

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně

Odbor agrochemie, půdy a výživy rostlin



BAZÁLNÍ MONITORING ZEMĚDĚLSKÝCH PŮD

1992 - 2001

Zpracoval: Mgr. Šárka Poláková
Ing. Pavel Němec
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.
Ing. Karel Provazník
Ing. Petr Kňákal
Ing. Vladimír Klement, CSc.

Předkládá: Ing. Karel Trávník
ředitel odboru APVR

Schválil: RNDr. Jaroslav Staňa
ředitel ústavu

Brno, listopad 2002

OBSAH

<u>1. ÚVOD</u>	3
<u>2. CÍLE</u>	4
<u>3. METODICKÉ PŘÍSTUPY</u>	5
3.1. POZOROVACÍ PLOCHY SÍTĚ MONITORINGU	5
3.2. PRINCIPY CHEMICKÝCH METOD	8
STANOVENÍ FYZIKÁLNÍCH VLASTNOSTÍ NEPORUŠENÝCH PŮDNÍCH VZORKŮ	8
STANOVENÍ COX	8
STANOVENÍ CELKOVÉHO DUSÍKU PODLE KJELDAHLA	8
STANOVENÍ KVK (AKTUÁLNÍ)	8
STANOVENÍ RTUTI NA PŘÍSTROJI AMA-254 (TMA-254):	9
EXTRAKCE PŮD LUČAVKOU KRÁLOVSKOU ZA HORKA:	9
EXTRAKCE PŮD ZŘEDĚNOU KYSELINOU DUSIČNOU:	9
STANOVENÍ PŘÍSTUPNÝCH ŽIVIN (P, K, Ca, Mg) PODLE MEHLICHA III	10
STANOVENÍ PCB A ORGANOCHLOROVÝCH PESTICIDŮ VE VZORCÍCH PŮDY (ÚKZÚZ)	10
STANOVENÍ PCB A ORGANOCHLOROVÝCH PESTICIDŮ VE VZORCÍCH PŮDY (SRS)	10
STANOVENÍ PAH VE VZORCÍCH PŮDY (ÚKZÚZ)	11
STANOVENÍ PAH VE VZORCÍCH PŮDY (SRS)	11
<u>4. VÝSLEDKY</u>	12
4.1. FYZIKÁLNĚ-CHEMICKÉ VLASTNOSTI PŮD	12
4.2. OBSAHY RIZIKOVÝCH PRVKŮ V PŮDĚ	16
4.3. BILANCE ŽIVIN NA PLOCHÁCH BAZÁLNÍHO MONITORINGU PŮD	20
4.4. ORGANICKÉ POLUTANTY	23
4.5. MIKROBIÁLNÍ PARAMETRY ORNÝCH PŮD A PŮD TRVALÝCH TRAVNÍCH POROSTŮ	27
<u>5. ZÁVĚR</u>	30

1. ÚVOD

Růst a vývoj lidské populace s sebou nesly mnoho, převážně negativních vlivů na životní prostředí. Dnes známe mnoho příkladů zániku vyspělých civilizací, jejichž příčinou byla destrukce jejich vlastního prostředí, či přímo půdy.

Půda hraje nezastupitelnou úlohu ve výživě lidské populace, a zároveň působí jako významný příjemce různorodých látek ze svého okolí. Půda, ač je nenahraditelným „výrobním“ zdrojem potravin a základní složkou ekosystémů, se zdá být považována za neměnný a stálý faktor zemědělské výroby. Vyznačuje se relativně stabilními vlastnostmi, vysokou resistencí a resiliencí a působící nepříznivé vlivy se projevují s delším odstupem. V určité fázi působení negativního faktoru dojde k naplnění tlumivé funkce půdy a látky jsou zpětně uvolňovány do prostředí.

Taková lidská společnost, která si vybere cestu udržitelného rozvoje, musí sledovat stav a vývoj životního prostředí, včetně půdy. K dlouhodobému sledování vybraných parametrů za přesně stanovených podmínek 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 udržení a zlepšení současného stavu.

Za účelem zabezpečení zdravotně nezávadné zemědělské produkce a současně jako podpora pro zabezpečování plnění produkčních i ekologických funkcí zemědělských ekosystémů vznikla v České republice v roce 1992 síť monitorizačních ploch, jež slouží ke sledování kvality zemědělské půdy a vstupů do půdy. Provozování této sítě garantuje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně za plné podpory Ministerstva zemědělství ČR. Síť pozorovacích ploch monitoringu funguje na 190 plochách zemědělské půdy a 27 plochách v kontaminovaných územích.

Monitoring zemědělských půd je prováděn na základě zákona č. 156/1998 Sb. ve znění zákona č. 308/2000 Sb. a zákona č. 147/2002 Sb. Spočívá ve sledování výskytu cizorodých látek a kontaminantů v půdě a vstupech do půdy, ve vazbě na komplexní zajištění nezávadnosti zemědělských výrobků a potravin.

2. CÍLE

Cíle monitoringu cizorodých látek jsou formulovány v souladu se zákonem č. 147/2002 Sb., o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském a s požadavky Ministerstva zemědělství a Ministerstva životního prostředí tak, aby výsledky sloužily především jako podpora pro rozhodování na všech úrovních státní správy a pro návrhy a novely legislativních předpisů.

Databáze monitoringu jsou dále využívány:

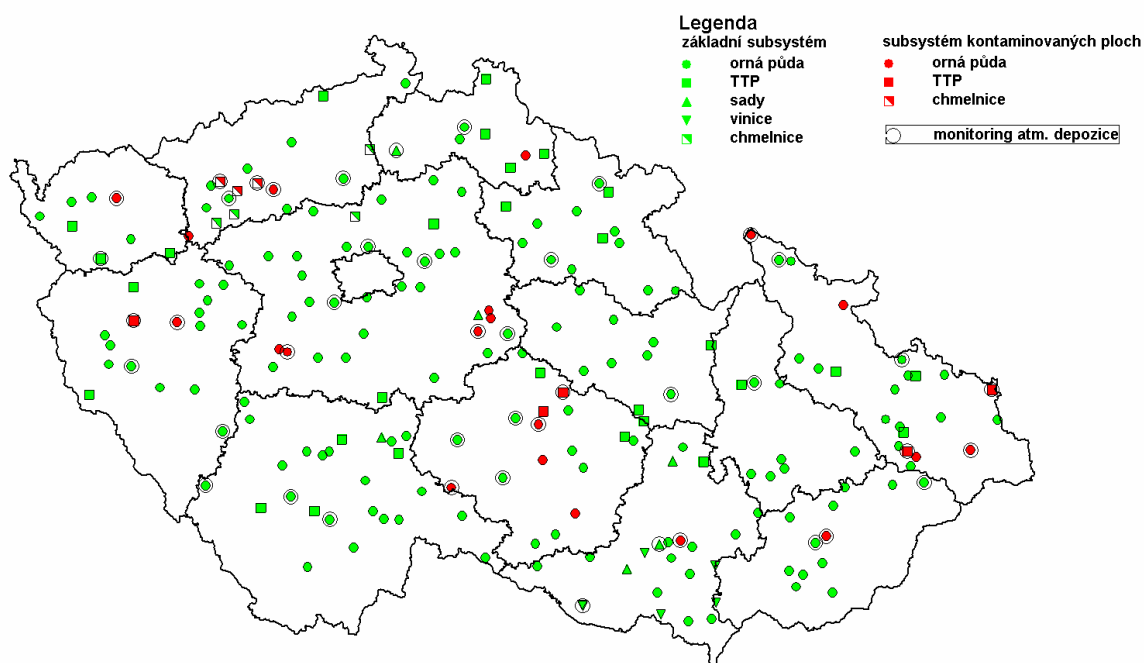
- Pro orgány státní správy poskytuje informace o stavu a vývoji vlastností půd. Tyto informace slouží především jako soubor referenčních hodnot pro posuzování výsledků dalších šetření.
- V subsystému kontaminovaných ploch jsou vyhodnocovány příčiny kontaminace půd a sledována rizika přestupů rizikových prvků do zemědělské produkce.
- V rámci monitoringu (potenciálně) toxických organických látek je vyhodnocováno plošné zatížení zemědělských půd těmito sloučeninami a možné ohrožení potravního řetězce člověka.
- Výsledky všech oblastí sledování jsou využívány jako zdroje dat pro vědeckovýzkumné projekty.
- Na úrovni ÚKZÚZ, MZe a MŽP je systém monitoringu navázán na zahraniční systémy monitoringů, slouží k presentaci výsledků na mezinárodní úrovni a spolupráci se zahraničními odborníky (vazba zejména na Německo, Slovensko, Švýcarsko, Rakousko, Maďarsko).
- Výsledky jsou vyhodnocovány za účelem hodnocení a validace analytických metod.
- Výsledky jsou vyhodnocovány za účelem poskytování materiálů pro ročenky a statistické přehledy.

3. METODICKÉ PŘÍSTUPY

3.1. Pozorovací plochy sítě monitoringu

Soubor pozorovacích ploch bazálního monitoringu zemědělských půd vznikl 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.

Obrázek 1. Lokalizace pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd.



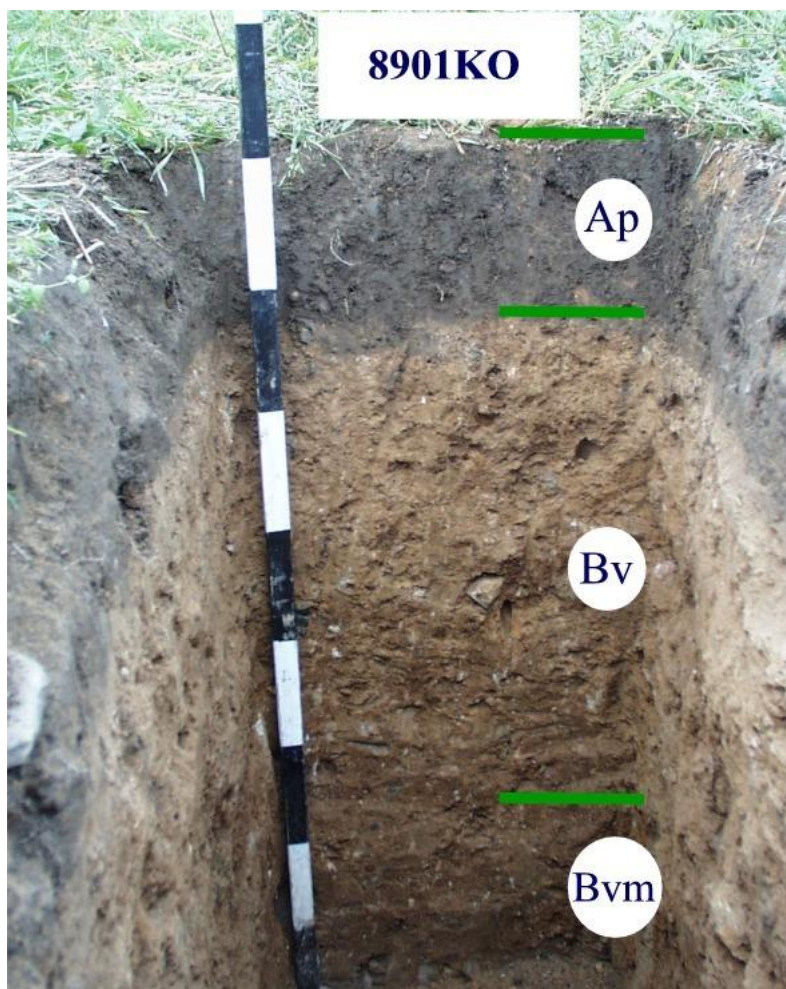
Hlavní zásady výběru pozorovacích ploch v základním systému monitoringu:

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

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

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

Obrázek 2. Pedologická sonda na pozorovací ploše 8901KO, kambizem typická.

