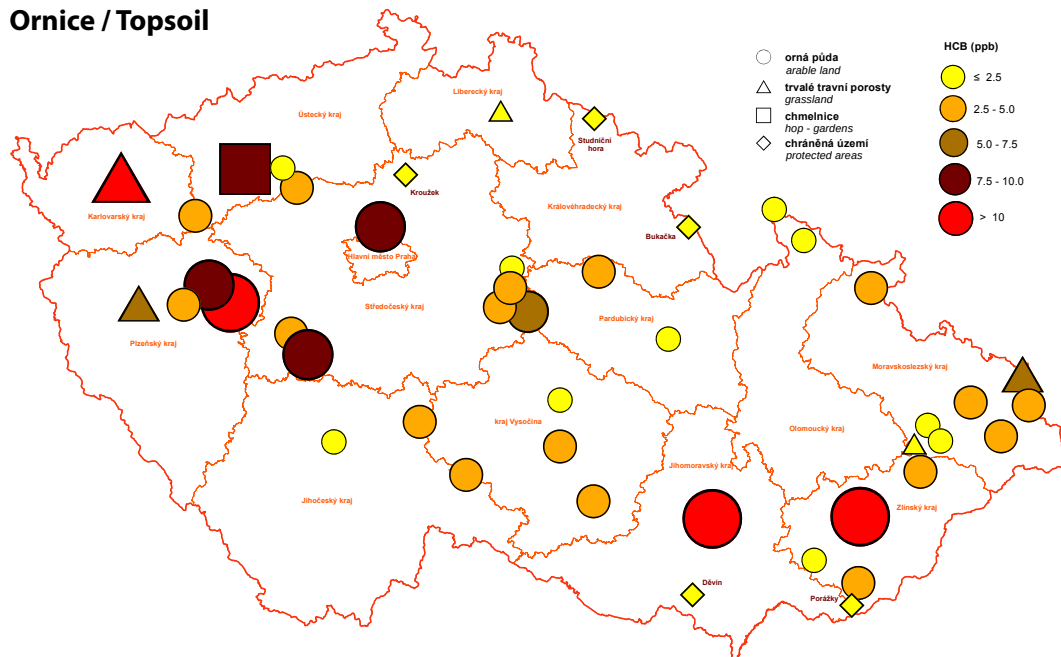


Graf 27. Rozpětí obsahů sumy HCB (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)
Figure 27. Content range of HCB (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

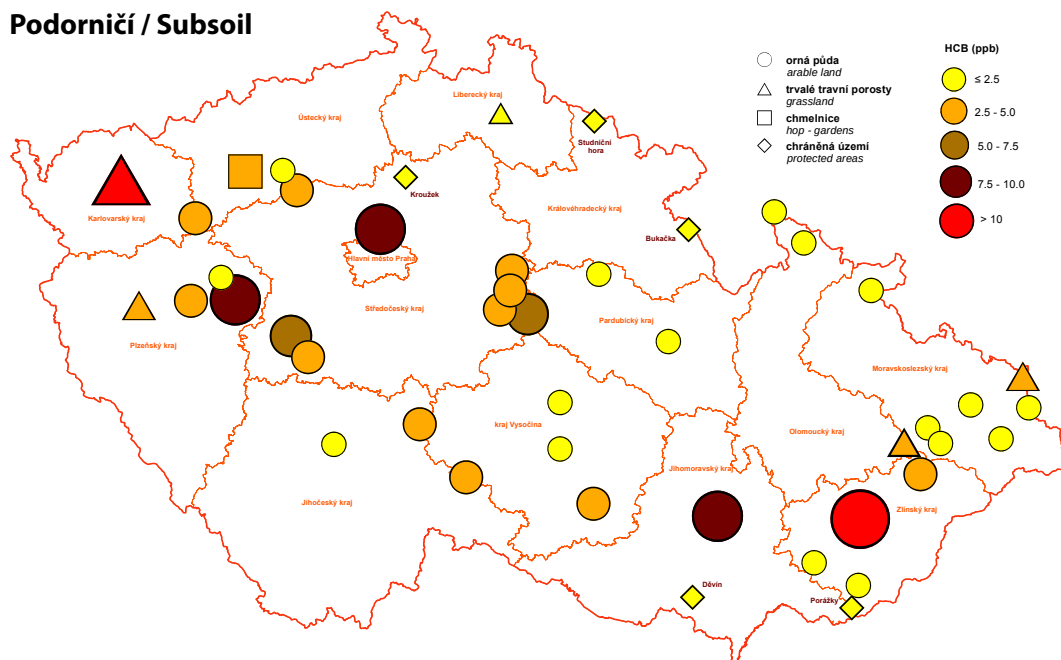
1 – ornice / svrchní horizont (topsoil)
2 – podorničí / spodní horizont (subsoil)

Mapka 28. Obsah HCB v ornici a podorničí zemědělských půd BMP (medián, 2004–2008, všechny kultury, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)
 Map 28. The content of HCB in topsoil and subsoil of agricultural soils of monitoring (median, 2004–2008, all cultures, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



6.4 Polychlorované bifenyly (PCB) Polychlorinated biphenyls (PCB)

PCB se vyrábějí katalytickou chlorací bifenylu (aromatického uhlovodíku, jehož dvě benzenová jádra jsou spojena jednoduchou vazbou). Teoreticky lze podle počtu a vzájemné polohy nasubstituovaných atomů chlóru získat 209 různých chemických individuí. Polychlorované bifenyly mají výborné chemické a fyzikální vlastnosti – jsou to vysoce stabilní chemické sloučeniny odolávající kyselinám i alkáliím, při zvýšené teplotě se nerozkládají, destilují bez rozkladu, při nuceném spalování přecházejí beze změn do kouřových plynů, ve vodě jsou prakticky nerozpustné, dobře se rozpouští v organických rozpouštědlech a biodegradaci podléhají jen v omezené míře. Tyto vlastnosti je předurčily k širokému průmyslovému uplatnění a zároveň vedou k jejich hromadění v biosféře.

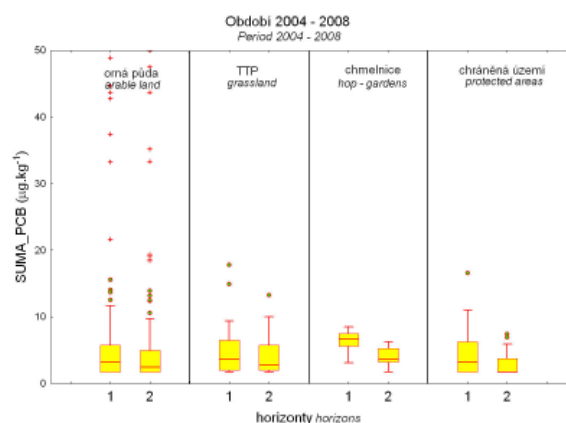
PCB jsou po DDT nejrozšířenějšími chlorovanými aromatickými uhlovodíky v životním prostředí a v současné době se nacházejí ve všech složkách životního prostředí. V lidském organismu se kumulují v tukové tkáni a mateřském mléce. Zvýšené koncentrace způsobují změny na kůži, změny spojené s indukci enzymů, estrogenní aktivitou, dochází k imunosupresi (všeobecnému snížení obranyschopnosti organismu), poruchám reprodukce a zvětšení štítné žlázy. Jsou podezřelé z karcinogenních účinků.

Toxický charakter PCB byl definitivně prokázán v 70. letech a bylo ověřeno, že nebezpečnost přítomnosti PCB v životním prostředí a potravních řetězcích je násobena schopností kumulovat se především v tukových tkáních organismů. Výroba a použití PCB byla poté v mnoha zemích světa omezena nebo zrušena, ale ne v Československu. Po roce 1972 jejich výroba v ČSSR začala narůstat a dosáhla vrcholu kolem roku 1980! Teprve poté, co byly prokazovány masivní kontaminace hovězího masa, ryb, mléka a másla byla výroba v roce 1984 ukončena.

Tabulka 28. Deskriptivní statistika obsahů sumy 7 kongenerů PCB v půdních vzorcích BMP (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Table 28. Descriptive statistic of the sum of 7 PCB congeners in BSM soil samples (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Kultura (Culture)	Horizont (Horizon)	Průměr (Average)	Min (Min)	Max (Max)	25 perc. (25 th perc.)	Medián (Median)	75 perc. (75 th perc.)	10 perc. (10 th perc.)	90 perc. (90 th perc.)
Orná půda (Arable land)	Ornice (Topsoil)	6,24	1,75	62,8	1,75	3,16	5,80	1,75	9,40
	Podorníčí (Subsoil)	5,61	1,75	72,3	1,75	2,47	4,99	1,75	9,70
Chmelnice (Hop-garden)	Ornice (Topsoil)	6,30	3,14	8,48	5,65	6,71	7,50	3,14	8,48
	Podorníčí (Subsoil)	4,04	1,75	6,30	3,25	3,63	5,29	1,75	6,30
Trvalé travní porosty (Grassland)	Svrchní hor. (Topsoil)	5,15	1,75	17,8	2,04	3,60	6,50	1,75	9,35
	Spodní hor. (Subsoil)	4,19	1,75	13,3	2,06	2,83	5,75	1,75	7,60
CHKO (Protected areas)	Svrchní hor. (Topsoil)	4,77	1,75	16,6	1,75	3,20	6,25	1,75	10,1
	Spodní hor. (Subsoil)	2,93	1,75	7,40	1,75	1,75	3,78	1,75	5,90



