

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně
Sekce zemědělských vstupů



**KONTROLA A MONITORING CIZORODÝCH LÁTEK
V POTRAVNÍCH ŘETĚZCÍCH**

Zpráva za rok 2019

- Zpracovali:** Mgr. Šárka Poláková, Ph.D.
Ing. Ladislav Kubík, Ph.D.
Ing. Lenka Prášková, Ph.D.
Ing. Jaroslav Houček
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.
Ing. Jiří Fiala, Ph.D.
Ing. Radka Daňková, Ph.D.
- Předkládá:** Ing. Miroslav Florián, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů
- Schválil:** Ing. Daniel Jurečka, ředitel ústavu

Brno, březen 2020

OBSAH

1. KONTROLA A MONITORING CIZORODÝCH LÁTEK V ZEMĚDĚLSKÉ PŮDĚ A VSTUPECH DO PŮDY	5
1.1 ÚVOD	5
1.2 CÍLE	7
1.3 METODIKA PRACÍ	9
1.4 VÝSLEDKY.....	10
1.4.1 Bazální monitoring půd.....	10
1.4.1.1 Polychlorované bifenyly v půdě.....	10
1.4.1.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky v půdě.....	13
1.4.1.3 Persistentní chlorované pesticidy v půdě.....	17
1.4.1.4 Účinné látky používané v přípravcích na ochranu rostlin v půdě.....	22
1.4.1.5 Uhlovodíky C10-C40 v půdě.....	27
1.4.1.6 Minerální dusík v půdě.....	28
1.4.1.7 Stanovení obsahů esterů kyseliny ftalové v půdě v letech 2011–2018.....	33
1.4.1.8 Monitoring mikrobiálních parametrů půd ČR	37
1.4.1.9 Monitoring rostlinné produkce – obsahy rizikových prvků v rostlinách	40
1.4.2 Kontrola hnojiv a pomocných látek	41
1.4.3 Monitoring kalů ČOV	42
1.4.3.1 Rizikové prvky v kalech.....	42
1.4.3.2 Polychlorované bifenyly v kalech	47
1.4.3.3 Polycyklické aromatické uhlovodíky v kalech	50
1.4.3.4 Halogenové organické sloučeniny v kalech	54
1.4.3.5 Organochlorové pesticidy v kalech	55
1.4.3.6 Polybromované difenylethery v kalech	59
1.4.3.7 Perfluoroalkylové sloučeniny v kalech.....	61
1.4.3.8 Mikrobiologická stanovení v kalech.....	63
1.4.3.9 Využití kalů	67
1.4.4 Hodnocení rybníčních sedimentů.....	69
1.5 CITOVANÉ ZDROJE.....	77
2. VÝSLEDKY ANALÝZY KRMIV ODEBRANÝCH V RÁMCI CÍLENÉ KONTROLY A MONITORINGU	78
2.1 Sledování zakázaných látek.....	79
2.1.1 Cílená kontrola přítomnosti zpracovaných živočišných bílkovin v krmivech	79
2.1.2 Cílená kontrola rybí moučky mikroskopicky na přítomnost cizích příměsí.....	80
2.2 Sledování nežádoucích látek.....	81
2.2.1 Monitoring vybraných perzistentních organických polutantů (POP).....	81
2.2.2 Cílená kontrola dioxinů, furanů a PCB dioxinového typu	82
2.2.3 Monitoring mykotoxinů	83
2.2.4 Cílená kontrola přítomnosti těžkých kovů v krmivech	84
2.2.5 Cílená kontrola přítomnosti dalších nežádoucích látek v krmivech.....	86
2.3 Sledování správného používání doplňkových látek.....	89
2.3.1 Cílená kontrola používání kokcidostatik.....	89
2.3.2 Cílená kontrola dodržování limitů doplňkových látek	92
2.3.3 Cílená kontrola kontaminace krmiv léčivy	104



2.4 Sledování dalších bezpečnostních a jakostních ukazatelů.....	106
2.4.1 Cílená kontrola parametrů glycerolu, používaného jako krmná surovina.....	106
2.4.2 Cílená kontrola pesticidů	107
2.4.3 Cílená kontrola přítomnosti a označování genetických modifikací v krmivech	108
2.4.4 Cílená kontrola výskytu zakázaných stimulátorů nebo inhibitorů růstu	108
2.5 Závěr	109