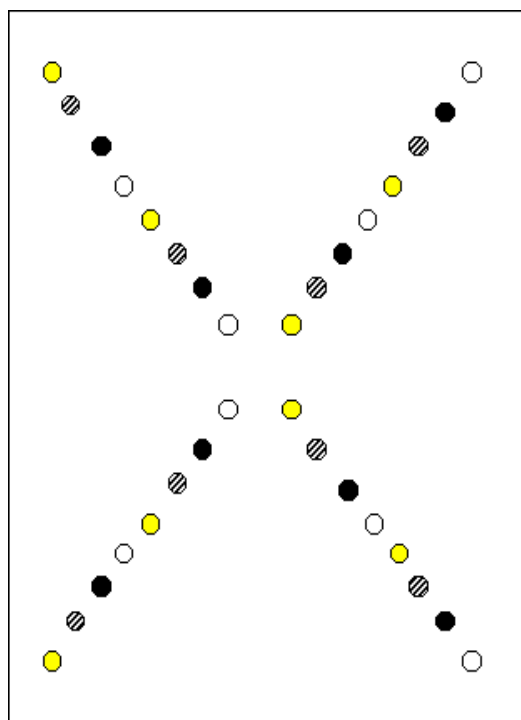


V rámci celého souboru pozorovacích ploch monitoringu existují tři odběrová schémata:

- **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.

Odběry vzorků při základních odběrech probíhají po úhlopříčkách; odebírají se vždy čtyři dílčí vzorky z ornice a podorniči; při každoročních odběrech se vzorkování provádí způsobem „cik cak“ po ploše.

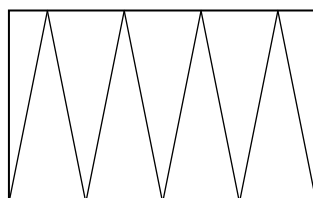
Obrázek 3. Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd v základní periodě odběrů



umístění individuálních odběrů k získání 4 směsných vzorků



Obrázek 4. Odběrové schéma vzorkování zemědělských půd při každoročních odběrech



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).

V systému monitoringu se provádí následující analýzy:

Jednorázové odběry:

- fyzikální charakteristiky půdy (momentní vlhkost, maximální kapilární vodní kapacita, specifická hmotnost, objemová hmotnost redukována, pórovitost, momentní vzdušnost, minimální vzdušná kapacita)
- fyzikálně-chemické charakteristiky půd (potenciální a efektivní kationtová výměnná kapacita, Cox, Ntot, zrnitostní složení)

- chemické parametry (Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, No, Ni, Pb, V, Zn po rozkladu lučavkou královskou)

Základní odběry

- agrochemické parametry (aktivní a výměnná půdní reakce, obsah přístupných živin (P, K, Mg, Ca), obsah přístupných mikroelementů (Cu, Mn, Zn, Fe, B)),
- chemické parametry (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn ve výluhu 2M HNO₃; Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, No, Ni, Pb, V, Zn po rozkladu lučavkou královskou, obsah Hg)

Každoroční odběry

- organické znečištění půd (PCB, PAH, organochlorové pesticidy),
- obsah rizikových prvků v rostlinách,
- vybrané vlastnosti mikrobiální biomasy.

3.2. Principy chemických metod

Stanovení fyzikálních vlastností neporušených půdních vzorků

Zjištěním hmotnosti (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 Cox

Oxidovatelný organicky vázaný uhlík v zemině se oxiduje kyselinou chromovou v prostředí nadbytku kyseliny sírové za definovaných podmínek. Nespotřebovaná kyselina chromová se stanoví titrací roztokem Mohrovy soli s biamperometrickou indikací konce titrace.

Stanovení celkového dusíku podle Kjeldahla

Vzorek se rozloží Kjeldahlovým postupem varem s kyselinou sírovou a přísadami a vzniklé NH₄⁺ -ionty se spolu s NH₄⁺ -ionty původně přítomnými ve vzorku po alkalizaci predestilují ve formě NH₃ do určitého objemu odměrného roztoku H₂SO₄, popř. HCl, nebo do roztoku H₃BO₃. Zachycený NH₃ se pak stanoví buď nepřímo titrací nadbytku odměrného roztoku silné kyseliny odměrným roztokem NaOH, nebo v případě H₃BO₃ přímo odměrným roztokem kyseliny (H₂SO₄ nebo HCl).

Stanovení KVK (aktuální)

Vzorek zeminy se vyluhuje nepufrovaným roztokem chloridu barnatého, (BaCl₂) = 0,1 mol.l⁻¹. Poměr hmotnosti zeminy k objemu vyluhovacího roztoku je 1:10, vyluhuje se 24 hod. v klidu a 2 hod. třepáním. V roztoku se stanoví jednotlivé kationty metodou AAS a výměnná acidita (H + 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 (TMA-254):

Přesná navážka vzorku se v proudu kyslíku postupně vysuší a rozloží programovatelným nárůstem teploty. Proud kyslíku vede spaliny spolu se rtutí přes katalyzátor, kde dojde k dokonalé oxidaci spalin a k odstranění nežádoucích složek. Rtuť se potom zachytí v amalgátoru. Po kvantitativním zachycení rtuti se amalgátor zahřeje a uvolněné páry rtuti se vedou do měřicího prostoru, kde se měří pokles intenzity záření rtuťové výbojky způsobený přítomností rtuti.

Extrakce půd lučavkou královskou za horka:

Upravený vzorek se rozkládá směsí kyseliny chlorovodíkové a kyseliny dusičné (3+1 v+v).

Extrakce půd zředěnou kyselinou dusičnou:

Upravený vzorek se extrahuje kyselinou dusičnou o koncentraci 2 mol.l^{-1} za laboratorní teploty.

Stanovení Cu, Zn, Ni, Co, Pb a Cd v extraktu půd metodou FAAS:

Koncentrace stanovovaných prvků se zjišťuje na základě charakteristické absorpce záření na rezonančních čarách těchto prvků v plameni acetylen-vzduch metodou kalibrační křivky.

Stanovení Be a Cr v extraktu půd metodou FAAS:

Koncentrace stanovovaných prvků se zjišťuje na základě charakteristické absorpce záření na rezonančních čarách těchto prvků v plameni acetylen – oxid dusný metodou kalibrační křivky. Ionizační interference se odstraňují přidávkem nadbytku draslíku.

Princip stanovení Fe a Mn v extraktu půd metodou FAAS:

Koncentrace stanovovaných prvků se zjišťuje na základě charakteristické absorpce záření na rezonančních čarách těchto prvků v plameni acetylen – vzduch metodou kalibrační křivky.

Stanovení As v extraktu půd metodou AAS generováním hydridů:

Ve zředěném roztoku vzorku se arsen redukuje jodidem na As(III). Vyloučený jód se odstraní přidávkem kyseliny askorbové. Vzorek se potom dávkuje do aparatury na kontinuální generování hydridů. Arsenovodík vzniklý reakcí s tetrahydridoboritanem sodným se vede proudem inertního plynu do rozkladné trubice, která je umístěna v optické ose přístroje. Zde dochází k termickému rozkladu arsenovodíku a atomy arsenu způsobí absorpci charakteristického záření.

Stanovení V a Mo v extraktu půd metodou ICP – AES:

Aerosol vzorku je proudem argonu přiveden do argon-argonového plazmatu, ve kterém vlivem vysoké teploty dojde k termické excitaci a ionizaci prvků. Při jejich přechodu do stavů s nižší energií dochází k vyzáření charakteristických kvant, která odpovídají záření o určité vlnové délce. Měřením intenzity záření na vhodné linii stanovovaného prvku se stanoví metodou kalibrační křivky koncentrace tohoto prvku ve vzorku. Spektrální interference se omezí vhodným výběrem vlnových délek a použitím

monochromátoru s vyšším rozlišením. Ionizační interference způsobené významně odlišnou maticí vzorků a standardních roztoků (kterou nelze vzhledem k variabilitě složení vzorků modelovat) je možné korigovat metodou vnitřního srovnávacího prvku. Pro korekci je používán přídatkem lutecia.

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.

Obsah vápníku a hořčíku se po naředění extraktu stanoví metodou atomové absorpční spektrofotometrie v plameni acetylen-vzduch. Interference se odstraňují přídatkem lanthanu. Vyhodnocení signálu se provádí metodou kalibrační křivky.

Fosfor se stanoví v půdním extraktu spektrofotometricky jako fosfomolybdenová modř. Redukce kyselinou askorbovou probíhá v prostředí kyseliny sírové v přítomnosti Sb (III). Intenzita modrého zbarvení se měří na spektrofotometru při vlnové délce procházejícího světla 750 nm.

Po termické excitaci atomů draslíku v plameni acetylen-vzduch dochází k vyzáření charakteristického kvanta. Intenzita charakteristického záření je úměrná koncentraci draslíku ve zmlžovaném vzorku.

Stanovení PCB a organochlorových pesticidů ve vzorcích půdy (ÚKZÚZ)

Polychlorované bifenyly (PCB) se z předupraveného vzorku extrahují do směsi rozpouštědel (hexan-aceton v poměru 3:1), extrakt s přídatkem vnitřního standardu se přečistí na sloupci silikagelu a silikagelu smočeného koncentrovanou kyselinou sírovou, dočistí přídatkem elementární mědi a zakonzentrovaný extrakt se analyzuje metodou GC/MS v SIM režimu měření. Obsah 7 indikačních kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153 a 180) se vyhodnotí z výšek vybraných charakteristických iontů. Mez stanovení je 1 µg kongeneru PCB/kg sušiny vzorku, tj. LOQ = 1 ppb.

Stejný čistící postup je použit i pro stanovení vybraných organochlorových pesticidů (DDT, DDE, DDD, HCH, HCB). LOQ = 1 ppb (pro všechny analyty, pouze HCH v některých typech LOQ = 5 ppb).

Stanovení PCB a organochlorových pesticidů ve vzorcích půdy (SRS)

Vysušený a zhomogenizovaný vzorek půdy se extrahuje směsí hexan-aceton (3:1) po dobu 2,5 hod. Po extrakci a odpaření na rotační vakuové odparce se vzorek převede na silikagelovou kolonu modifikovanou konc. H_2SO_4 a 30 ml n-hexanu se eluuje jímáná frakce. Eluát se odpaří právě do sucha, pipetuje 1 ml isooktanu a tento roztok se použije ke koncové analýze na GC-ECD. Kvantitativní vyhodnocení se provede metodou vnějšího standardu. Reálná mez pro kongenery PCB (28, 52, 101, 138, 153, 180) je $0,5 \text{ µg.kg}^{-1}$.

Stejný postup byl použit i při stanovení vybraných organochlorových pesticidů.

Stanovení PAH ve vzorcích půdy (ÚKZÚZ)

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) se stanoví po extrakci acetonem a přečištění na pevné fázi metodou HPLC na reverzní bázi s gradientovým průběhem a s fluorometrickou detekcí.

Vzorky zemin (10g) jsou extrahovány acetonem, extrakt se přečistí přes SPE kolonku C8. Nepolární látky - PAHy se zachytí na sorbentu C8, odkud jsou eluovány tetrahydrofuranem. Analyzovány jsou vysokoúčinnou kapalinovou chromatografií (HPLC) s fluorescenční detekcí a gradientovým průběhem. Měření a vyhodnocení se provádí pomocí chromatografického integračního software CSW.

Stanovení PAH ve vzorcích půdy (SRS)

Vzorky půdy byly po vysušení a důkladné homogenizaci extrahovány do acetonu za použití ultrazvuku. Po odebrání známého objemu extrakčního rozpouštědla a zředění vodou, byl vzorek nadávkován na SPE kolonku plněnou reverzní fází C8 a zakoncentrován. PAH byly z kolonky eluovány tetrahydrofuranem a bez jakéhokoliv odpařování byl extrakt analyzován na HPLC koloně LiChrocart 250-3 LiChrospher PAH gradientovou elucí (acetonitril/voda) s UV a Fl detekcí. Výtěžnosti pro jednotlivé homology se pohybují v rozsahu 80-100%, přičemž v tomto rozmezí jsou i takové těkavé PAH, jako naphthalene, acenaphthylene a acenaphthene.