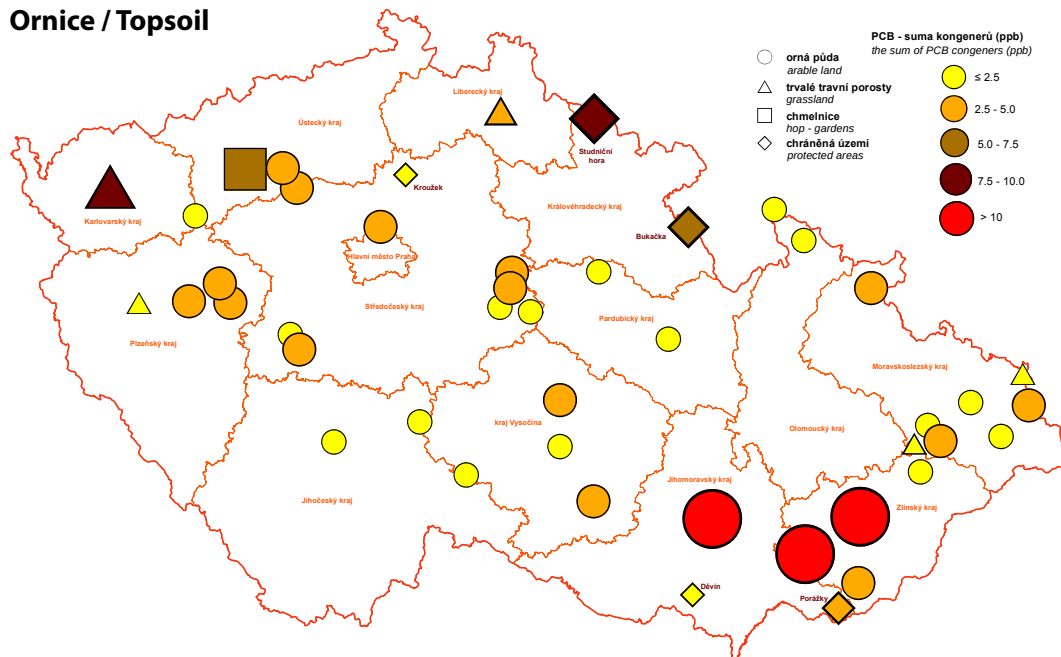
Graf 28. Rozpětí obsahů sumy 7 kongenerů PCB (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Figure 28. Content range of the sum of 7 PCB congeners (2004–2008, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

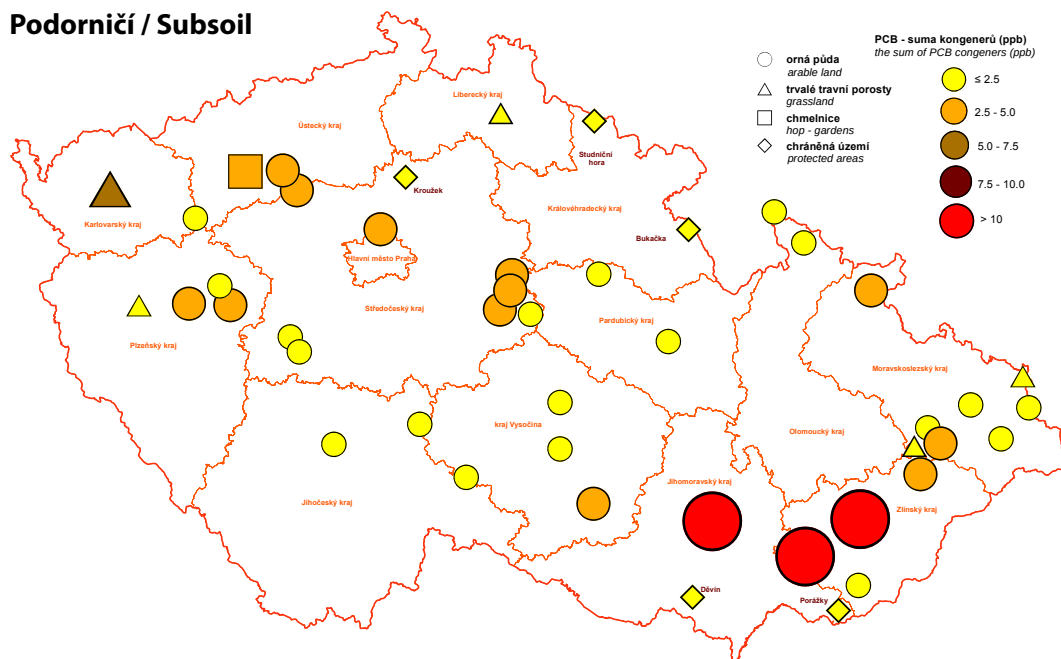
1 – ornice / svrchní horizont (topsoil)
2 – podorníčí / spodní horizont (subsoil)

Mapka 29. Obsah PCB v ornici a podorničí zemědělských půd BMP (medián, 2004–2008, všechny kultury, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)
 Map 29. The content of PCB in topsoil and subsoil of agricultural soils of monitoring (median, 2004–2008, all cultures, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



6.5 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)

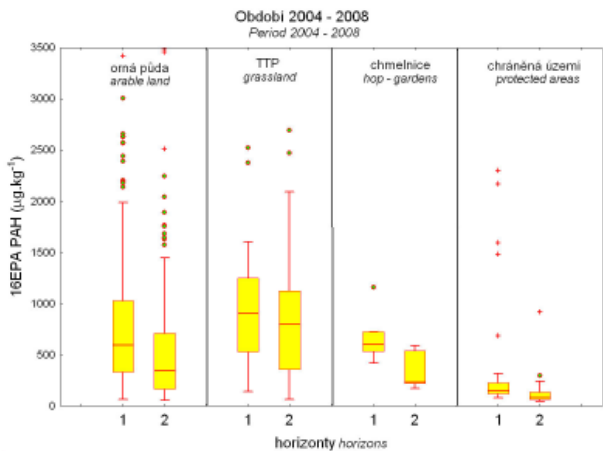
Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) tvoří skupinu více než 100 rozdílných chemických látek (s nejméně dvěmi benzenovými jádry bez heterogenních atomů nebo substituentů) vznikajících nedokonalým spalováním uhlí, olejů, plynů, odpadů nebo jiných organických látek za omezeného přístupu kyslíku při teplotách 500–900 °C. PAH se v prostředí nacházejí většinou jako směs několika uhlovodíků. Přírodní zdroje jsou ve srovnání s antropogenními zanedbatelné, proto jsou PAH dobrými indikátory antropogenních vstupů do vzdálených, relativně čistých oblastí. Mnohé PAH jsou mutagenní, karcinogenní nebo teratogenní.

Pro PAH je typický dálkový transport. Významným transportním médiem je ovzduší. PAH se zde nacházejí ve formě par nebo aerosolu, až 75 % těchto látek je vázáno na respirabilní frakci. Z atmosféry jsou vymývány suchou a mokrou depozicí, což je také hlavní zdroj kontaminace zemědělských plodin. Depozice dosahuje maxim v zimním období, minim v letním období, což souvisí s rychlejším procesem degradace těchto látek prostřednictvím fotochemických reakcí a nárůstem spalovacích procesů v zimě.

Díky vysoké lipofilitě jsou velmi dobře absorbovány z gastrointestinálního traktu savců a distribuovány do různých tkání. PAH nemají tendenci k bioakumulaci v tukových tkáních obratlovců, z důvodu rychlých metabolických změn. U některých vzniklých derivátů byly prokázány silnější karcinogenní účinky než u původních PAH.

Tabulka 29. Deskriptivní statistika obsahů sumy 16 EPA PAH v půdních vzorcích BMP (2004–2008, µg.kg⁻¹)
Table 29. Descriptive statistic of the sum of 16 EPA PAH content in BSM soil samples (2004–2008, µg.kg⁻¹)

Kultura (Culture)	Horizont (Horizon)	Průměr (Average)	Min (Min)	Max (Max)	25 perc. (25 th perc.)	Medián (Median)	75 perc. (75 th perc.)	10 perc. (10 th perc.)	90 perc. (90 th perc.)
Orná půda (Arable land)	Ornice (Topsoil)	837	66,7	5167	335	595	1029	200	1906
	Podorničí (Subsoil)	557	55,3	4046	168	348	710	112	1300
Chmelnice (Hop-garden)	Ornice (Topsoil)	688	419	1161	533	600	726	419	1161
	Podorničí (Subsoil)	353	174	591	223	235	542	174	591
Trvalé travní porosty (Grassland)	Svrchní hor. (Topsoil)	948	143	2524	531	905	1250	160	1602
	Spodní hor. (Subsoil)	998	66,2	3662	356	804	1125	139	2474
CHKO (Protected areas)	Svrchní hor. (Topsoil)	449	81,4	2302	122	154	229	91,1	1597
	Spodní hor. (Subsoil)	140	47,4	917	64,0	80,7	137	54,0	241



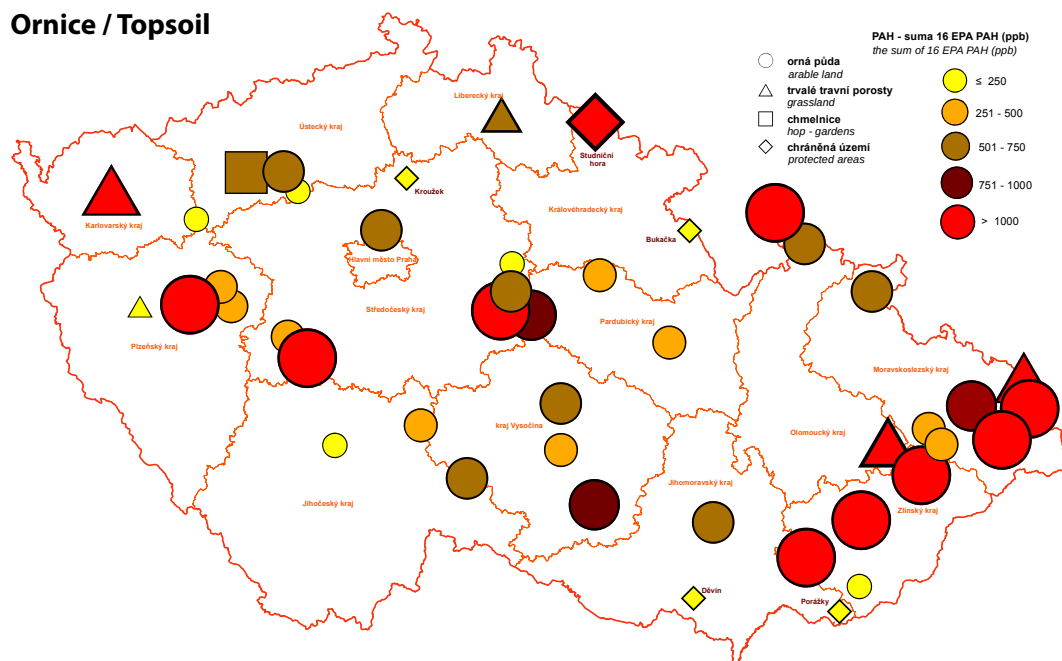
Graf 29. Rozpětí obsahů sumy 16 EPA PAH (2004–2008, µg.kg⁻¹)
Figure 29. Content range of the sum of 16 EPA PAH (2004–2008, µg.kg⁻¹)