1. Kontrola a monitoring cizorodých látek v zemědělské půdě a vstupech do půdy

1.1 ÚVOD

Přehled prací prováděných Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským, Sekcí zemědělských vstupů (Oddělení půdy a lesnictví, Oddělení krmiv, Oddělení hnojiv, Odbor zemědělské inspekce) ve spolupráci s Národní referenční laboratoří ÚKZÚZ, v roce 2019 v oblasti kontroly a monitoringu cizorodých látek v zemědělské půdě a vstupech do půdy:

1) Bazální monitoring zemědělských půd (BMP)

- odběry vzorků půd v tzv. základním cyklu vzorkování ze všech 214 pozorovacích ploch,
- odběry vzorků půd a vyhodnocení obsahů organických polutantů na vybraných pozorovacích plochách,
- odběry a analýzy vzorků rostlin v subsystému kontaminovaných ploch a na referenčních plochách v základním subsystému,
- odběry vzorků půd a vyhodnocení mikrobiologických parametrů na vybraných pozorovacích plochách,
- výkop a popis pedologických sond na pozorovacích plochách BMP, včetně analýz vzorků půd z jednotlivých horizontů.

2) Monitoring vstupů do půdy

- Monitoring kvality kalů a kvality půdy a rostlin po aplikaci kalů ČOV
 - odběry vzorků kalů s přednostním výběrem ČOV, jejichž kaly jsou využity v zemědělství,
 - odběry a analýzy vzorků půd a rostlin na pozemcích po aplikaci kalů, na nichž byly zjištěny nadlimitní obsahy rizikových prvků.
- Monitoring rybničních a říčních sedimentů
 - odběry vzorků sedimentů (sledování výživových charakteristik, obsahu rizikových prvků, organických polutantů).
- Aktivní biomonitoring
 - sledování imisní zátěže rizikovými prvky a PAH, prostřednictvím standardně předpěstovaných kultur jílku mnohokvětého a borovice černé,
 - tato aktivita byla z důvody úspory finančních a lidských zdrojů v roce 2019 přerušena.
- Monitoring atmosférické depozice
 - od října 2005 je monitoring atmosférické depozice pozastaven a převeden na tzv. „přerušovaný“ cyklus sledování

3) Registr kontaminovaných ploch

- zahušťování odběrů na územích se zjištěnými nadlimitními obsahy sledovaných rizikových prvků, přičemž jsou hodnoceny výsledky stanovení jak po extrakci lučavkou královskou, tak také (nově) ve výluhu Mehlich 3,
- zahušťování odběrů na územích s dosud neprovedenými analýzami (extrakce lučavkou královskou),
- odběry vzorků půd u ekologicky hospodařících zemědělců.

4) Kontrola hnojiv

- kontrolní činnost vyplývající ze zákona č. 156/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů

5) Kontrola krmiv

- přítomnost zakázaných látek a produktů v krmivech
- kontrola výskytu nežádoucích látek a produktů v krmivech
- dodržování podmínek používání doplňkových látek v krmivech
- sledování dalších problematik týkajících se bezpečnosti krmiv

Zpráva hodnotí výsledky za rok 2019, navazuje na výsledky z minulých let a pokud je to možné, hodnotí též vývoj sledovaných parametrů.

1.2 CÍLE

Cíle kontroly a monitoringu rizikových prvků a rizikových látek jsou formulovány v souladu s požadavky MZe a MŽP tak, aby výsledky sloužily především jako podpora pro rozhodování na všech úrovních státní správy a při přípravě návrhů a novely legislativních předpisů. Současně jsou výsledky všech oblastí sledování využívány jako zdroje dat pro vědeckovýzkumné projekty.

Bazální monitoring půd

- 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. Data jsou porovnávána s výsledky programu AZZP.
- Na úrovni ÚKZÚZ, MZe a MŽP je systém monitoringu navázán na zahraniční systémy monitoringů, slouží k prezentaci výsledků na mezinárodní úrovni a spolupráci se zahraničními odborníky (vazba zejména na Německo, Slovensko, Švýcarsko, Rakousko, Maďarsko).
- Výsledky jsou využívány také pro hodnocení a validaci analytických metod.
- Poskytuje materiály pro ročenky a statistické přehledy.