4. VÝSLEDKY

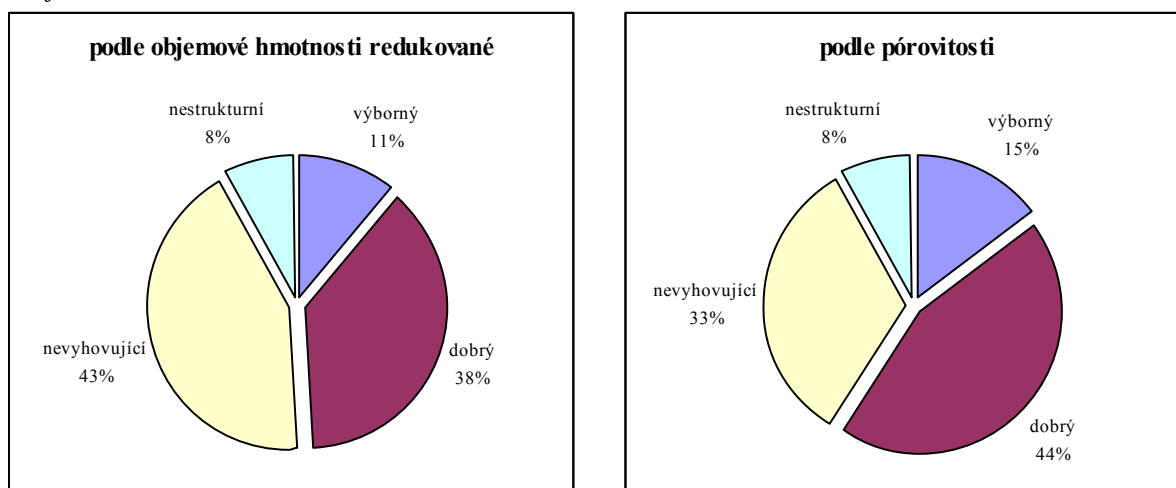
4.1. Fyzikálně-chemické vlastnosti půd

Fyzikálně-chemické vlastnosti půd neporušených půdních vzorků

Základní fyzikální vlastnosti půd jsou důležitým parametrem pro hodnocení chování rizikových látek a rizikových prvků v půdě. Pro hodnocení byly použity tyto základní fyzikální vlastnosti: *objemová hmotnost redukovaná a pórovitost, maximální kapilární vodní kapacita a minimální vzdušná kapacita.*

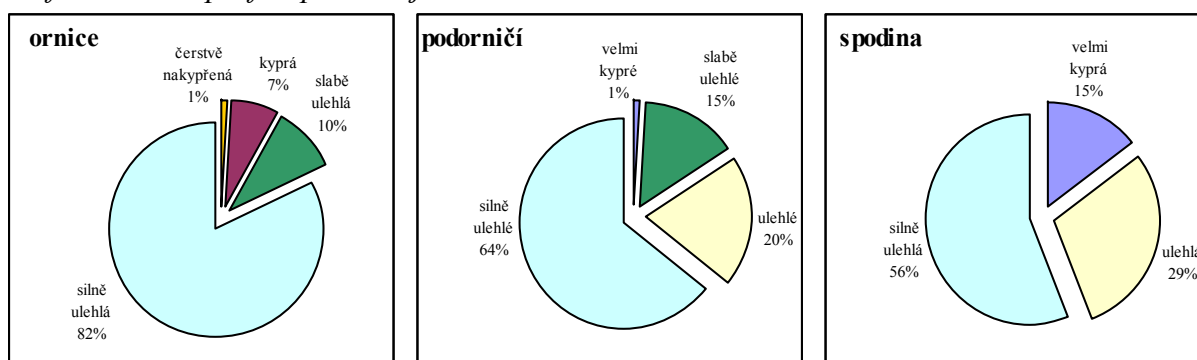
Objemová hmotnost redukovaná a pórovitost byly použity jako kritérium pro hodnocení strukturního stavu humusového horizontu a ulehlosti ornice, podorničí a spodina. Strukturu humusového horizontu je možné označit většinou jako dobrou nebo nevyhovující, kategorie výborná struktura a naopak nestrukturní stav jsou zastoupeny méně.

Graf 1. Strukturní stav humusového horizontu



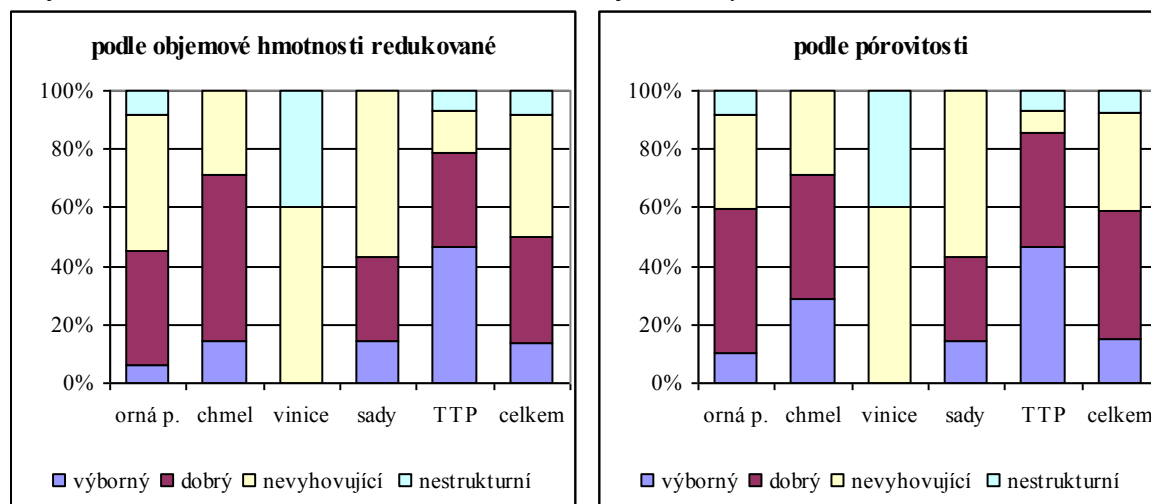
Ukazatel ulehlosti jednotlivých horizontů je většinou výrazně negativní. Nejvíce je ulehlostí ovlivněna ornice, méně podorničí a relativně nejméně spodina.

Graf 2. Ulehlost profilu podle objemové hmotnosti redukované



Strukturní stav humusového horizontu podle objemové hmotnosti redukované a pórovitosti u jednotlivých kultur je uveden v grafu 3. Nejpriznivějších hodnot u obou parametrů je u všech horizontů dosaženo u trvalých travních porostů, dále u chmelnic a ovocných sadů, na další místo je možné umístit ornou půdu a na závěr vinice. Hodnoty max. kapilární vodní kapacity a min. vzdušné kapacity podle jednotlivých kultur uvádí tabulka 1.

Graf 3. Strukturní stav humusového horizontu u jednotlivých kultur



Tabulka 1. Vybrané fyzikální vlastnosti a kultura

horizont	parametr	jednotky	kultura					celkem
			orná	chmel	vinice	sady	TTP	
ornice	počet hodnot		171	7	5	7	28	218
	max. kap. vodní kapacita	%	34,06	36,05	31,04	32,56	42,37	35,07
	min.vzdušná kapacita	%	12,68	13,29	9,79	14,42	10,18	12,37
podorníčí	počet hodnot		168	7	5	7	27	214
	max. kap. vodní kapacita	%	33,36	34,14	30,08	33,56	37,16	33,79
	min.vzdušná kapacita	%	10,45	11,8	13,15	13,33	9,39	10,53
spodina	počet hodnot		146	7	4	6	26	188
	max. kap. vodní kapacita	%	33,21	35,27	33,86	33,26	36,37	33,73
	min.vzdušná kapacita	%	10,84	14,35	8,13	8,82	9,14	10,62

Dále byly vyhodnoceny základní fyzikální vlastnosti v kombinaci s půdním druhem a typem. Nejpravidelněji je vyjádřena závislost mezi půdním druhem a vodní a vzdušnou kapacitou. U ornice činila hodnota minimální vzdušné kapacity pro lehké půdy 16,40%, středně těžké půdy 12,72% a těžké půdy 7,50%. Max. kapilární vodní kapacita byla pro ornici u půd lehkých 30,73%, středně těžkých 35,11% a těžkých 38,28%.

Mezi objemovou hmotností, pórovitostí a půdním druhem není zcela pravidelná závislost u ornice, jejíž stav je však ovlivněn momentální nakypřeností.

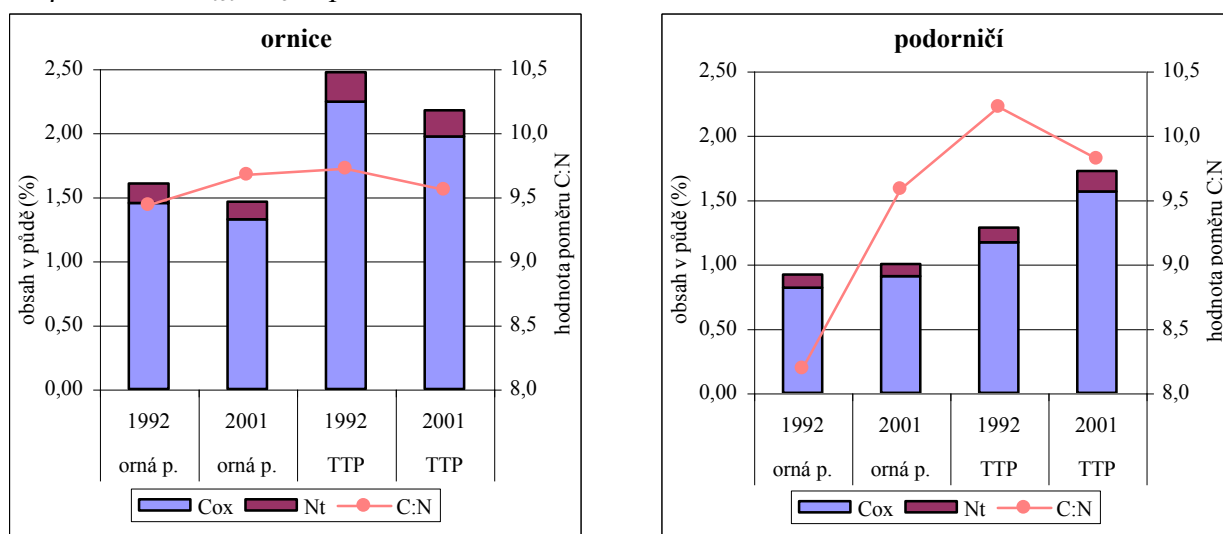
Mezi půdními typy se rovněž projeví rozdíly ve fyzikálních vlastnostech. Tyto rozdíly se však nepromítají do pravidelné závislosti, jelikož každý půdní typ je určen několika různými parametry.

Zjištěné skutečnosti potvrzují, že struktura našich zemědělských půd je zřejmě vlivem současného systému hospodaření ve velké většině nepříznivá a půda je ohrožena značnou ulehlostí.

Fyzikálně-chemické vlastnosti půd porušených půdních vzorků (C_{ox} , N_{tot} , CEC)

Obsah celkového dusíku v půdě je hodnotou poměrně stálou, poněvadž je tvořen sloučeninami těžce chemicky i mikrobiologicky rozložitelnými. Dusík je zde vázán na aromatická jádra huminových kyselin, fulvokyselin a huminů. Z tohoto důvodu se obsah celkového N v půdě často dává do vztahu s C_{ox} a vyjadřuje se poměrem C:N. V půdách ČR je uváděná průměrná hodnota C:N 10 – 12 : 1. Užší poměr je výrazem vyšší kvality humusu a naopak. Na plochách bazálního monitoringu půd je poměr C:N v ornici 9,4 – 9,6 : 1 a v podorniči 8,2 – 10,2 : 1 (graf 4).

Graf 4. Obsah N_{tot} , C_{ox} a poměr C:N



Obsah celkového dusíku v orniční vrstvě se pohybuje od 0,115 do 0,231 %, v podorniční vrstvě 0,094 – 0,156 %. Průměrná hodnota obsahu celkového N na plochách bazálního monitoringu činí 0,128 % a oxidovatelného uhlíku 1,20 %. Obsahy sledovaných parametrů (N_{tot} , C_{ox}) podle jednotlivých půdních typů v roce 1992 a 2001 v ornici a podorniči uvádí tabulky 2 a 3.