1 – ornice / svrchní horizont (topsoil)
2 – podorničí / spodní horizont (subsoil)

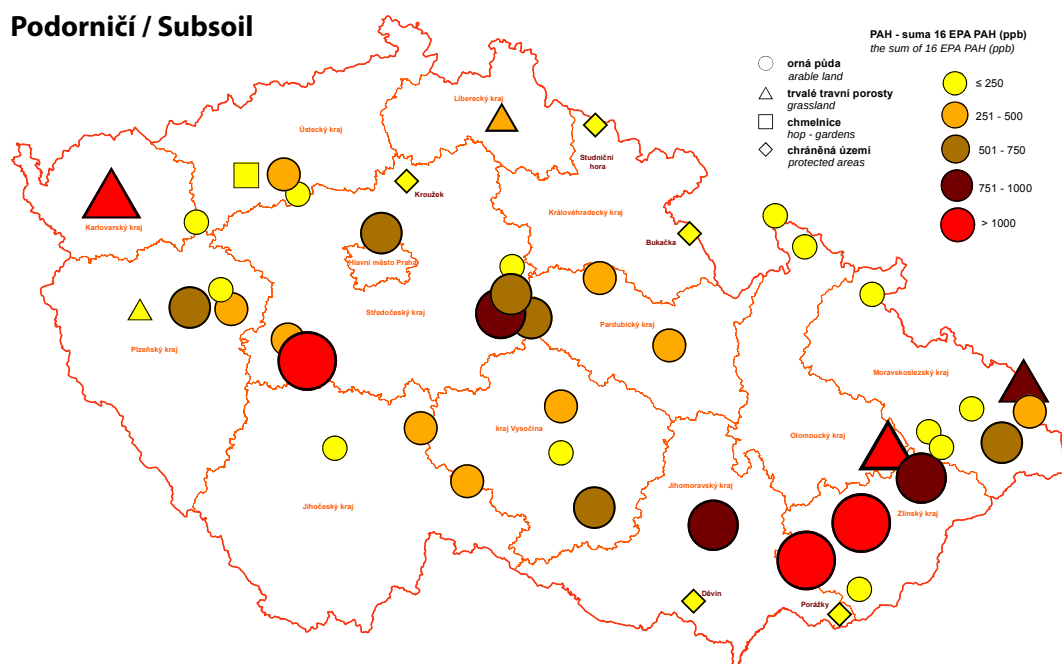
Mapka 30. Obsah sumy 16 EPA PAH v ornici a podorničí zemědělských půd BMP (medián 2004–2008, všechny kultury, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Map 30. The content of the sum of 16 EPA PAH in topsoil and subsoil of agricultural soils of monitoring (median 2004–2008, all cultures, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)

Ornice / Topsoil



Podorničí / Subsoil



7 Půdní mikrobiologie v systému hodnocení kvality půdy

Soil microbiology in the system of soil quality evaluation

Stanislav Malý

7.1 Význam půdních mikroorganismů pro fungování ekosystému a jejich vztah k fyzikálním a chemickým vlastnostem půdy

Significance of soil microorganisms for ecosystem functioning and their relationship to physical and chemical soil properties

Soil microorganisms ensure various ecosystem services. Species and functional richness of soil microbial communities entails for application of microbial methods in the system of soil quality evaluation the requirement for selection of balanced set of parameters which are used as indicators of key ecological functions. The definition of relationships between microbial and abiotic conditions of site is the prerequisite for determination of limits in which monitored values of biomass and activities of soil microorganisms occur.

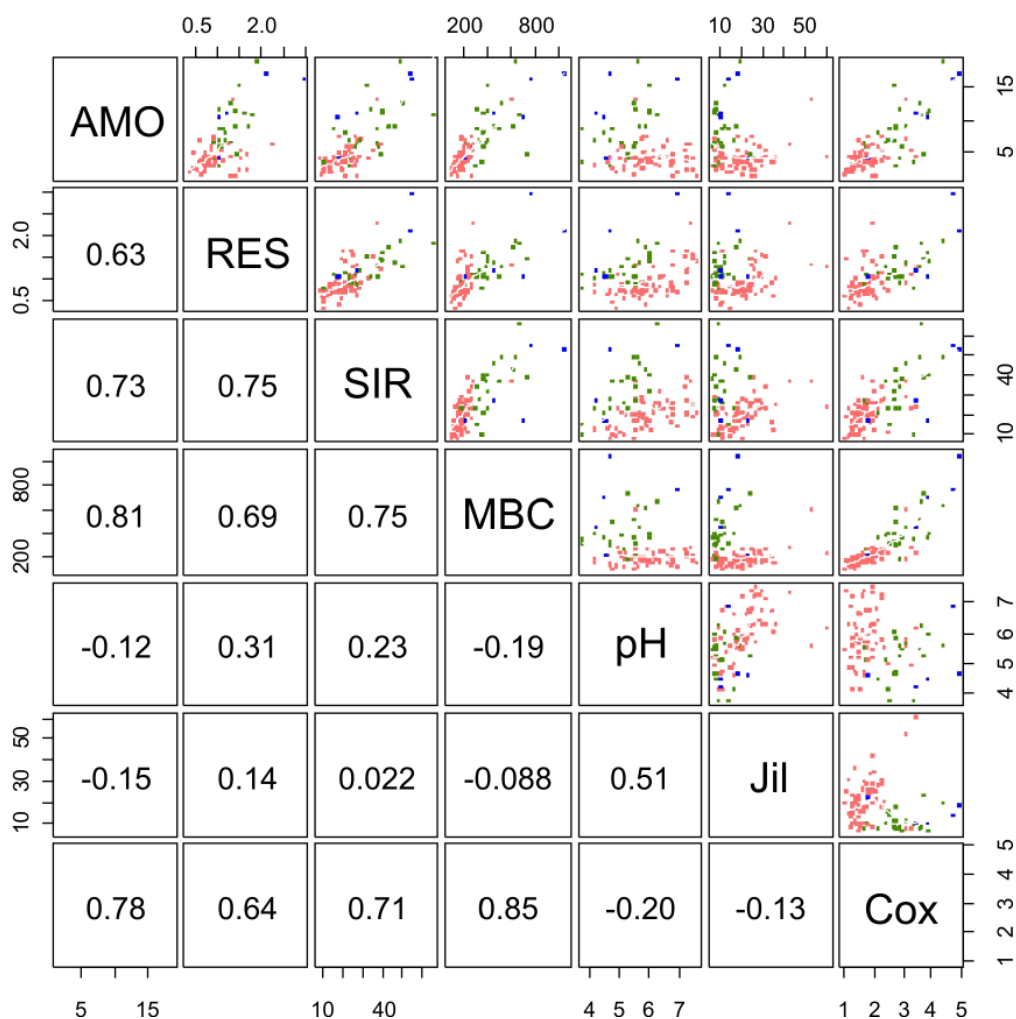
Ačkoliv půdní mikroorganismy představují méně než 0,1 % půdní hmoty, zajišťují řadu funkcí nepostradatelných z hlediska fungování celého ekosystému. Skutečnost, že jsou schopny přeměňovat všechny přírodní a mnoho člověkem vyrobených látek a tak zajistit opětovné zpřístupnění živin ostatním organismům, úzce souvisí s druhovou bohatostí půdních mikrobiálních společenstev. Odhaduje se, že jeden gram půdy obsahuje až 10 000 mikroorganismů s různým genomem. I přes mohutný nástup molekulárně-biologických metod jich dosud byl popsán pouze zlomek. Během evoluce byly mikroorganismy vybaveny velmi širokým spektrem enzymatických drah, což jim umožňuje využít pro získání energie nejrozličnější organické i anorganické látky. Výkyvy vnějších podmínek jako je množství dostupného substrátu, vlhkost nebo teplota podminily vznik různých růstových strategií a mechanismů nutných pro přežití.

Jednotlivé druhy půdních archaeí, bakterií a hub nepůsobí v půdě osamoceně, ale vytváří hustou síť vzájemně propletených vztahů. Pro zajištění mnoha funkcí je nutná kooperace různých druhů provádějící jednotlivé kroky v přesně stanoveném pořadí. Díky činnosti mikroorganismů je na jednu stranu z půdy do atmosféry uvolňováno významné množství skleníkových plynů, na druhou stranu jsou půdní mikroorganismy schopny vázat do své biomasy vzdušný CO_2 a tak ovlivňovat složení atmosféry. Kromě výše uvedené rozhodující role půdních mikroorganismů v koloběhu živin jsou mikroorganismy nepostradatelné i pro tvorbu půdní struktury. Druhová a funkční bohatost půdních mikrobiálních společenstev znamená pro aplikaci mikrobiálních metod v systému hodnocení kvality půdy požadavek zvolit vyváženou sadu parametrů, které slouží jako indikátory klíčových ekologických funkcí.

Definování vztahů mezi mikrobiálními a abiotickými podmínkami stanoviště (fyzikální a chemické půdní charakteristiky, způsob obhospodařování, vegetační pokryv, klima) je podmínkou pro stanovení limitů, ve kterých se nacházejí sledované hodnoty biomasy a aktivity půdních mikroorganismů. Z hlediska ochrany půdy to znamená vytvoření referenční sady nekontaminovaných půd se známou historií. Stanovené hodnoty mikrobiální biomasy a aktivity v hodnocené půdě jsou potom porovnány s hodnotami v referenční sadě a to v závislosti na abiotických podmínkách stanoviště. Vzájemné vztahy mezi abiotickými a mikrobiologickými půdními vlastnostmi a mezi mikrobiologickými navzájem v půdách bazálního monitoringu shrnují grafy 30 a 31.

Graf 30. Diagram zobrazující vzájemné vztahy mezi vybranými fyzikálně-chemickými a mikrobiologickými půdními vlastnostmi.

Figure 30. Diagram representing mutual relationships between selected physico- chemical and microbiological soil properties.