Monitoring vstupů do půdy

- a) Monitoring kvality kalů a kvality půdy a rostlin po aplikaci kalů ČOV
 - V návaznosti na registr kontaminovaných ploch byla v roce 1997 zahájena postupná tvorba databáze pozemků s aplikací kalů ČOV. Tato databáze bude sloužit k hodnocení rizik na konkrétních pozemcích, kde byly kaly aplikovány.
 - V roce 2003 byla zahájena postupná tvorba databáze rostlin pěstovaných na pozemcích s aplikací kalů. Také tato databáze bude sloužit k hodnocení rizik na konkrétních pozemcích, kde byly kaly aplikovány.
 - Výsledky inventarizace jsou využívány pro přípravu legislativních předpisů.
- b) Monitoring rybníčních a říčních sedimentů
 - Ústav provádí testování sedimentů s ohledem na další způsoby nakládání s vytěženými sedimenty, především s ohledem na jejich použití v zemědělských ekosystémech.
 - Databáze získaných analytických dat slouží jako zdroj informací pro orgány státní správy.
 - Databáze analytických dat tvoří samostatnou vrstvu v LPIS a měla by usnadnit vyhodnocení vhodnosti aplikace sedimentů na zemědělskou půdu.
 - Výsledky šetření byly použity při tvorbě legislativních opatření.

c) Aktivní biomonitoring

- Metoda slouží ke zjištění aktuální depoziční zátěže krajiny a především zemědělských plodin vybranými prvky a/nebo látkami.
- V současné době je tento program pozastaven.

d) Monitoring atmosférické depozice

- Výsledky poskytují informace pro bilancování látek v agroekosystémech: hodnocení imisí z hlediska vstupů rizikových prvků do půdy, vytvoření národní sítě a poskytování referenčních hodnot. V návaznosti na monitoring půd lze hodnotit vliv imisí na zemědělskou produkci. Funkční systém poskytuje podklady pro odvozování emisních limitů a kritických zátěží půd. Prvotní data byla poskytována k dalšímu využití Zemědělské vodohospodářské správě a Českému hydrometeorologickému ústavu.
- V současné době je tento program pozastaven.

Registr kontaminovaných ploch

- a) Výsledky registru tvoří celoplošnou databázi charakterizující stav kontaminace zemědělských půd rizikovými prvky.
- b) Na úrovni MZe a MŽP slouží výsledky jako podkladové materiály k přípravě legislativních opatření.
- c) Po předání databází registru krajským úřadům, obcím s rozšířenou působností, referátům životního prostředí, je umožněno využití výsledků pro správní činnost s využitím aplikace do GIS.
- d) Databáze analytických výsledků tvoří samostatnou vrstvu v LPIS a usnadňuje např. vyhodnocení jiných šetření.

Kontrola hnojiv

V rámci procesu registrace hnojiv a následné kontroly jsou zjišťovány obsahy rizikových prvků v hnojivech jako nutný podklad pro vlastní registraci nebo pro případné stažení výrobku z oběhu.

Kontrola krmiv

Výsledky poskytují informace o plošné úrovni bezpečnosti vyrobených krmných produktů. Slouží jako podkladové materiály ÚKZÚZ pro systematické zaměření kontrol v následujícím období.

V rámci kontrolního systému ÚKZÚZ data umožňují detekovat závadné produkty na trhu a cíleně dohledávat a odstraňovat nedostatky při jejich výrobě nebo zpracování.

Výrobci krmných produktů zveřejněné informace využívají při modifikaci interních preventivních a kontrolních systémů řízení rizik.

1.3 METODIKA PRACÍ

Terénní, analytické a vyhodnocovací práce jsou prováděny v souladu s platnými metodikami vypracovanými pro jednotlivé úkoly a s požadavky MZe, Odboru bezpečnosti potravin (metodické postupy Sekce zemědělských vstupů; Zbíral, J. a kol., 2016–2019: Analýza půd I, II, III, jednotné pracovní postupy; Zbíral, J. a kol., 2014: Analýza rostlinného materiálu, jednotné pracovní postupy). Současně byly uplatněny národní nebo mezinárodní normy odběrů vzorků a analytických prací.