Tabulka 2. Obsah C_{ox} a N_{tot} podle půdních typů v ornici (1992, 2001)

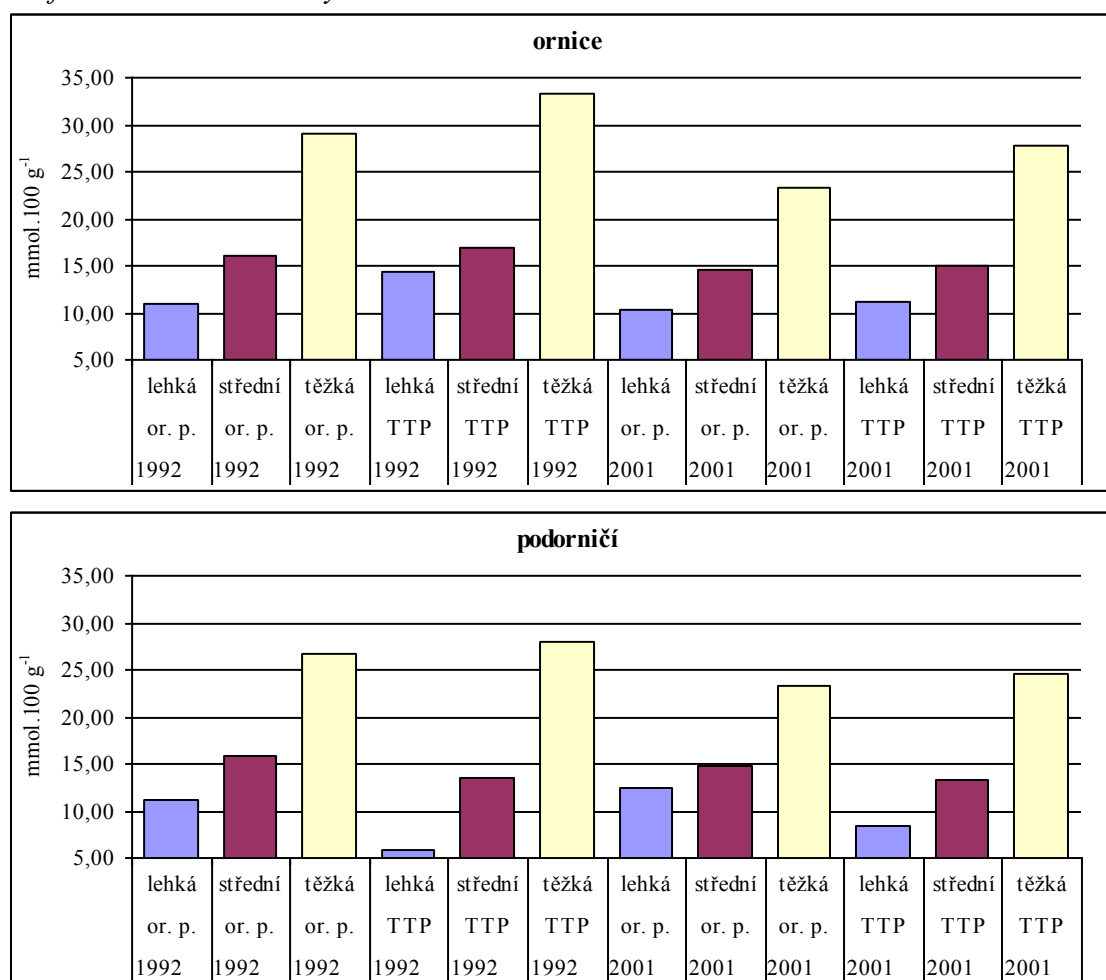
Parametr	Rok	Půdní typ										
		ČA	ČM	FM	GL	HM	KM	LM	PG	PR	RA	RM
C_{ox} [%]	1992	2,51	1,65	1,65	1,63	1,19	1,43	1,23	1,54	1,19	1,30	0,83
	2001	2,38	1,61	1,51	1,31	1,07	1,29	1,11	1,35	1,28	1,21	0,78
N_{tot} [%]	1992	0,230	0,163	0,193	0,179	0,135	0,145	0,125	0,161	0,127	0,142	0,079
	2001	0,237	0,161	0,163	0,147	0,112	0,131	0,109	0,141	0,123	0,134	0,084

Tabulka 3. Obsah C_{ox} a N_{tot} podle půdních typů v podorniči (1992, 2001)

Parametr	Rok	Půdní typ										
		ČA	ČM	FM	GL	HM	KM	LM	PG	PR	RA	RM
C_{ox} [%]	1992	1,76	1,14	1,12	0,66	0,58	0,76	0,56	0,65	0,50	0,79	0,47
	2001	1,84	1,19	1,12	0,89	0,75	0,93	0,47	0,63	0,66	0,85	0,61
N_{tot} [%]	1992	0,150	0,151	0,125	0,081	0,068	0,105	0,062	0,078	0,062	0,096	0,049
	2001	0,153	0,118	0,119	0,111	0,084	0,095	0,047	0,070	0,076	0,098	0,063

Sorpční schopnost půdy je její schopnost poutat ionty, nebo celé molekuly z půdního roztoku do pevné fáze půdy. Silně ovlivňuje dynamiku půdy, její fyzikální stav a významně se uplatňuje i při výživě rostlin. Aktuální sorpční kapacita (CEC) půdy udává, jaké množstvíází je právě sorpčním komplexem poutáno. V grafu 5 jsou uvedeny průměrné hodnoty CEC. Nejnížší je u půd lehkých (v průměru $10,6 \text{ mmol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$), střední půdy mají v průměru $15,0 \text{ mmol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ a půdy těžké $27,0 \text{ mmol} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$. Při srovnání roků mezi sebou došlo u všech půdních druhů k poklesu hodnoty CEC v ornici v roce 2001, oproti roku 1992. Vyšší hodnoty jsou zaznamenány u trvalých travních porostů (TTP) v obou letech sledování. V podorniči můžeme sledovat stejný trend s výjimkou půd lehkých, kde došlo, jak u orné půdy, tak TTP, ke zvýšení hodnoty aktuální sorpční kapacity.

Graf 5. Průměrné hodnoty CEC



Zjištěné obsahy oxidovatelného uhlíku a celkového dusíku na plochách bazálního monitoringu půd odpovídají uváděným obsahům v půdách ČR. Poměr C:N je 9,4 : 1. Mezi sledovanými roky jsou patrné rozdíly, které však nejsou statisticky významné.

Stanovené hodnoty aktuální sorpční kapacity signalizují snižování obsahu bází v sorpčním komplexu, což je z pohledu půdní úrodnosti jev nepříznivý.

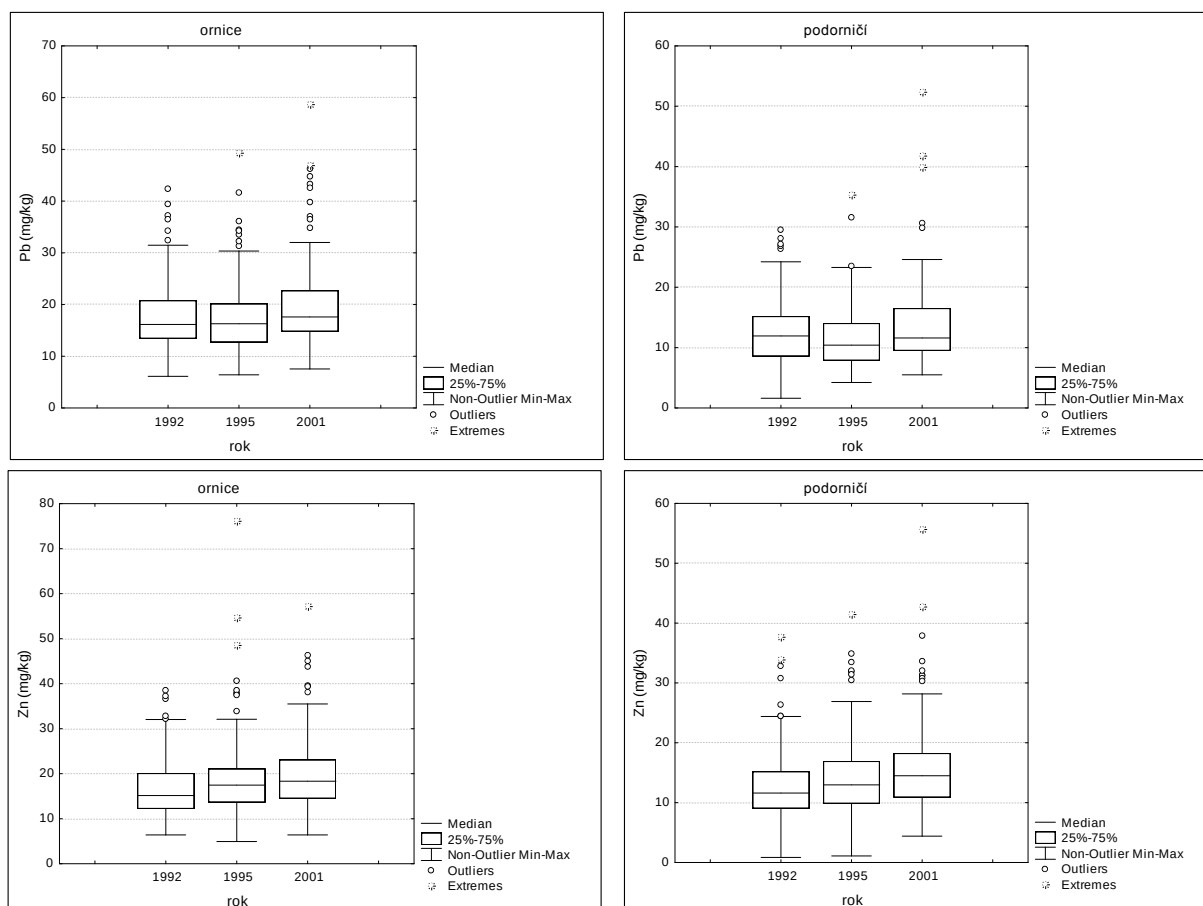
4.2. Obsahy rizikových prvků v půdě

Obsahy rizikových prvků v půdě – výluh 2M HNO₃

V roce 2001 bylo provedeno první řádné opakované vzorkování v základní periodě sledování monitoringu šesti let. To umožňuje srovnání výsledků roku 1995 a 2001.

U základního subsystému byly zjištěny mezi srovnávanými periodami průkazné rozdíly ($p=0,05$) u Be, Ni, Pb, a V a to jak pro ornici, tak pro podorničí. Pro Cr, Cd, Co, Cu, a Zn rozdíly nebyly zjištěny. U prokázaných rozdílů se v případě Be, Pb a V jedná o zvýšení, v případě Ni o snížení. Zjištěná fakta mohou být důsledkem jak změn obsahů rizikových prvků v půdě, tak zpřesněných analytických postupů. Výsledky je nutno považovat za orientační a výchozí pro další periodu, nelze vyvozovat trendy.

Graf 6. Rozpětí obsahů Pb a Zn ve vzorcích orničního i podorničního horizontu orných půd Bazálního monitoringu půd v letech 1992, 1995, 2001 (mg.kg⁻¹, 2M HNO₃).



Podobné výsledky byly zjištěny pro subsystém kontaminovaných ploch: statisticky průkazné zvýšení pro Be a V v ornici i v podorničí, pro Pb pouze v ornici. Navíc bylo zjištěno

statisticky průkazné snížení Co v obou horizontech. U subsystému kontaminovaných ploch je na rozdíl od základního subsystému podstatně větší variabilita půdních podmínek v rámci pozorovací plochy i v celém subsystému. Proto tento soubor není pro účely daného typu vyhodnocení optimální a byl vyhodnocen samostatně.