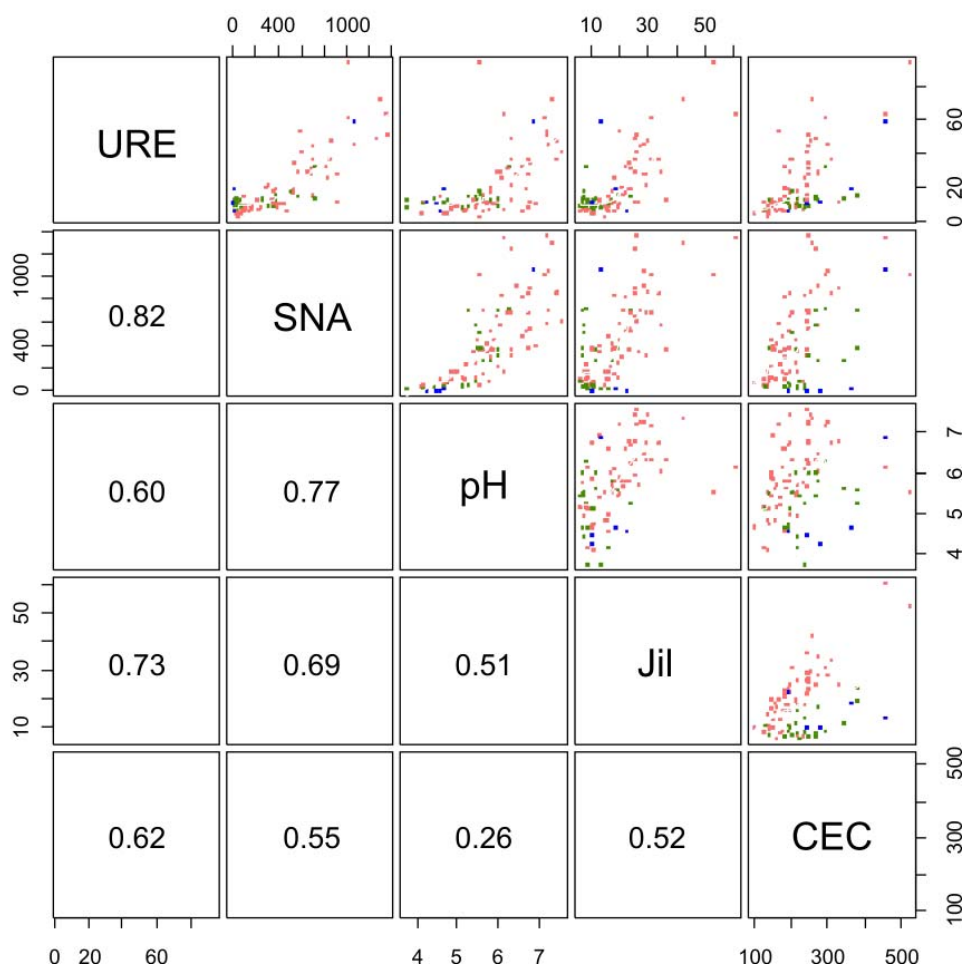


Červené body – orná půda, zelené – travní porosty ÚKZÚZ, modré – travní porosty CHKO. V dolním panelu jsou uvedeny hodnoty korelačních koeficientů. AMO – N mineralizace ($\mu\text{g NH}_4^+ - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), RES – bazální respirace ($\mu\text{g CO}_2 - \text{C} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), SIR – substrátem indukovaná respirace ($\mu\text{g O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), pH – KCl (1 mol.l⁻¹), MBC – uhlík mikrobiální biomasy ($\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1}$), Jil – obsah částic menších než 0,002 mm, Cox – oxidovatelný uhlík (%).

Red points – arable soil, green points – ÚKZÚZ grassland, blue points – Protected Landscape Area grassland. The values of correlation coefficient are given in the lower panel. AMO – N mineralisation ($\mu\text{g NH}_4^+ - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), RES – basal respiration ($\mu\text{g CO}_2 - \text{C} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), SIR – substrate induced respiration ($\mu\text{g O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), pH – KCl (1 mol.l⁻¹), MBC – microbial biomass C ($\mu\text{g C} \cdot \text{g}^{-1}$), Jil – the content of particles smaller than 0,002 mm, Cox – organic C (%).

Graf 31. Diagram zobrazující vzájemné vztahy mezi vybranými fyzikálně-chemickými a mikrobiologickými půdními vlastnostmi.

Figure 31. Diagram representing mutual relationships between selected physico-chemical and microbiological soil properties.



Červené body – orná půda, zelené – travní porosty ÚKZÚZ, modré – travní porosty CHKO. V dolním panelu jsou uvedeny hodnoty korelačních koeficientů. URE – aktivita ureázy ($\mu\text{g NH}_4^+ - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), SNA – nitrifikace ($\text{ng NO}_2^- - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), pH – KCl ($1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$), Jil – obsah částic menších než 0.002 mm , CEC – kationtová výměnná kapacita ($\text{mmol chem ekv} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Red points – arable soil, green points – ÚKZÚZ grassland, blue points – Protected Landscape Area grassland. The values of correlation coefficient are given in the lower panel. URE – urease activity ($\mu\text{g NH}_4^+ - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), SNA – nitrification ($\text{ng NO}_2^- - \text{N} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), pH – KCl ($1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$), Jil – the content of particles smaller than 0.002 mm , CEC – cation exchange capacity ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$).

7.2 Půdy

Soils

Samples were taken from 118 plots, from which 63 were on arable land and 27 were on permanent grasslands. Regarding the above mentioned number of permanent grasslands 22 of them belong to the basal soil monitoring system of ÚKZÚZ (PGL – ÚKZÚZ) and 5 of them are in protected landscape areas (PGL – PLA). On 28 plots there was change management practices.

Vzorky byly odebírány ze 118 ploch, z nichž 63 se nacházelo na orné půdě a 27 na trvalých travních porostech. Z uvedeného počtu trvalých travních porostů jich 22 patří do sítě pozorovacích ploch bazálního monitoringu ÚKZÚZ (TTP – ÚKZÚZ) a 5 ploch se nachází v chráněných krajinných oblastech (TTP – CHKO). Na posledně jmenovaných je vyloučena zemědělská činnost. Ve všech případech travních ploch se jednalo o půdy bez vyvinutého humusového horizontu. Na 28 plochách došlo ke změnám ve způsobu obhospodařování. Plochy jsou rozděleny do dvou skupin, časové schéma odběru vzorků a rozložení ploch dle způsobu obhospodařování je shrnuto v tabulkách 30 a 31. Vzorky byly odebírány z horních 15 cm, směsný vzorek byl připraven z 18 vpichů. Po prosátí přes 2 mm síto byly vzorky uskladněny v ledničce a analyzovány během následujících třech měsíců. Od roku 2007 jsou vzorky po úpravě zamrazeny při –20 °C. Před analýzou jsou rozmrazovány minimálně týden v ledničce.

Tabulka 30. Časové schéma odběru vzorků podle rozdělení ploch do odběrových skupin

Table 30. Time scheme of sampling according to the separation of sites into two sampling groups

	Rok (Year)	Měsíc (Month)
Skupina 1 (Group 1)	1999, 2000, 2001	IV, VII, X
	2002, 2003, 2004, 2006, 2008	X
Skupina 2 (Group 2)	2005, 2007	X

Tabulka 31. Rozdělení ploch dle způsobu obhospodařování

Table 31. Division of plots according to land use

Způsob obhospodařování (Land use)	Skupina 1 (Group 1)	Skupina 2 (Group 2)	Skupina 12 (Group 12)
Orná půda (Arable land)	28	35	0
Změna způsobu obhospodařování (Change management practices)	8	20	0
TTP – ÚKZÚZ (Grassland – ÚKZÚZ)	17	4	1
TTP – CHKO (Grassland – protected areas)	0	0	5

Skupina 12 – plochy ze skupiny 1, které byly vzorkovány i v odběrových termínech skupiny 2

Group 12 – plots from group 1 which were also sampled in sampling terms of group 2

7.3 Mikrobiální biomasa

Microbial biomass

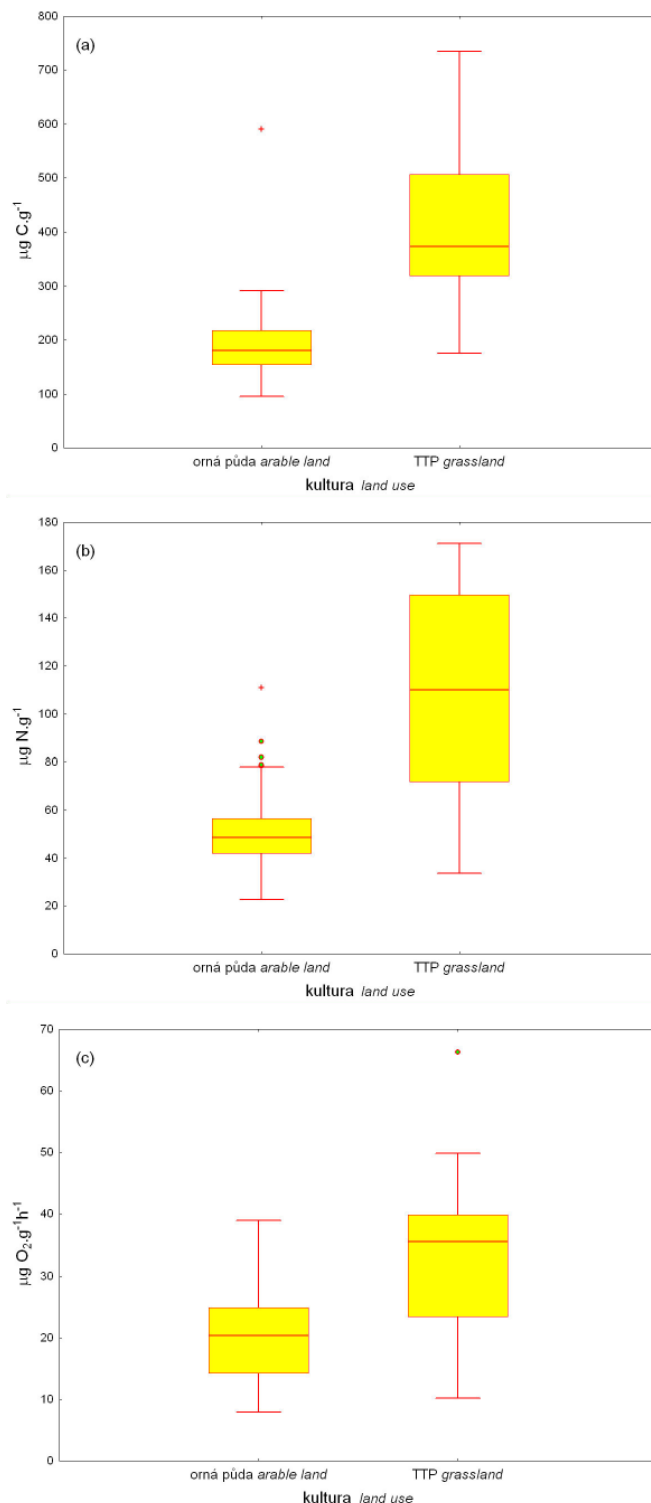
Grassland soils contained approximately a double C and N of microbial biomass (MBC respectively MBN) than arable soils. The highest values were reached by microbial biomass in PGL soils (PLA). There was found significant positive relation between MBC, MBN and C_{ox} . The substrate-induced respiration (SIR) was higher in grassland soils than in arable soils and it positively correlated with MBC and MBN.

Mikrobiální biomasa představuje nejlabilnější frakci půdní organické hmoty. Její hodnoty odrážejí schopnost půdy transformovat organickou hmotu a vázat živiny ve formě dostupné pro další organizmy. Jedná se o časnější indikátor změn schopnosti půdy akumulovat uhlík než je tomu v případě celkového uhlíku.

Obsah půdní mikrobiální biomasy byl stanovován fumigační extrakční metodou jako množství C (MBC) a N (MBN) vázané v mikrobiálních buňkách. Během fumigace (působení par chloroformu na půdní vzorek umístěný v exsikátoru) jsou intaktní mikrobiální buňky lyzovány a mikrobiální organická hmota uvolněna do půdy. Organický C a N jsou extrahovány síranem draselným ($c = 0,5 \text{ mol.l}^{-1}$), jejich obsahy stanoveny ve fumigovaných a nefumigovaných vzorcích a z rozdílu je vypočten obsah MBC a MBN. Substrátem indukovaná respirace (SIR) stanovovaná jako množství uvolněného O_2 po přidavku substrátu obsahující glukózu s přidavkem N a P odráží množství aktivní biomasy půdních heterotrofů. Stanovení MBC a MBN bylo prováděno od roku 1999, SIR od roku 2006.

Travní půdy ÚKZÚZ obsahovaly přibližně dvojnásobně MBC a MBN než půdy orné (graf 32). Nejvyšších hodnot dosahovala mikrobiální biomasa v půdách TTP – CHKO, medián MBC činil $703 \mu\text{g C.g}^{-1}$, MBN $152 \mu\text{g N.g}^{-1}$. Signifikantní pozitivní vztah byl nalezen mezi MBC, MBN a C_{ox} , hodnoty MBN navíc pozitivně korelovaly s pH. SIR byla vyšší v travních půdách než v půdách orných a pozitivně korelovala s MBC a MBN. Významné odchylky od vztahu mezi MBC a SIR lze očekávat při stresových podmínkách, jejichž přítomnost je nepravděpodobná v půdách bazálního monitoringu. Časová variabilita MBC vyjádřená variačním koeficientem vypočteným z hodnot stanovených během let 1999–2008 ve vzorcích půd série 1 činila 19,9 % (půdy orné, medián) a 18,6 % (TTP – ÚKZÚZ, medián). Odpovídající hodnoty v případě MBN byly 26,4 % (orné půdy) a 24,5 % (TTP – ÚKZÚZ).

Graf 32. Krabicové diagramy MBC (a), MBN (b) a SIR (c).
Figure 32. Boxplots of MBC (a), MBN (b) and SIR (c).



Zobrazen je medián a první a třetí kvartil. Vertikální čára pod prvním kvantilem zobrazuje 1,5 násobek interkvartilového rozpětí. Vertikální čára nad třetím kvantilem zobrazuje buď 1,5 násobek interkvartilového rozpětí nebo maximum, podle toho, která z uvedených hodnot je menší. Hodnoty větší než 1,5 násobek interkvartilového rozpětí nad třetím kvantilem jsou zobrazeny individuálně. TTP – trvalé travní porosty ÚKZÚZ.

The median and the first and the third quartiles are shown. The vertical below the first quartile indicates 1.5 times the inter-quartile range. The vertical lines above the third quartile indicates either 1.5 times the inter-quartile range or the maximum value, whichever is smaller. Values higher than one and half fold inter-quartile range above the third quartile are represented individually. Orna – arable soil, TTP – ÚKZÚZ permanent grassland.

7.4 C a N mineralizace

C and N mineralisation

Respiration rate and N mineralisation were higher in grassland soils than in arable soils. Respiration positively correlated with C_{ox} , pH and MBC both in arable and grassland soils; in arable land moreover with the content of clayey particles. N mineralisation demonstrated positive correlation with C_{ox} a MBC in arable and grassland soils, in arable land moreover with pH.

Obsah mikrobiální biomasy nevypovídá o okamžitém fyziologickém stavu půdních mikroorganismů, k tomu je třeba stanovení mikrobiálních aktivit. Jak bylo zmíněno výše, půdní mikroorganismy jsou vybaveny velice pestrým spektrem metabolických drah. Řada z nich je společná převážně většině mikroorganismů, jiné jsou specifické pro úzce specializované skupiny. C a N mineralizace jsou typickým příkladem první skupiny. Na jednu stranu mineralizace organické hmoty představuje jeden ze základních procesů koloběhu živin v půdě, na druhou stranu rychlý rozklad organické hmoty může vést k jejímu snížení s následným negativním dopadem na půdní strukturu a uvolnění CO_2 do atmosféry. Vysoké hodnoty C mineralizace (respirace) obecně indikují vysoký obsah dostupného substrátu. Přítomnost stresových podmínek může vést ke zvýšení respirace, neboť více energie je spotřebováno na zajištění základních životních funkcí. Ke snížení respirace může dojít v případě, kdy významná část daného mikrobiálního společenstva není schopna adaptace na stresové podmínky. Posun ve složení společenstva směrem k mikroorganismům lépe adaptovaným na stres ale může tyto efekty maskovat. Hodnocení rychlosti mineralizace organické hmoty je třeba vždy provádět s ohledem na obsah organického uhlíku a mikrobiální biomasy.

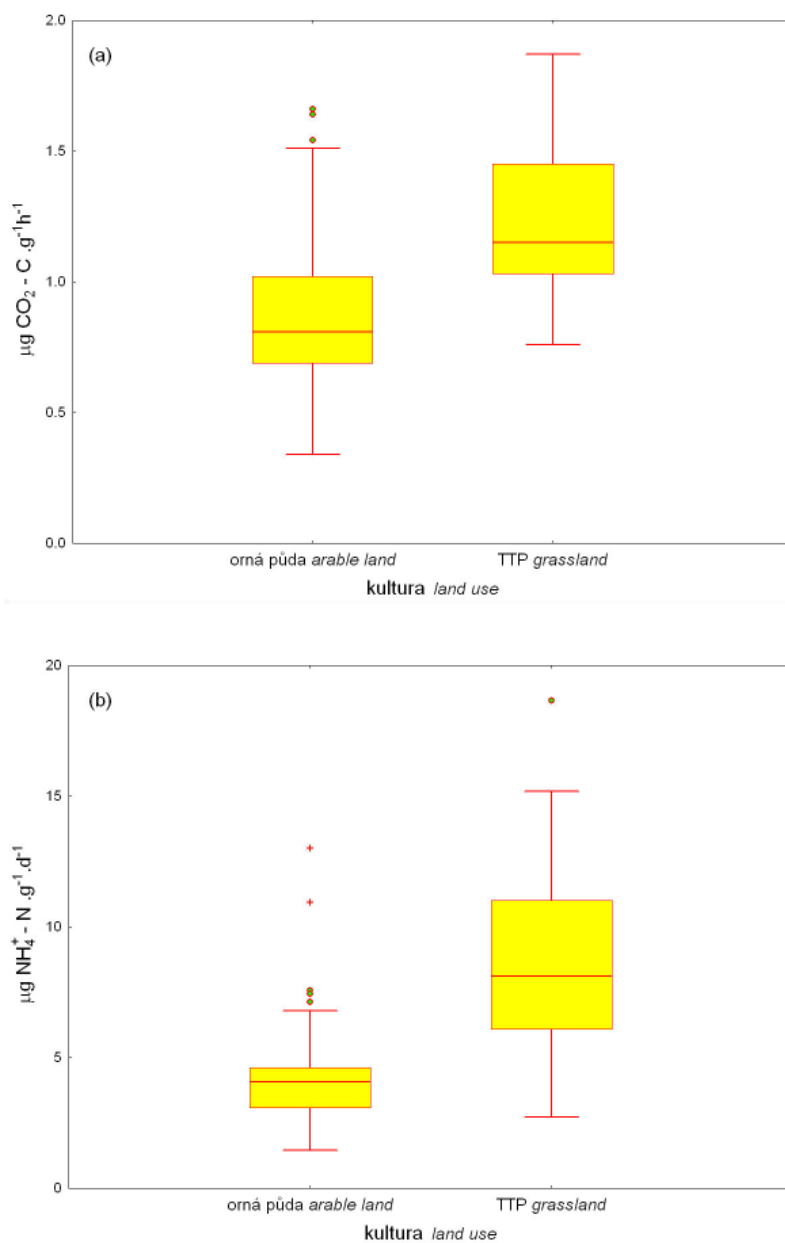
C mineralizace (bazální respirace) byla stanovována jako množství uvolněného CO_2 z půdy během třídenní inkubace. Při stanovení N mineralizace byly půdní vzorky týden inkubovány za nepřístupu vzduchu ve zkumavce naplněné vodou a N mineralizace byla vyjádřena jako čistý přírůstek amonného N. Obě stanovení se provádí od roku 1999.