Tabulka 4. Deskriptivní statistika souboru rizikových prvků v ornících a podornících zemědělských půd ze šetření 1992, 1995, 2001 (2M HNO₃, mg.kg⁻¹)

Prvek	ornice				podorníčí			
	geom. průměr	medián	min	max	geom. průměr	medián	min	max
Be_92	0,2	0,2	0,1	0,8	0,2	0,2	0,1	0,6
Be_95	0,4	0,4	0,1	1,7	0,4	0,4	0,1	1,4
Be_01	0,5	0,5	0,2	1,5	0,5	0,5	0,2	1,6
Cr_92	4,9	4,8	1,7	13,8	4,6	4,7	0,3	14,2
Cr_95	5,4	5,2	1,1	25,5	5,1	5,0	1,1	16,6
Cr_01	5,6	5,4	1,3	23,3	5,3	5,1	1,5	21,5
Cd_92	0,2	0,2	0,1	0,7	0,1	0,1	0,1	0,4
Cd_95	0,2	0,2	0,0	0,9	0,1	0,1	0,0	0,5
Cd_01	0,2	0,2	0,1	0,9	0,1	0,1	0,1	0,7
Co_92	4,9	5,1	1,4	15,0	4,5	4,6	1,0	12,3
Co_95	4,8	4,8	0,9	14,8	4,4	4,6	0,4	17,3
Co_01	5,1	5,0	0,9	16,9	4,7	4,5	0,8	22,5
Cu_92	7,2	7,4	2,0	27,7	5,2	5,3	0,6	28,7
Cu_95	6,8	6,9	2,0	22,7	5,1	5,3	1,2	24,6
Cu_01	6,9	7,3	1,6	22,7	5,3	5,4	0,3	25,4
Ni_92	4,2	4,4	0,8	15,9	3,8	4,3	0,8	19,5
Ni_95	4,7	5,0	0,7	23,5	4,4	5,1	0,7	23,7
Ni_01	4,4	4,2	0,5	21,7	4,2	4,3	0,5	23,5
Pb_92	16,7	16,2	6,1	42,4	11,2	11,9	1,6	29,6
Pb_95	16,1	16,3	6,4	49,4	10,6	10,4	4,2	35,3
Pb_01	18,5	17,6	7,6	58,7	12,7	11,6	5,5	52,4
V_92	8,1	8,4	2,8	38,3	6,7	6,7	0,6	36,5
V_95	9,6	9,1	3,0	47,6	8,1	8,0	2,4	39,3
V_01	10,1	9,5	1,9	50,4	8,8	8,2	1,6	51,1
Zn_92	15,5	15,2	6,4	38,4	11,4	11,6	0,9	37,7
Zn_95	17,3	17,5	4,9	76,1	12,7	13,0	1,1	41,5
Zn_01	18,7	18,3	6,4	57,3	14,5	14,5	4,4	55,7

Obsahy rizikových prvků v půdě – výluh lučavkou královskou

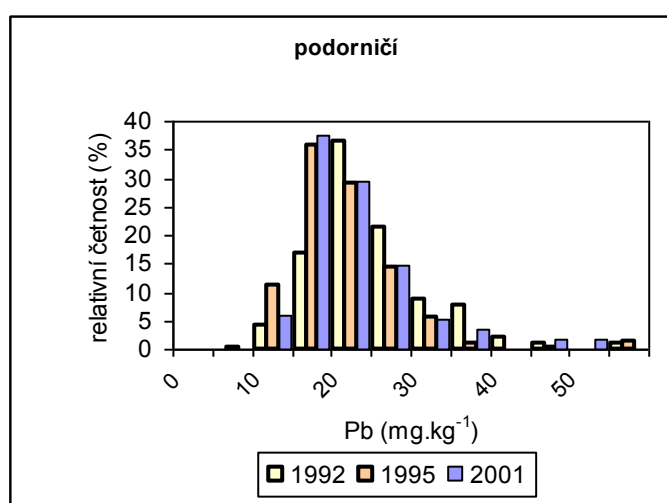
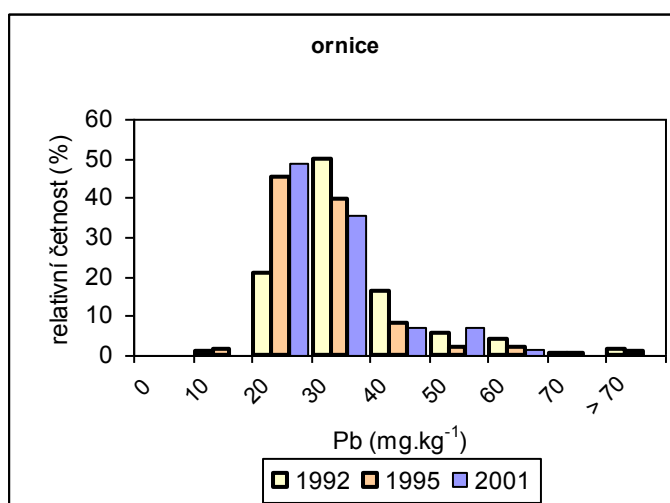
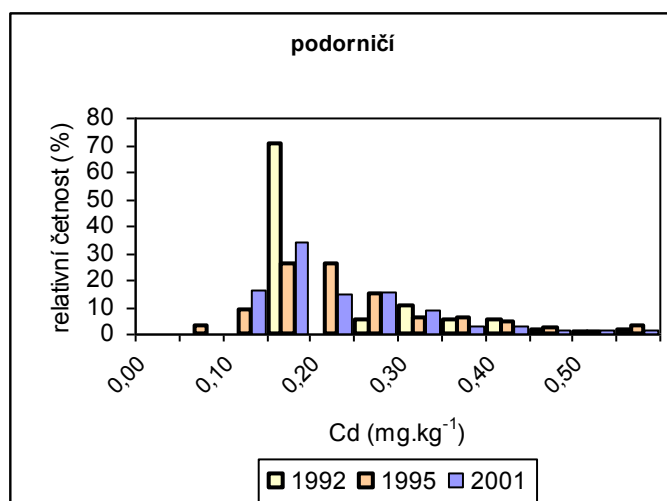
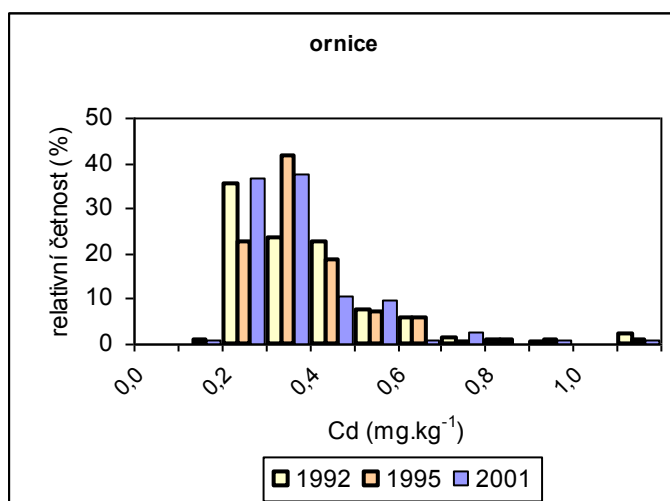
Stanovení rizikových prvků ve výluhu lučavkou královskou je prováděno pravidelně ve vzorcích ze základních odběrů Bazálního monitoringu půd. Uvedené obsahy prvků a jejich rozsah je možné považovat za objektivní charakteristiku zemědělských půd.

Rozdíly mezi periodami 1995 a 2001 se v případě Be a Pb zcela neshodují s výsledky zjištěnými ve výluhu 2M HNO₃. U těchto prvků se snížení obsahů v ornici ani v podorníci neprojevilo. Naopak u Ni a V se změny obsahů projevily ve shodě s výluhem v 2M HNO₃. Možné odchylky od výsledků z roku 1992 jsou pravděpodobně způsobeny, kromě zpřesněných analytických postupů, úpravou odběrového schématu.

Tabulka 5. Deskriptivní statistika souboru rizikových prvků v ornicích a podorníci zemědělských půd ze šetření 1992, 1995, 2001 (lučavka královská, mg.kg⁻¹)

Prvek	ornice				podorníci			
	geom. průměr	medián	min	max	geom. průměr	medián	min	max
Be_92	1,1	1,2	0,3	4,0	1,2	1,3	0,2	3,5
Be_95	1,2	1,3	0,5	3,6	1,3	1,3	0,4	3,5
Be_01	1,2	1,2	0,5	3,8	1,4	1,4	0,6	3,6
Cd_92	0,2	0,3	0,1	5,9	0,2	0,1	0,1	1,9
Cd_95	0,3	0,3	0,1	4,2	0,2	0,2	0,1	4,6
Cd_01	0,2	0,2	0,1	1,1	0,2	0,2	0,1	0,7
Cr_92	38,1	38,5	11,4	434	38,9	39,5	6,2	526
Cr_95	34,6	34,4	10,2	536	36,3	36,6	7,7	557
Cr_01	33,0	34,3	11,4	82,7	35,5	35,3	14,9	85,5
Co_92	11,9	12,4	2,3	45,6	12,5	12,7	2,6	57,1
Co_95	9,6	9,8	1,9	30,1	10,1	10,3	1,7	42,4
Co_01	9,5	9,7	2,2	27,3	10,0	9,9	2,5	35,9
Cu_92	19,3	19,8	5,6	92,7	17,7	18,9	4,2	64,4
Cu_95	17,9	18,8	4,2	98,4	16,7	17,2	2,5	63,1
Cu_01	15,7	16,9	4,3	41,2	15,4	15,4	3,8	51,5
Ni_92	22,6	23,9	5,9	173	24,9	26,5	5,3	236
Ni_95	19,8	21,9	4,7	256	21,5	23,2	3,5	271
Ni_01	17,8	19,1	5,2	53,8	19,8	20,5	6,2	67,2
Pb_92	25,9	24,9	7,1	237	19,2	18,9	5,3	244
Pb_95	20,6	20,4	7,3	169	15,6	15,4	3,1	161
Pb_01	21,4	20,2	10,6	53,7	16,3	16,0	6,4	50,0
V_92	49,0	49,1	15,7	275	50,0	49,8	10,3	251
V_95	42,1	41,5	13,8	194	44,3	43,7	9,4	196
V_01	42,8	43,0	15,5	130	45,6	45,0	18,3	132
Zn_92	79,5	78,2	25,9	718	72,6	73,9	26,1	568
Zn_95	63,0	62,0	19,0	559	58,5	58,9	6,2	581
Zn_01	63,2	62,1	21,4	135	59,9	59,5	24,5	144

Graf 7. Distribuční diagramy obsahů Cd a Pb v půdách Bazálního monitoringu půd. Srovnání let 1992, 1995, 2001 (lučavka královská, mg.kg^{-1})



4.3. *Bilance živin na plochách Bazálního monitoringu půd*

Bilancování živin a sledování jejich účinnosti je vhodným prostředkem pro rychlou diagnostiku situace v hospodaření se živinami na různých úrovních agro-ekosystému. Pro plochy bazálního monitoringu bylo využito metody polní bilance. Ta je založena na evidenci odběru živin hlavní a vedlejší sklizní a na kompenzaci schodků použitím průmyslových a organických hnojiv, ale i započítání atmosférických spadů a biologické fixace dusíku. Hranice sledovaného systému mohou být vymezeny na různých úrovních – pole, výměra zemědělského podniku, regionu či státu. Z časového hlediska se nejčastěji využívá období jednoho roku (kalendářního nebo hospodářského), případně jedné rotace osevního postupu.

Anorganické a organické hnojení

Údaje o spotřebě průmyslových a statkových hnojiv byly převzaty z monitoringu zemědělských půd za období 1992 - 2001.

Tabulka 6. Vývoj spotřeby průmyslových a statkových hnojiv v průběhu let 1992-2001 na zemědělské půdě (v kg.ha⁻¹.rok⁻¹) na pozorovacích plochách (PP) monitoringu zemědělských půd

Rok sledování	Počet pozor. míst	Čisté živiny anorganického původu kg.ha ⁻¹					Čisté živiny organického původu kg.ha ⁻¹				
		N	P	K	Mg	Ca	N	P	K	Mg	Ca
1992	104	68,77	31,43	37,17	0,22	20,43	25,05	7,69	26,41	2,23	17,35
1993	158	62,61	19,73	24,54	0,45	16,60	25,69	7,02	29,77	2,82	15,47
1994	153	68,28	21,00	20,25	4,58	36,45	31,75	9,65	30,97	4,36	21,96
1995	155	82,26	17,36	20,62	0,93	31,95	23,62	7,08	24,87	2,94	16,86
1996	157	76,59	17,43	19,58	1,48	16,98	22,58	6,39	25,17	3,59	15,81
1997	131	86,43	21,49	24,08	2,19	18,49	24,23	5,74	27,47	2,86	12,69
1998	145	81,92	18,58	24,77	1,82	16,50	28,98	7,04	32,97	3,05	16,00
1999	157	83,11	13,69	18,11	2,62	15,49	28,70	7,78	29,56	3,35	18,23
2000	153	76,95	11,56	17,33	0,70	8,50	32,53	8,28	36,72	3,30	19,18
2001	182	68,03	6,03	7,29	1,21	19,11	20,20	5,55	21,13	2,14	12,16
Průměr		75,94	16,92	19,88	1,77	21,10	26,33	7,17	28,54	3,08	16,45
Medián		66,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minimum		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum		260,00	123,00	180,00	30,00	250,00	425,00	109,20	224,00	39,20	107,20
S. odchyl.		71,30	35,65	49,74	14,15	136,49	56,82	16,73	65,93	7,34	38,94

Atmosférické spady a biologická fixace N

Data jsou převzata z monitoringu atmosférické depozice. Uvedené hodnoty jsou průměrem posledních dvou let.