Rychlosti respirace a N mineralizace byly vyšší v půdách travních než v půdách orných (graf 33). V půdách TTP – CHKO mediánová hodnota bazální respirace dosáhla hodnoty $1,20 \mu g CO_2-C \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$, N mineralizace $11,0 \mu g NH_4^+-N \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$. Respirace pozitivně korelovala s C_{ox} , pH a MBC v orných i travních půdách, v orných půdách navíc s obsahem jílovitých částic. N mineralizace vykazovala pozitivní korelaci s C_{ox} a MBC v orných i travních půdách, v travních navíc s pH.

Mediány variačních koeficientů vypočtené z hodnot naměřených v průběhu sledování na jednotlivých plochách série 1 činily v případě respirace 30,8 % (orná) a 23,6 % (TTP – ÚKZÚZ), v případě N mineralizace 32,2 % (orná) a 24,2 % (TTP – ÚKZÚZ).

Graf 33. Krabicové diagramy respirace (a) a N mineralizace (b). Legenda viz graf 32.

Figure 33. Boxplots of the respiration (a) and N mineralisation (b) Caption see figure 32.



7.5 Krátkodobá nitrifikační aktivita

Short-term nitrification activity

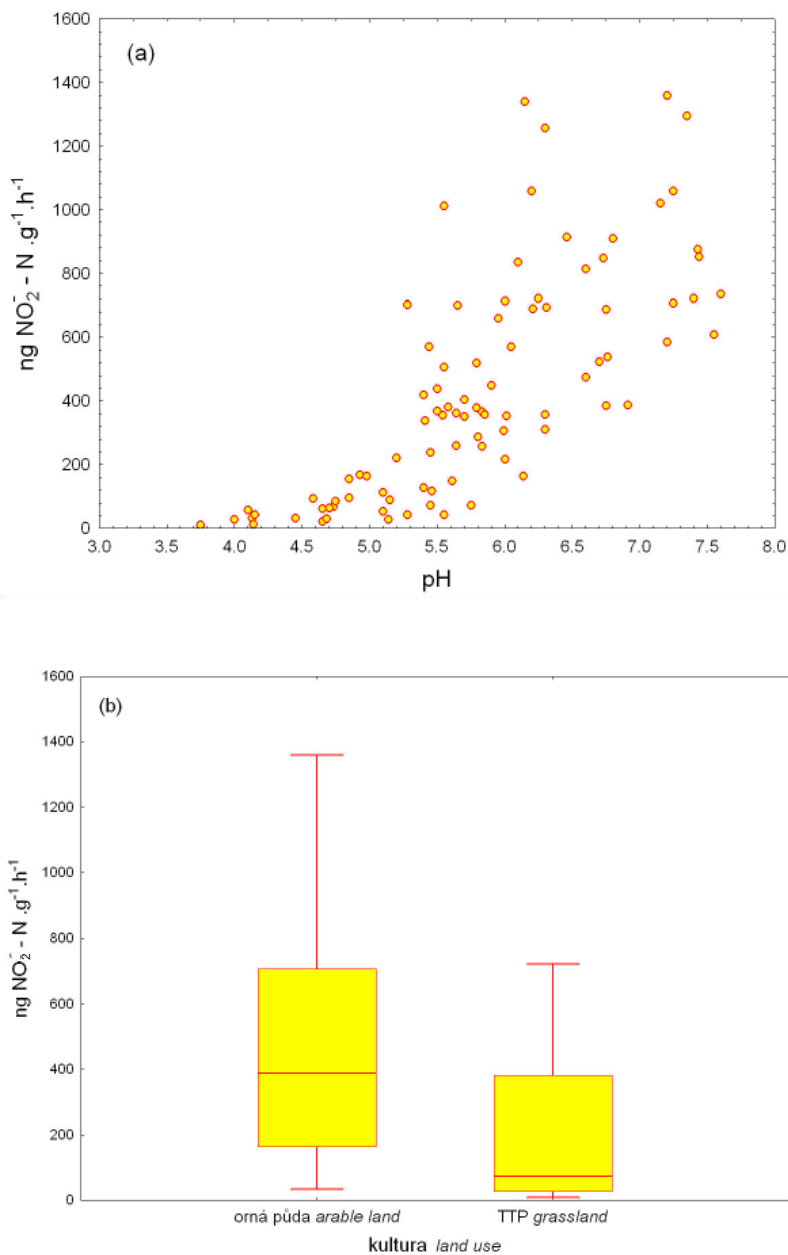
Short-term nitrification activity (SNA) positively correlated with pH, the content of clayey particles and cation exchange capacity. Higher SNA values in arable soils are most likely the result of higher pH values in arable soils in comparison to grassland soils. Positive influence of clayey particles on nitrification activity probably relates to binding of ammonium ions on their surfaces resulting in the creation of microsites with higher concentration of substrate for ammonia-oxidising microorganisms. Determined positive correlation between nitrification and cation exchange capacity may also relate to the process of adsorption of ammonium ions on soil particles surfaces.

Nitrifikace představuje dvoustupňový proces, při kterém je amoniak oxidován na dusitany a ty poté na dusičnany. První stupeň nitrifikace, který byl předmětem sledování, je zajišťován úzkou skupinou půdních bakterií a archaeí. Vzhledem k této skutečnosti se jeví jako vhodný indikátor stresu. Z hlediska fyziologie tyto mikroorganismy představují chemolitotrofní organizmy získávající energii oxidací chemických látek (amoniak) a uhlík pro syntézu biomolekul z CO_2 .

Stanovení bylo prováděno v pufrované půdní suspenzi (pH 7,2) s přidavkem síranu amonného jako substrátu a s chlorečnanem jako inhibitorem oxidace dusitanů na dusičnany. Krátkodobá nitrifikační aktivita (SNA) byla vyjádřena jako přírůstek koncentrace dusitanových iontů během 6 h inkubace. Analýzy se provádí od roku 1999.

Aktivita nitrifikátorů byla závislá na pH (graf 34), obsahu jílovitých částic a kationtové výměnné kapacitě (graf 31). Vyšší hodnoty SNA v orných půdách (graf 34) jsou pravděpodobně výsledkem vyšších hodnot pH v orných půdách v porovnání s půdami travními. Hodnoty SNA ve čtyřech půdách TTP – CHKO, jejichž pH bylo nižší než 5, nepřekročily hladinu analytického šumu. Medián SNA v páté půdě s pH 6,8 činil $1\,110\text{ ng NO}_2^-\text{-N.g}^{-1}\text{.h}^{-1}$. Pozitivní vliv jílovitých částic na nitrifikační aktivitu pravděpodobně souvisí s vazbou amonných iontů na jejich površích. To může vést k tvorbě mikromíst se zvýšenou koncentrací substrátu pro amoniak oxidující mikroorganismy. S procesem adsorbce amonných iontů na povrchy půdních částic pravděpodobně souvisí i nalezená pozitivní korelace mezi nitrifikací a kationtovou výměnnou kapacitou.

Graf 34. Graf závislosti SNA na pH (1M KCl) (a), krabicový diagram SNA (b). Legenda viz graf 32.
Figure 34. The relationship between SNA and pH (1M KCl) (a) and boxplot of SNA (b). Caption see figure 32.



7.6 Růstové charakteristiky půdních heterotrofních mikroorganismů

Growth characteristic of soil heterotrophic microorganisms

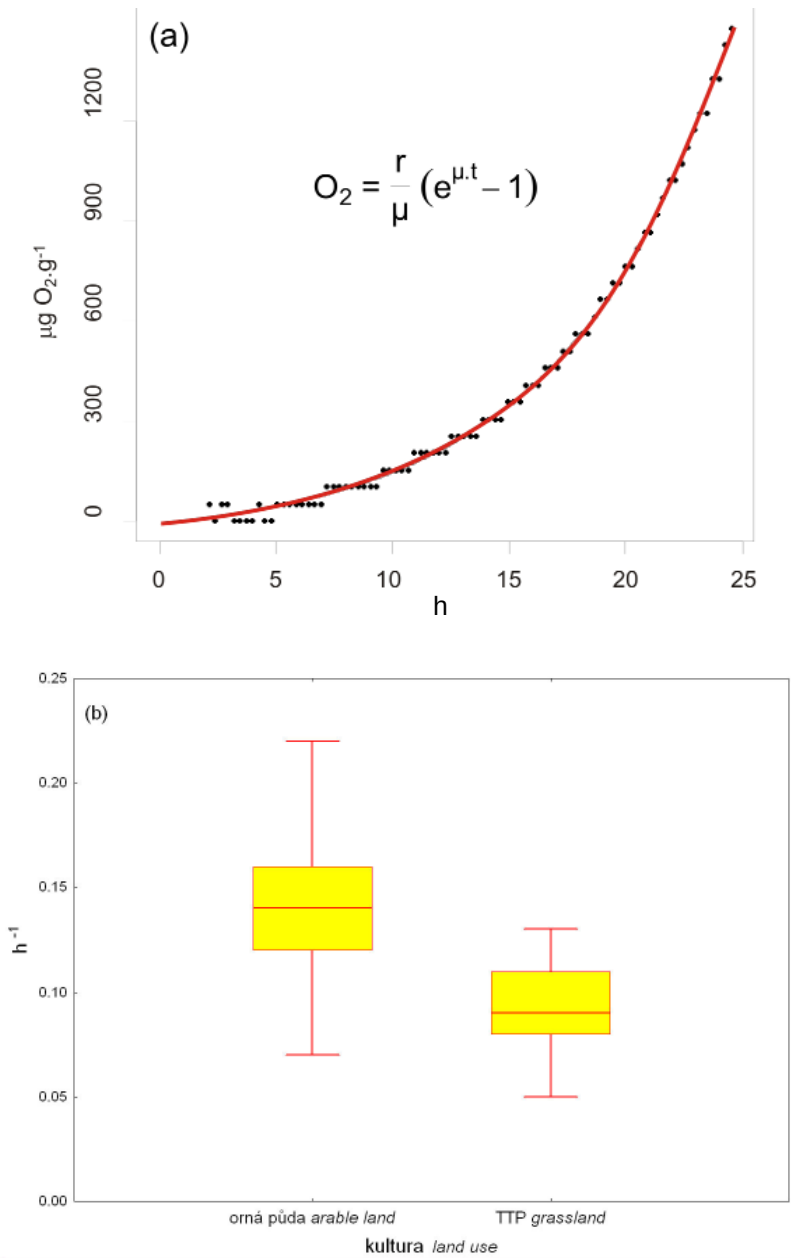
*Specific growth rate μ was determined from respiration growth curve after supplementation of substrate containing glucose, N and P. Microbial communities of arable soils were characterised by higher values of μ than communities of grasslands. It is probably the adaptation of microorganisms in arable soils to seasonal oscillations in the amount of available substrate conducive to shift of microbial community towards *r* strategy. Negative correlation between μ on the one hand and MBC and SIR on the other hand were determined in PGL soils. That points to higher occurrence of *K* strategists under conditions of organic material accumulation in microbial biomass.*

V závislosti na podmínkách stanoviště, zejména dostupnosti a biologické rozložitelnosti substrátu, vyvinuly mikroorganismy dvě růstové strategie: *r* a *K*. Zatímco *r* strategové převažují za podmínek vyšších obsahů snadno rozložitelného substrátu, *K* strategové preferují organické sloučeniny komplexní povahy. *r* strategové reagují na přidavek snadno rozložitelného substrátu okamžitým růstem a za těchto podmínek jsou pro ně typické vysoké hodnoty specifické růstové rychlosti μ . *K* strategie představuje adaptaci na stabilní podmínky, *r* strategové bývají typičtí pro ranější fáze vývoje ekosystému. Mezi *r* a *K* strategiemi existuje plynulý přechod, hovoří se o *r*–*K* kontinuu. Dosud není uspokojivě zodpovězena otázka do jaké míry je *r*/*K* strategie druhově specifická a do jaké míry mohou mikroorganismy svoji růstovou strategii měnit v závislosti na vnějších podmínkách.

Stanovení μ bylo provedeno pomocí respiračních růstových křivek, kdy po přidavku substrátu obsahujícího glukózu s přidavkem N a P byla kontinuálně zaznamenávána spotřeba kyslíku (graf 35). Měření růstových křivek se provádí od roku 2003.

Mikrobiální společenstva orných půd byla charakteristická vyššími hodnotami μ než společenstva půd travních (graf 35). Tato skutečnost zřejmě souvisí s adaptací mikroorganismů v orných půdách na sezónní výkyvy v množství dostupného substrátu vedoucí k posunu mikrobiálního společenstva směrem k *r* strategii. Významný vliv mohou mít i agrotechnické zásahy narušující půdní strukturu, jako je např. orba. Ty způsobují, že půdy orné představují ekosystém v časnější fázi vývoje než půdy travní. V půdách TTP byly nalezeny negativní korelace mezi μ na jedné straně a MBC a SIR na straně druhé. To ukazuje na vyšší přítomnost *K* strategů za podmínek akumulace organické hmoty v mikrobiální biomase. Tento předpoklad potvrzuje nalezená pozitivní korelace mezi μ a specifickou respirací (respiration/MBC). Předpokládá se, že *r* strategové v porovnání s *K* strategií metabolizují více organické hmoty pro získání energie nutné pro udržení fyziologických funkcí vzhledem k energii vynaložené pro růst.

Graf 35. Respirační růstová křivka (a) a krabicový diagram specifické růstové rychlosti μ (b). Legenda viz graf 32.
Figure 35. Respiration growth curve (a) and boxplot of specific growth rate μ (b). Caption see figure 32.



7.7 Enzymatické aktivity

Enzyme activities

Activity of β -glucosidase reflecting the content of active microbial biomass showed higher values in grassland soils rather than in arable soils and positively correlated to C_{ox} , MBC a SIR. Medians of urease activities in arable and grassland soil were similar. Found positive influence of higher pH on urease activity proved only from pH value 5.5. The binding of urease to clayey particles explains the positive correlation between urease activity and clayey particles content in arable land where mechanical disturbance of soil structure leads to degradation of organic material including enzymes.

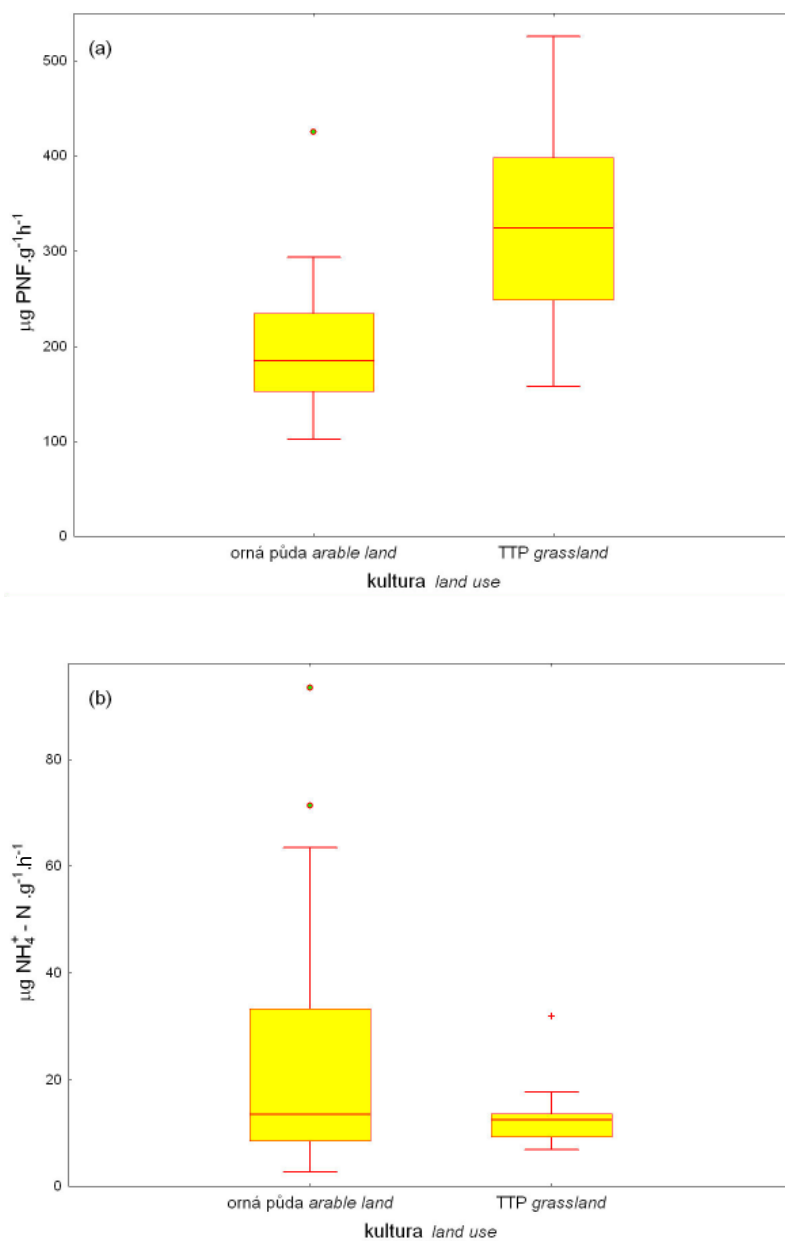
Měření enzymatických aktivit umožňuje stanovit rychlost vybraných klíčových reakcí složitých procesů přeměny organické hmoty. Výhodou těchto stanovení je znalost procesu, který je sledován, rychlost analýzy a možnost paralelního měření více enzymatických aktivit. Hlavní nevýhodou je neporovnatelnost podmínek, za kterých je stanovení prováděno (např. vysoká koncentrace substrátu a definované pH) s těmi, kterým jsou mikroorganismy vystaveny v přírodě. Určité omezení v interpretaci výsledků znamená i fakt, že aktivity jsou většinou měřeny pomocí umělého substrátu, přičemž afinita k přirozenému substrátu může být odlišná.

Od roku 2004 jsou stanovovány aktivity β -glukosidázy a ureázy. Enzym β -glukosidáza štěpí disacharid celobiózu na glukózu při rozkladu celulózy, ureáza rozkládá ureu na CO_2 a NH_3 . Měření aktivity β -glukosidázy je založeno na kolorimetrickém stanovení uvolněného p-nitrofenolu (PNF) za použití p-nitrofenyl- β -D-glukosidu jako substrátu. Aktivitu ureázy představuje množství uvolněného amonného N během inkubace půdního vzorku s roztokem urei.

Aktivita β -glukosidázy odrážející obsah aktivní mikrobiální biomasy vykazovala vyšší hodnoty v půdách travních než orných (graf 36) a pozitivně korelovala s C_{ox} , MBC a SIR. Medián β -glukosidázové aktivity naměřené v půdách TTP – CHKO činil $275 \mu g \text{ PNF} \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$. Mediány ureázových aktivit v orných a travních půdách byly podobné, rozpětí naměřených hodnot v orných půdách bylo ale výrazně vyšší, což je pravděpodobně způsobeno větším rozsahem pH v orných půdách. Nalezený pozitivní vliv vyššího pH na ureázovou aktivitu se projevil až od hodnoty pH 5,5. Ureáza je v půdě chráněná před degradací vazbou na jílovité částice. To vysvětluje pozitivní korelaci mezi ureázovou aktivitou a obsahem jílovitých částic v orné půdě, kde mechanické narušování půdní struktury orbou vede k degradaci organické hmoty, včetně enzymů.

Graf 36. Krabicové diagramy aktivit β -glukosidázy (a) a ureázy (b). Legenda viz graf 32.

Figure 36. Boxplots of β -glucosidase (a) and urease (b) activities. Caption see figure 32.



8. Shrnutí

Výsledky z provedených odběrů mohou být shrnuty do následujících bodů:

1) Fyzikální charakteristiky půd BMP

- Půdy na plochách BMP patří převážně, jako většina půd ČR, do kategorie středně těžkých půd (tj. půdy hlinitopísčité a písčitohlinité).
- Objemová hmotnost redukovaná a pórovitost organominerálních horizontů půd BMP je v kategoriích nevyhovující a dobrá podle Kutílka.
- V hodnocení ulehlosti jsou půdy BMP (jak ornice, tak i podorničí) nejčastěji zastoupeny v kategoriích silně ulehlá a ulehlá.
- Zastoupení půdních typů BMP je podobné jako v rámci celé ČR.