Tabulka 7. Průměrné množství čistých živin z atmosférických spadů a biologické fixace na 1 ha zemědělské půdy za rok (v kg.ha⁻¹)

	Čisté živiny z atmosférických spadů					Biologická fixace
	N	P	K	Mg	Ca	N
kg.ha⁻¹.rok⁻¹	18,6	1,11	2,23	0,92	4,74	15

Odběry živin sklizněmi plodin

Údaje o hektarových výnosech a pěstované plodině jsou převzaty z monitoringu zemědělských půd, odběrové koeficienty byly převzaty z polních pokusů a odborné literatury. Uvedená data jsou součinem hektarových výnosů a odběrových koeficientů jednotlivých plodin.

Tabulka 8. Vývoj průměrného množství odebraných čistých živin rostlinou (hlavní i vedlejší produkt) v průběhu let 1992-2001 na PP monitoringu zemědělských půd

Rok sledování	Počet pozor. míst	Čisté živiny odebrané rostlinou (hlavní produkt) - průměr kg.ha ⁻¹					Čisté živiny odebrané rostlinou (vedlejší produkt) - průměr kg.ha ⁻¹				
		N	P	K	Mg	Ca	N	P	K	Mg	Ca
1992	104	91,08	15,96	53,35	8,74	30,05	5,51	0,88	11,20	1,46	0,00
1993	158	88,40	17,14	43,00	8,62	28,63	5,70	0,91	11,63	1,39	0,00
1994	153	88,10	16,68	42,71	8,58	26,94	5,31	0,85	10,88	1,59	0,00
1995	155	89,00	16,87	46,87	8,99	30,39	4,94	0,79	10,08	1,19	0,00
1996	157	87,17	17,28	41,10	8,76	27,69	6,00	0,96	12,37	1,67	0,00
1997	131	82,24	16,14	36,41	7,89	27,68	6,50	1,04	13,23	1,67	0,00
1998	145	93,31	17,61	45,06	9,64	32,53	5,67	0,91	11,90	1,10	0,00
1999	157	91,12	17,43	44,76	9,07	30,07	6,89	1,10	14,12	1,81	0,00
2000	153	90,45	17,09	47,90	9,42	28,77	5,70	0,91	11,62	1,37	0,00
2001	182	81,78	15,51	41,68	8,14	26,75	5,27	0,84	10,74	1,72	0,00
Průměr		88,12	16,81	43,88	8,79	28,92	5,77	0,92	11,82	1,50	0,00
Medián		86,70	16,81	26,25	8,15	21,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Minimum		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum		318,76	42,85	177,03	24,43	318,76	63,00	15,40	133,70	12,60	0,00
S. odchyl.		42,97	7,76	39,28	5,79	31,66	12,89	2,06	26,78	3,35	0,00

Bilance živin

Podkladem pro výpočet bilance živin byla data z monitoringu zemědělských půd a atmosférické depozice

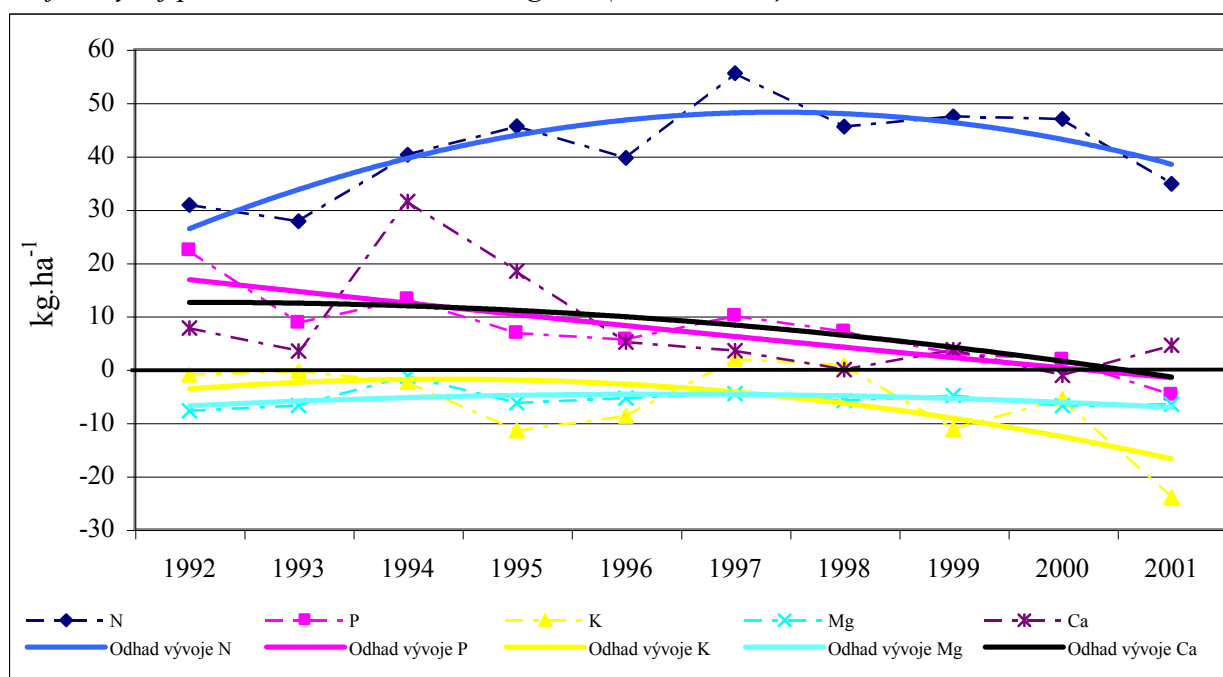
Tabulka 9. Vývoj bilancí čistých živin v průběhu let 1992-2001

Bilance čistých živin N, P, K, Mg, Ca						
Rok sledování	Počet PP	N	P	K	Mg	Ca
		kg.ha ⁻¹				
1992	104	30,82	22,29	-0,97	-7,75	7,73
1993	158	27,79	8,69	-0,31	-6,75	3,44
1994	153	40,21	13,12	-2,37	-1,24	31,47
1995	155	45,53	6,78	-11,46	-6,30	18,41
1996	157	39,60	5,58	-8,72	-5,36	5,10
1997	131	55,51	10,05	1,92	-4,51	3,51
1998	145	45,51	7,10	0,78	-5,87	-0,03
1999	157	47,40	2,94	-11,21	-4,92	3,65
2000	153	46,92	1,84	-5,47	-6,79	-1,09
2001	182	34,79	-4,78	-24,01	-6,51	4,53
Průměr		44,17	7,53	-4,47	-5,42	7,09
Medián		32,40	-6,93	-19,38	-7,20	-13,80
Min průměru PP		-221,11	-59,13	-237,67	-19,27	-93,48
Max průměru PP		167,13	71,73	103,77	8,84	158,80
Sm. odchylka PP		94,20	40,80	85,30	16,69	130,24

Hospodářská bilance jako výsledek rozdílu aktiv a pasiv živin na zemědělské půdě se v průměru za celé sledované období kromě kladné bilance dusíku a fosforu projevovала u ostatních živin negativně. Vyjádření bilancí pomocí funkce mediánu výrazně snížilo i kladnou bilanci N, do záporné bilance se dostal fosfor a dále se prohloubila negativní bilance živin K, Mg, Ca. Tento výsledek jenom potvrzuje známý fakt, že kromě N existuje dlouhodobě nedostatečný přísun ostatních živin do půdy.

Vývoj průběhu bilancí N, P, K, Mg, Ca uvádí graf 8.

Graf 8. Vývoj průběhu bilancí N, P, K, Mg, Ca (1992 – 2001)



4.4. Organické polutanty

Polychlorované bifenylly (PCB)

Polychlorované bifenylly jsou v rámci Bazálního monitoringu půd sledovány od roku 1994, na stalém souboru pozorovacích ploch však až od roku 1997. Stanovení byla zpočátku prováděna v laboratořích Státní rostlinolékařské správy v Brně a teprve od roku 1998 byly analýzy přesunuty do laboratoří ÚKZÚZ Brno. Odlišná metodika stanovení, neustálý vývoj analytických metod a změny v souboru sledovaných ploch jsou hlavní důvody, proč nelze přesně stanovit trend změn obsahů PCB v půdách monitoringu.

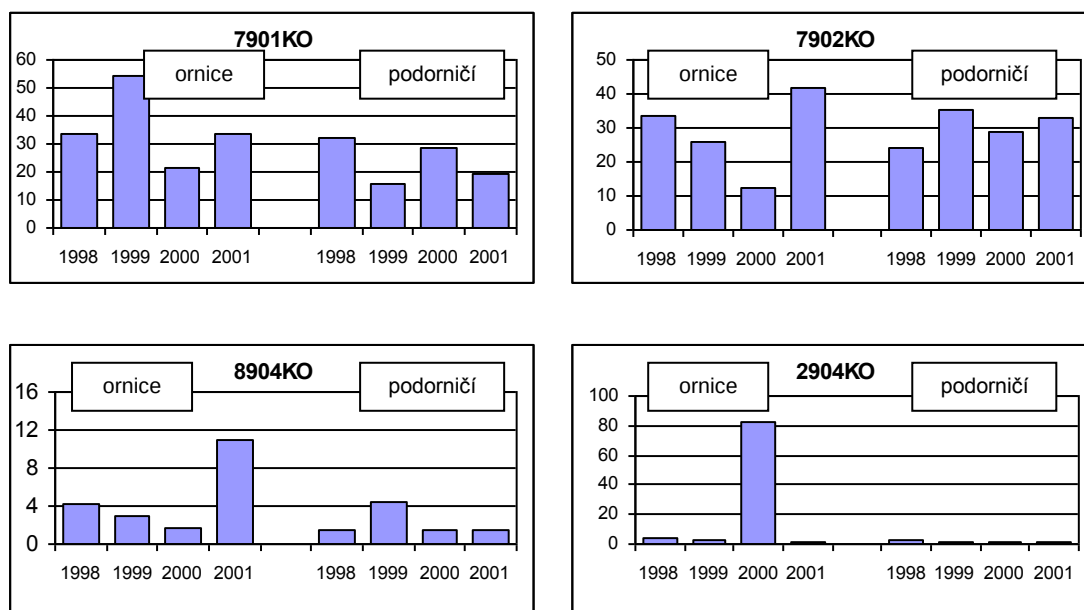
Od roku 1998 medián obsahů sumy 6 kongenerů PCB (28, 52, 101, 138, 153 a 180) v ornici mírně poklesl z 2,6 na 1,75 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, průměrné obsahy však zůstávají na úrovni cca 5 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ a maximální zjištěné obsahy silně kolísají od 1,5 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ do 82,2 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Statistické rozdíly nejsou průkazné.