2) Mikroelementy

- Obsahy mikroelementů v ornici jsou vyšší než v podorničí; u mědi (Cu), manganu (Mn) a zinku (Zn) významně.
- Obsahy přístupné mědi (Cu) a zinku (Zn) jsou průkazně vyšší v půdách kontaminovaného subsystému ve srovnání s půdami v základním subsystému (platí pro ornici i pro podorničí).
- Podle kategorizace zásobenosti půd mikroelementy podle Neubergera jsou měď (Cu) a mangan (Mn) ve střední kategorii zásobenosti, zinek (Zn) a bor (B) pak v kategoriích střední a vysoké. U všech sledovaných prvků se v podorničí projevuje tendence posunu do nižších kategorií zásobenosti.

3) Rizikové prvky – rozklad lučavkou královskou

- V základním subsystému byly zjištěny mezi odběrovými periodami průkazné rozdíly v obsazích berylia (Be), niklu (Ni) a olova (Pb) jak v ornici tak i podorničí a u kadmia (Cd) pouze v ornici. Pouze Ni a Pb vykazují mírný nárůst obsahů oproti odběrům v předchozích periodách.
- Půdy v kontaminovaném subsystému mají průkazně vyšší obsahy všech sledovaných rizikových prvků než půdy v základním subsystému.

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

- Obsahy organochlorových pesticidů se v průběhu sledování výrazně nemění, rozdíly jsou jen v obsazích v rámci odběrových hloubek.
- Na lokalitách BMP vzrůstá vzájemný poměr metabolitů DDT v pořadí DDD < DDE < DDT, přičemž lokality se zvýšenými obsahy látek skupiny DDT mají zároveň zvýšenou zátěž HCB.
- Mezi obsahy PCB se neprokázala žádná shoda mezi odebíranými horizonty ani v rámci sledovaných let, suma 7 kongenerů je na plochách BMP tvořena převážně tzv. výsechlorovanými PCB (138, 153, 180).
- U obsahů PAH se prokázala jejich shoda v jednotlivých letech sledování a potvrdily se průkazné rozdíly v odebíraných horizontech.
- Zjistily se průkazné rozdíly v obsazích PAH mezi vzorky původem z chráněných území a z trvalých travních porostů a orných půd (CHÚ < orná půda = TTP).

5) Půdní mikrobiologie

- Způsob obhospodářování vede k signifikantnímu zvýšení obsahu organické hmoty v půdách TTP ve srovnání s půdami ornými, což vede k vyšším obsahům mikrobiální biomasy a vyšší mikrobiální aktivitě.

8. Summary

The results of performed samples could be summarized in the subsequent points:

1) The physical soil characteristics

- The soil on BSM plots fall into the class of medium soil (i.e. clay-sand soil and sand-clay soil) as in the majority of Czech soils.
- Volumetric reduced weight and porosity of organo-mineral soil horizons in BSM system are insufficient and good in classes according to Kutílek.
- The soils are mainly represented in classes strongly compact and compact in the compacting evaluation.
- The representation of soil types in BSM system is similar as within the Czech Republic.

2) Microelements

- The contents of microelements in topsoil are higher than in subsoil; significantly regarding copper (Cu), manganese (Mn) and zinc (Zn).
- The contents of available copper (Cu) and zinc (Zn) are conclusively higher in subsystem of contaminated plots in comparison to basal subsystem (it goes both for topsoil and subsoil).
- Regarding the classification of soil supplementation with microelements according to Neuberg, copper (Cu) and manganese (Mn) are in the middle supplementation class, zinc (Zn) and boron (B) are in the middle and high supplementation class. Tendency to shift to lower supplementation class is shown by all monitored elements in subsoil.

3) Hazardous elements (Aqua-Regia)

- In the basal subsystem, there were found the conclusive differences in the content of beryllium (Be), nickel (Ni), plumbum (Pb) among the sampling periods both in topsoil and subsoil and in the content of cadmium (Cd) only in topsoil. Only in case of Ni and Pb, there is a moderate increase in comparison to sampling in previous periods.
- Soils in subsystem of contaminated plots have got conclusively higher contents of all monitored hazardous elements than soils in basal subsystem.

4) Persistent organic pollutants (POPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)

- The contents of organochlorine pesticides do not markedly modify during the monitoring, the differences are only in the contents in the framework of sampling depths.
- The mutual proportion of metabolites DDT in order DDD < DDE < DDT increases at BSM plots and the plots with increased elements content of class DDT have got the higher load HCB at the same time.
- Among the PCB contents there was not proven any conformity among the sampled horizons not even in the frame of monitored years, the sum of seven congeners is being mainly comprised by so-called highly chlorinated PCB (138, 153, 180) at BSM plots.
- Regarding the PAH contents, there were proven their conformities in each year of monitoring and there were proven the conclusive differences in sampling horizons.
- There were determined the conclusive differences in the PAH contents between the samples originated from the protected areas and from the permanent grassland and arable land (protected areas < arable soil = grassland).

5) Soil microbiology

- The method of farming leads to a significant increase of organic matter content in grassland in comparison to arable soils which results in higher content of microbial biomass and in higher microbial activity.

- Bloem, J., Hopkins, D.W., Benedetti, A., Eds., (2006): *Microbiological methods for assessing soil quality*. CABI Publishing, Wallingford, 307 s. ISBN 0-85199-098-3
- Eco-USA net [online]. 2010, dostupné z WWW: <http://www.eco-usa.net/index.shtml>
- Ekotoxikologická databáze [online]. 2004, dostupné z WWW: <http://www.piskac.cz/ETD/Default.htm>
- Harter, R. D., Naidu, R. (2001): An Assessment of *Environmental and Solution Parameter Impact on Trace-Metal Sorption by Soils*. Soil Sci. Soc. Am. J., vol. 65, s. 597-612
- Holoubek (2003): Národní inventura POP'S v České republice. <http://recetox.muni.cz>, <http://www.tocoen.cz>
- Holoubek, I. (2008): *Kompendum ochrany ovzduší, část 8. Organické látky v ovzduší*. Příloha čas. Ochrana ovzduší
- Holoubek, I., Klanova, J. et Vijgen, J. (2009): *Global, regional and local fate of HCH and other pesticides – problems, risks, challenges*. 10th international HCH and pesticide forum 2009, Brno, 2009
- Holoubek, I., Kočan, A., Holoubková, I., Hilscherová, K., Kohoutek, J., Falandysz, J. et Roots, O. (2000): *Persistent, Bioaccumulative and Toxic Chemicals in Central and Eastern European Countries - State-of-the-art Report, Tocoen Report No. 150a*, <http://www.recetox.muni.cz/PBTs/content.htm>, 20.8. 2002
- Chvátal, V., Němec, P. (2000): *Sledování obsahu stopových prvků na pozorovacích plochách Bazálního monitoringu zemědělských půd, Zpráva za rok odběru 1995*. 1. vyd. Brno, Plzeň, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 13 s., tabulkové a grafické přílohy
- Jandák, J., Prax, A., Pokorný, E. (2001): *Půdoznalství*. Ediční středisko MZLU, Brno, 142 s.
- Jones, J. Benton, Jr. (1998): *Plant nutrition manual*. CRC Press, Boca Raton, 140 s. ISBN 1-884015-31-X
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2001): *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd edition. CRC Press, Boca Raton, 483 s. ISBN 0-8493-1575-1
- Kalač, P. (1992): *Organická chemie. Přírodní a kontaminující látky*. Jihočeská univerzita, s. 77-78. ISBN 80-85645-01-7
- Kutílek M. (1978): *Vodohospodářská pedologie*. SNTL, Praha, 295 s.
- Lhotský, J. a kol. (1984): *Soustava opatření k zúrodnování zhutněných půd*. Metodika ÚVTIZ, Praha, 39 s.
- Mengel, K., Kirkby, E. A. (1987): *Principles of Plant Nutrition*. International Potash Institute, Basel, 687 s. ISBN 3-906-535-03-7
- Němeček, J. et al. (2001): *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. ČZU, VÚMOP Praha, 98 s.
- Neuberg, J. et al. (1990): *Komplexní metodika výživy rostlin*. ÚVTIZ, Praha, 327 s.
- Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., Eds., (1997): *Biological indicators of soil health*. CAB International, Wallingford, 451 p. ISBN 0-85199-158-0

- Paul, E.D., Ed., (2007): *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*. 3rd edition. Academic Press, Burlington, MA, 532 s. ISBN 0-12-546807-5
- Podohospodársky poradensky system [online]. 2009, dostupné z WWW: <http://www.agroporadenstvo.sk/poda/>
- Richter, R., Hlušek, J. (1999): *Výživa a hnojení rostliny – obecná část*. MZLU, Brno, 177 s.
- Třebichavský, J., Havrdová, D., Blohberger, M. (1997): *Těžké kovy*. 1. vyd. Ing. František Nekvasil. Expertízy a poradenství v oblasti odpadů a neroztrných surovin, Kutná Hora, 483 s.
- van Elsas, J.D., Jansson, J.K., Trevors, J.T., Eds. (2007): *Modern soil microbiology*. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, FL, 646 s. ISBN 0-8247-2749-5
- Vaněk, V., et al. (1998): *Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny*. 1. vyd. Redakce časopisu Farmář - zemědělské listy, Praha, 124 s. ISBN 80-902413-1-X
- Velíšek, J. (1999): *Chemie potravin 3*. OSSIS, Tábor, 368 s. ISBN 80-902391-5-3
- Zbiral, J., et al. (2003): *Analýza půd II, Jednotné pracovní postupy*. 2. přeprac. vyd. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Laboratorní odbor, Brno, 224 s. ISBN 80-86548-38-4

Monitoring zemědělských půd v České republice, 1992–2007

Zpracoval: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D., Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.,
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D., Ing. Pavel Němec
Vydal: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Odbor bezpečnosti krmiv a půdy
Náklad: 250 ks
Rok vydání: 2010
Počet stran: 118
Tisk: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Hroznová 2, 656 06 Brno, tel.: 543548111
email: puda@ukzuz.cz

ISBN 978-80-7401-041-5

Monitoring of agricultural soils in the Czech Republic, 1992–2007

Processed by: Mgr. Šárka Poláková, Ph.D., Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.,
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D., Ing. Pavel Němec
Published by: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Odbor bezpečnosti krmiv a půdy
Printing: 250
Year: 2010
Number of pages: 118
Printed by: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
Hroznová 2, 656 06 Brno, tel.: 543548111
email: puda@ukzuz.cz