Tabulka 10. Základní statistika sumy šesti kongenerů PCB v ornici orných půd a svrchních horizontech TTP a CHÚ; srovnání let 1998-2001 ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

	orná půda				TTP				chráněná území			
	1998	1999	2000	2001	1998	1999	2000	2001	1998	1999	2000	2001
průměr	5,07	5,03	6,91	5,17	2,41	2,35	1,56	2,56	-	2,96	1,68	2,00
LQ	1,50	1,95	1,50	1,50	1,50	1,58	1,50	1,50	-	1,75	1,50	1,50
medián	2,60	2,55	1,50	1,75	2,35	1,68	1,50	2,05	-	2,90	1,50	1,50
UQ	4,30	3,70	2,85	4,55	3,33	3,13	1,63	3,63	-	3,90	1,84	2,60
počet	36	36	36	36	4	4	4	4		5	5	5

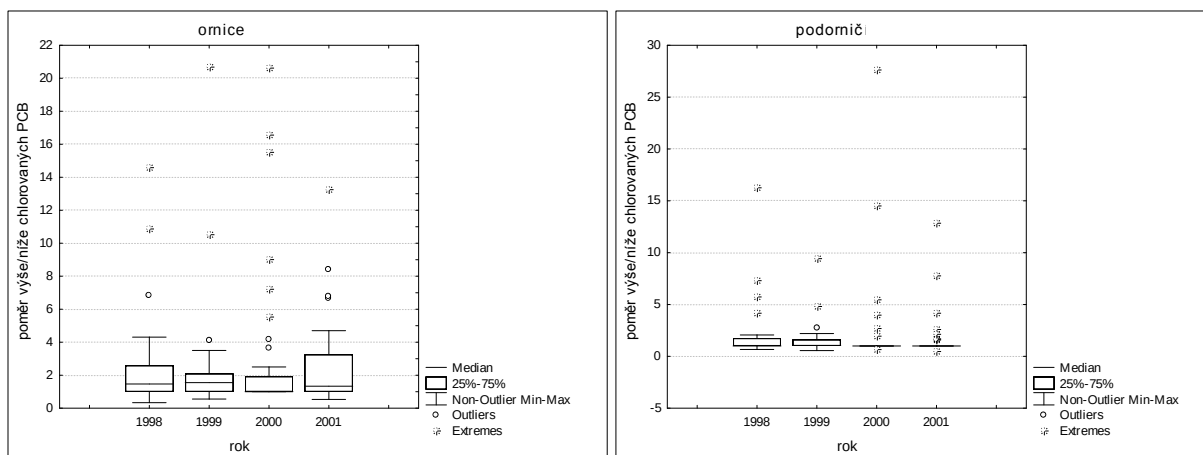
Od roku 1998 byla limitní hodnota 0,01 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (vyhl. č. 13/1994 Sb.) překročena na sedmi pozorovacích plochách, z toho na čtyřech plochách opakovaně (graf 9).

Graf 9. Vybrané pozorovací plochy s vysokými obsahy sumy 6 kongenerů PCB ($\mu\text{g.kg}^{-1}$).



Pro všechny tyto plochy platí, že suma 6 kongenerů je tvořena převážně kongenery 138, 153 a 180, tj. tzv. výšechlorovanými PCB, které podléhají biodegradaci v půdě pomaleji než ostatní stanovované, nížechlorované bifenyly. Především u pozorovacích ploch 7901 a 7902 je poměr obsahů mezi výše- a nížechlorovanými PCB vysoký, 10-15:1!!

Graf 10. Vzájemný poměr výše- a nížechlorovaných PCB v orných půdách Bazálního monitoringu půd.



Obsahy PCB jsou na většině ploch vyrovnané, vyskytují se však také plochy, na kterých lze předpokládat bodovou kontaminaci, např. při pojezdech zemědělské techniky.

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Stanovení PAH v půdních vzorcích z Bazálního monitoringu půd jsou prováděna od roku 1997 na stálém souboru pozorovacích ploch. Stanovení v prvním odběrovém roce byla provedena v laboratořích Státní rostlinolékařské správy v Brně a v roce 1998 byly analýzy přesunuty do laboratoří ÚKZÚZ v Opavě.

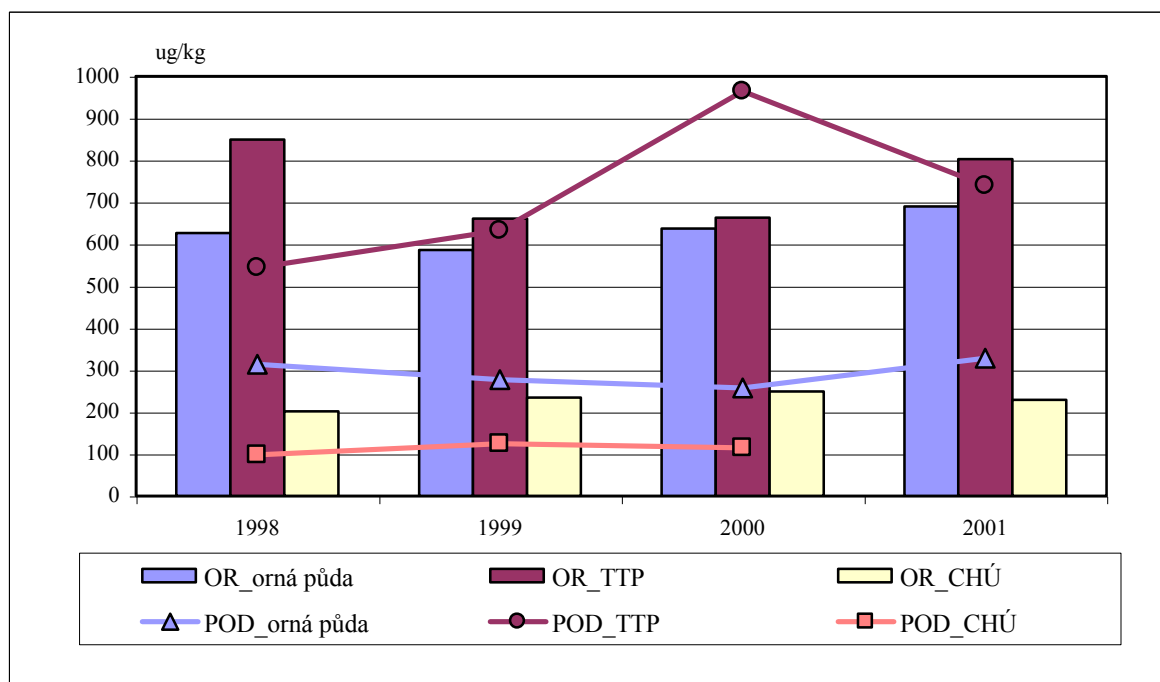
Základní statistické charakteristiky sumy 15-ti PAH ve vzorcích orných půd shrnuje tabulka 11.

Tabulka 11. Základní statistika sumy 15-ti PAH v ornici orných půd a svrchních horizontech TTP a ploch v CHÚ; srovnání let 1998-2001 (ug.kg^{-1})

	orná půda				TTP				chráněná území			
	1998	1999	2000	2001	1998	1999	2000	2001	1998	1999	2000	2001
průměr	838	948	1267	826	782	631	729	906	395	513	468	643
LQ	252	278	371	322	319	401	200	435	157	220	220	218
medián	626	586	637	689	849	660	663	802	201	235	248	229
UQ	859	1107	1382	1070	1244	861	1258	1377	336	410	689	462
počet	36	36	36	35	4	4	4	4	5	5	5	5

Pravděpodobně v důsledku chybějící kultivace půdy jsou obsahy stanovené na plochách s TTP jak v povrchovém, tak podpovrchovém horizontu vyšší než u orných půd (graf 11). Rozdíly mezi jednotlivými roky jsou statisticky neprůkazné, o trendu nelze hovořit.

Graf 11. Mediány obsahů sumy 15-ti PAH v orničním (povrchovém – OR) i podorničním (podpovrchovém – POD) horizontu orných půd, TTP a půd chráněných oblastí.



Limitní hodnotu 1 mg.kg^{-1} pro sumu 15-ti PAH překročilo v roce 2001 z 36 ploch na orné půdě celkem 13 vzorků z ornice a 6 vzorků z podorničí, což činí 28%, resp. 14%. Počet nadlimitních vzorků neustále mírně vzrůstá, a to především v podorničí. Z hlediska překračování limitní hodnoty pro individuální PAH jsou nejproblémovější fluorantén, antracén, chrysén.

V půdách jsou nejvíce zastoupeny fluorantén (průměrně 17% z celkové sumy PAH) a pyrén (15%), následují benzo(b)fluorantén (9%), fenantrén, chrysén a benzo(a)pyrén (s 8%). Fluorantén a pyrén jsou látky toxikologicky rizikové, avšak nekarcinogenní. Zbývající

jmenované uhlovodíky jsou však, kromě fenantrénu, zástupci vysokomolekulárních PAH, jež jsou v prostředí relativně stabilní a vykazují karcinogenní vlastnosti.

Látky skupiny DDT

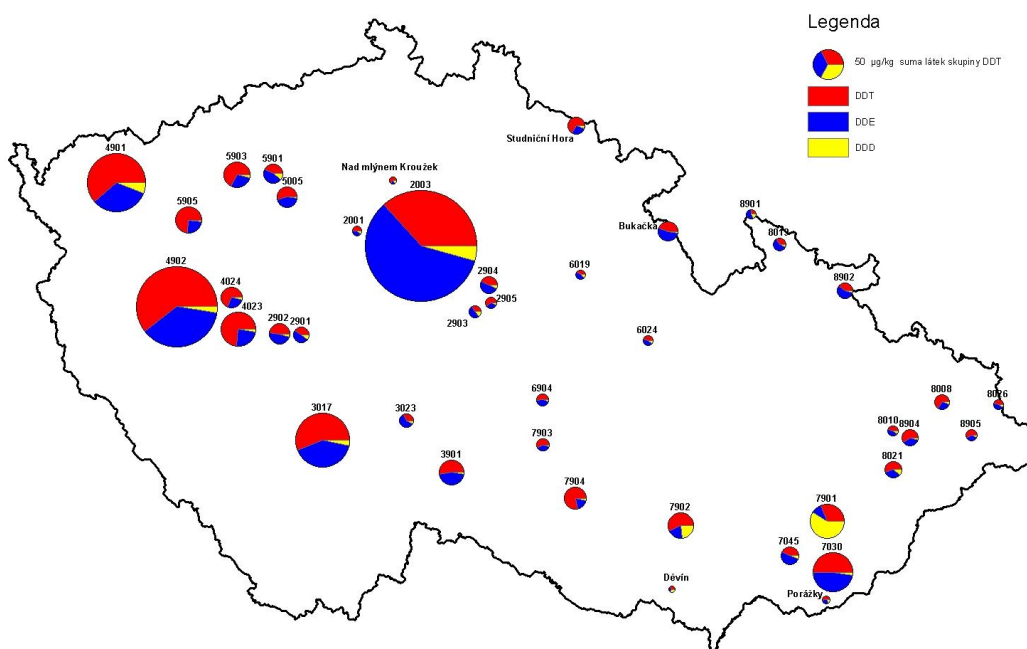
Průměrná hodnota obsahů jednotlivých látek byla v roce 2001 značně ovlivněna několika extrémními hodnotami, medián obsahu DDT v ornících orných půd je $16,6 \text{ ug.kg}^{-1}$. Tabulka 12 uvádí základní statistické charakteristiky také pro vzorky z chráněných území. Graficky jsou obsahy látek skupiny DDT ve vzorcích z monitoringu znázorněny na obrázku 5. Vezmeme-li v úvahu, že vyhláškou (13/1994 Sb.) stanovený limit pro organické chlorované pesticidy (jednotlivé) je $0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$, je zarážející, že ani hodnota mediánu nevyhovuje tomuto limitu. Z 36 analyzovaných vzorků orných půd celých 22 překračuje stanovený limit, a to pouze pro DDT.

Tabulka 12. Základní statistické charakteristiky obsahů DDT a jeho metabolitů ve vzorcích ornice z pozorovacích ploch BMP a svrchního horizontu monitorovacích ploch v chráněných územích. (ug.kg^{-1})

	Bazální monitoring půd			chráněná území		
	DDT	DDE	DDD	DDT	DDE	DDD
Průměr	63,3	47,5	6,4	10,9	7,1	1,3
Medián	16,6	12,3	1,8	4,5	2,2	1,0
Min	1,9	3,5	1,0	1,0	1,0	1,0
Max	516	600	52,1	28,6	19,2	2,6
Počet vz.	36	36	36	5	5	5

Ve všech vzorcích se projevuje znatelný nárůst obsahů DDE (hlavního metabolitu) na úkor DDT. Ve srovnání s rokem 2000 došlo k mírnému poklesu obsahů DDE. Vzhledem k rozdílnosti analytických metod nelze vyvozovat žádné závěry. Jisté však je, že zvýšené obsahy látek skupiny DDT nalézáme na všech sledovaných lokalitách; nezanedbatelné obsahy byly stanoveny také na monitorovacích plochách v chráněných územích, což potvrzuje migrační princip šíření těchto látek v ekosystému.

Obrázek 5. Celková suma látek skupiny DDT a jejich vzájemný poměr na jednotlivých pozorovacích plochách Bazálního monitoringu půd ČR



4.5. Mikrobiální parametry orných půd a půd trvalých travních porostů

Projekt monitorování mikrobiálních indikátorů kvality půdy na vybraných plochách bazálního monitoringu půd ÚKZÚZ byl zahájen v roce 1999. V období 1996-1998 byly provedeny dvě přípravné studie týkající se mineralizace dusíku a nitrifikace. Hlavním cílem první fáze projektu bylo:

- vybrat sadu půdních mikrobiálních parametrů jako indikátorů půdní kvality,
- definovat vztahy mezi půdními mikrobiálními vlastnostmi a fyzikálně-chemickými půdními parametry,
- popsat sezónní variabilitu vybraných půdních charakteristik

Tyto cíle byly stanoveny s ohledem na skutečnost, že stav půdního mikrobiálního společenstva je výrazně ovlivňován půdními abiotickými vlastnostmi a bez znalosti těchto vztahů nelze mikrobiální parametry použít jako indikátory kvality půdy. Vysoká sezónní variabilita představuje problém při aplikaci půdní mikrobiologie do systému hodnocení půdní kvality a proto byla významná část práce věnována této problematice.

V rámci studie vztahů mezi půdními fyzikálními a chemickými vlastnostmi (pH, obsah jílnatých částic, kationtová výměnná kapacita CEC, C_{org} , N_{tot}) a parametry charakterizujícími N mineralizaci a nitrifikaci (anaerobní a aerobní N mineralizace, potenciální nitrifikace) bylo v roce 1996 analyzováno 116 vzorků orných půd a půd trvalých travních porostů. Sezónní variabilita N mineralizace a nitrifikace a bezprostřední vliv aplikace dusíkatých hnojiv na tyto

procesy byly sledovány na 10 plochách orných půd v oblasti jižní Moravy během let 1997-1998. Vzorky byly odebírány jednou za měsíc v období březen-listopad.

V roce 1999 bylo vybráno 33 ploch na orné půdě a 27 na plochách trvalých travních porostů pro systematický monitoring mikrobiálních indikátorů kvality půdy. V období 1999-2001 byly odebírány vzorky v dubnu, červenci a říjnu, od roku 2002 se počítá s odběrem jedenkrát do roka. V půdách vzorkovaných v dubnovém odběrovém termínu byly stanovovány vybrané fyzikální a chemické parametry (pH, obsah zrnitostních frakcí, CEC, C_{org} , N_{tot}). Jako mikrobiální indikátory kvality půdy byly zvoleny parametry charakterizující biomasu půdních mikroorganismů (C , N mikrobiální biomasy – C_{bio} , N_{bio} , délka hyf půdních mikromycet mikroskopicky), celkovou mineralizační aktivitu půdních mikroorganismů (bazální respirace a respirační křivky, anaerobní N mineralizace), aktivitu spojenou se specifickou skupinou půdních mikroorganismů (potenciální nitrifikace) a funkční diverzitu půdního mikrobiálního společenstva (Biolog). Data byla analyzována metodami korelační a regresní analýzy a metodami mnohorozměrné analýzy.

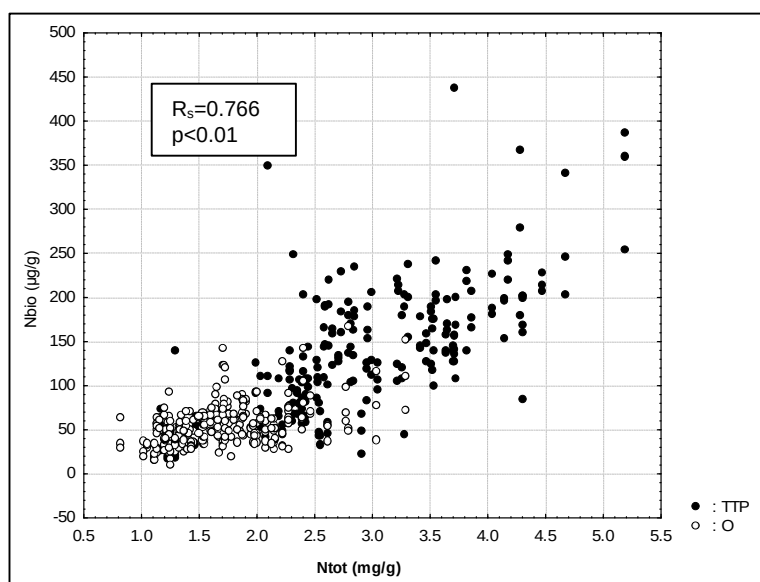
Výsledky lze shrnout do níže uvedených bodů:

- Půdní organická hmota představuje klíčový faktor pro růst mikroorganismů a parametry C_{org} a N_{tot} odrážejí frakci organické hmoty, která je dostupná mikroorganismům. Tuto skutečnost potvrzují vysoce signifikantní korelace mezi obsahem C a N vázaným v mikrobiální biomase a půdní organickou hmotou (grafy 12, 13). Jak obsah C_{org} a N_{tot} , tak hodnoty C_{bio} a N_{bio} byly signifikantně vyšších v půdách trvalých travních porostů. Tato skutečnost ukazuje na příhodnější podmínky pro akumulaci organické hmoty v půdách trvalých travních porostů. Na této skutečnosti se zřejmě výrazně podílí fakt, že v půdách trvalých travních porostů není proces akumulace organické hmoty přerušován agrotechnickými zásahy, jako je např. orba.
- Přítomnost jílovitých částic podporuje vytvoření vhodných podmínek pro růst mikrobiálních společenstev s vyšším metabolickým potenciálem. Mikrobiální společenstva těžších půd vykazovala schopnost metabolizovat širší spektrum substrátů (Biolog).
- Kationtová výměnná kapacita a pH představují půdní charakteristiky, které významným způsobem ovlivňují nitrifikaci. Limitujícím faktorem nitrifikace v půdě je nedostatek substrátu (ionty NH_4^+). Částice s vyššími hodnotami CEC mohou vázat na svých površích amonné ionty, což vede k tvorbě mikromíst s vyššími hodnotami substrátu, která mohou být kolonizována nitrifikačními bakteriemi.
- Parametry charakterizující tok hmoty a energie mikrobiální biomasou (C_{bio}/N_{bio} , qCO_2) vykazují vyšší sezónní variabilitu v orných půdách než v půdách trvalých travních porostů. Uvedená skutečnost zřejmě souvisí se skutečností, že koncentrace dostupného substrátu vykazuje menší sezónní fluktuace v půdách trvalých travních porostů než v půdách orných.
- N mineralizace představuje parametr s vysokou sezónní variabilitou, bezprostřední vliv hnojení minerálními hnojivy na tento proces nebyl prokázán. N mineralizace reflektuje jak imobilizaci N během delšího období, tak aktuální fyziologický stav půdních mikroorganismů. Krátkodobá nitrifikační aktivita nevykazuje výrazné sezónní fluktuace a není citlivá na vstup minerálních N hnojiv, což se jeví výhodné z hlediska sledování tohoto parametru během delšího časového období.
- Jako potenciální a citlivé indikátory půdní kvality se jeví tzv. ekofyziologické kvocienty (C_{bio}/C_{org} , N_{bio}/N_{tot} , $C_{bio}/respirace$, N_{bio}/N mineralizace, C_{bio}/N_{bio}), které jsou odvozené

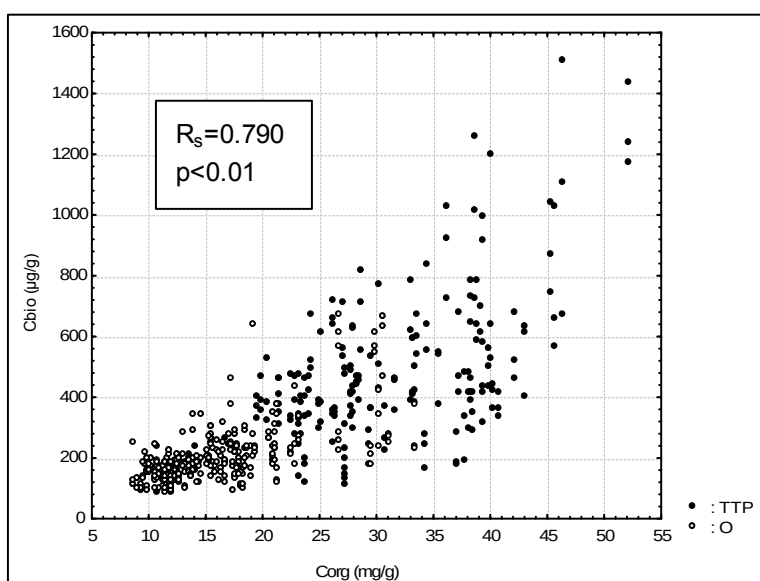
z naměřených dat. Tyto parametry obsahují „vnitřní kontrolu“, což umožňuje srovnávat půdy s různým obsahem organické hmoty.

Dalším krokem bude analýza trendů jednotlivých mikrobiálních charakteristik v období 1999-2001 v závislosti na agrotechnických zásazích. Po získání dat z fyzikálních a chemických rozborů půd odebraných v roce 2001 bude dokončena analýza vztahů mezi abiotickými parametry a půdními mikrobiálními vlastnostmi. V blízké budoucnosti navrhuji zaměřit pozornost na kontaminované půdy s cílem popsat, jak mikrobiální společenstvo odpovídá na stres způsobený zvýšenou koncentrací polutantů. Změnu v chování mikrobiálního společenstva by bylo možno využít pro včasnou detekci stresových podmínek.

Graf 12. Ordinační diagram redundanční analýzy zobrazující vztahy mezi abiotickými a vybranými mikrobiologickými charakteristikami. Vysvětlující proměnné (abiotické půdní vlastnosti) jsou zobrazeny tučně.



Graf 13. Regrese mezi celkovým dusíkem a dusíkem mikrobiální biomasy.



5. ZÁVĚR

V průběhu 10 let trvání Bazálního monitoringu zemědělských půd nedošlo u sledovaných parametrů k výrazným změnám. Toto je zcela v souladu s našimi předpoklady vzhledem k charakteru půdy jakožto významného pufrovacího systému v životním prostředí. Případné rozdíly hodnot obsahů v jednotlivých periodách odběrů, či časových řadách jsou ve většině případů způsobeny vývojem analytických metod, popř. úpravou odběrového schématu.

Obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách monitoringu lze považovat za pozadové a není zde tedy zvýšené riziko jejich přestupu do zemědělských plodin a následné kontaminace potravního řetězce. Mírně odlišná je situace v subsystému kontaminovaných ploch; je třeba si uvědomit, že celkový obsah prvků v půdě je jedním z faktorů ovlivňujících významně jejich chování v půdě a je tedy vyšší pravděpodobnost zvýšených nálezů v plodinách.

Provedené bilance živin jen potvrzují známý fakt, že kromě dusíku je přísun ostatních živin do půdy nedostatečný, což potvrzuje i mírný pokles hodnot aktuální sorpční kapacity. Varující jsou příliš vysoké obsahy organických látek v půdách, konkrétně látek skupiny DDT, jejichž obsahy ukazují na masové používání v minulých desetiletích a významný dálkový přenos. Jako problematické se jeví také polycyklické aromatické uhlovodíky. Z hlediska strukturního je většina našich půd ohrožena značnou ulehlostí a to zřejmě vlivem současného systému hospodaření.

V souladu se stanovenými cíli jsou výsledky monitoringu úspěšně využívány v procesu tvorby nových legislativních předpisů, a to např. při tvorbě a následné novelizaci zákona o hnojivech (156/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů), při tvorbě vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, novelizaci vyhlášky č. 13/1994, kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, metodického pokynu k využití sedimentů z vodních toků, rybníků a ostatních nádrží k zúrodnění zemědělských půd, při implementaci nitrátové směrnice 91/676/EHS do legislativy České republiky.

Stanovení prováděná v rámci Bazálního monitoringu půd byla úspěšně použita při vyhodnocování vlivu povodní na kvalitu zemědělské půdy.

Poznatky z monitoringu umožňují rozvíjet spolupráci především s Mendelovou zemědělskou a lesnickou univerzitou v Brně a Masarykovou univerzitou v Brně, a to jak na úrovni výběru vhodných lokalit pro speciální odběry a stanovení, tak při poskytování archivních vzorků půd při ověřování nových analytických metod nebo sledování korelací mezi jednotlivými metodami.