Terénní a vyhodnocovací práce byly zabezpečovány pracovníky Sekce zemědělských vstupů, analytické práce převážně Národní referenční laboratoří. Vlastní laboratorní analýzy byly prováděny v regionálních laboratořích v Plzni, Brně a Opavě, vybrané analýzy krmiv a kalů ve smluvních laboratořích. Všechny laboratoře jsou zapojeny do vnitřního systému řízení jakosti, organizovaného Národní referenční laboratoří a všechny jsou akreditovány ČIA. Laboratoře se pravidelně účastní mezilaboratorních porovnávacích zkoušek na národní i mezinárodní úrovni.

Z důvodu úspor jsou od roku 2012 prováděny odběry půdních vzorků na stanovení organických polutantů pouze z orničního horizontu. Odběry těchto půdních vzorků jsou od roku 2015 prováděny na jaře (v březnu), před započítím agrochemických operací. V letech 2017–2019 byly odebrány půdní vzorky z vybraných 10 monitorovacích ploch také na podzim z důvodu sledování změn obsahů reziduí přípravků na ochranu rostlin v půdě, které monitorujeme od roku 2014.

Dále byly vzhledem ke změnám ve využívání pozemků provedeny následující změny v souboru půd orných (OP) a trvalých travních porostů (TTP) určených ke stanovení organických polutantů: od roku 2007 je plocha 8904KO evidována v souboru ploch TTP (změna kultury z orné půdy na TTP). V roce 2011 byla do souboru ploch TTP zařazena plocha 5905KO (změna ve využívání pozemku z orné půdy na TTP). V roce 2008 byl ukončen monitoring na ploše 4901KO (TTP) (výstavba rodinných domů), jako náhrada byla založena plocha 4904KO (TTP) – monitoring byl v plném rozsahu zahájen v roce 2009. V tomtéž roce byla ze souboru ploch TTP převedena plocha 4903KO do souboru ploch orných půd (rozorání travního porostu, zemědělská výroba). V roce 2013 došlo k přesunu monitorovací plochy 8026 (orná půda) přibližně o 500 m a to z důvodu výstavby rodinných domů. V témže roce byl na přesunuté ploše (8026BOP) zahájen monitoring v plném rozsahu (včetně vzorkování v základním odběrovém cyklu).

V roce 2012 byl zahájen screening obsahů vybraných kongenerů PBDE v zemědělských půdách a dalších environmentálních matricích (sedimentech, kalech ČOV), jako odezva na zařazení PBDE na seznam látek Stockholmské úmluvy a na návrh EFSA na monitoring těchto látek v potravinách. Jelikož v půdních vzorcích nebyly nalezeny obsahy PBDE nad mezí stanovitelnosti, od roku 2016 již nejsou PBDE v půdních vzorcích stanovovány. Ve vzorcích kalů analýzy pokračují.

Současně s PBDE byly na seznam Stockholmské úmluvy zařazeny i perfluorované látky (PFAS). Screening vybraných PFAS byl zahájen v roce 2013 analýzami odpadních kalů z ČOV.

V roce 2019 byly z úsporných důvodů sníženy počty vzorků kalů z 80 na 40. Analýzy organických polutantů byly provedeny ve 14 vzorcích kalů (místo původních 21). Stanovení AOX v externí laboratoři nebylo provedeno. Zároveň byl rok 2019 rokem základních odběrů, tzn. na všech 214 monitorovacích plochách proběhly odběry půdních vzorků podle stanovené metodiky. Postupně probíhá úprava vzorků (sušení, prosévání). S analytickými pracemi se začalo v roce 2020.

1.4 VÝSLEDKY

1.4.1 Bazální monitoring půd

1.4.1.1 Polychlorované bifenyly v půdě

Šárka Poláková

Polychlorované bifenyly (PCB) jsou skupinou organických sloučenin skládajících se z bifenyly ($C_{12}H_{10}$) a různého počtu připojených atomů chlóru. Důvodem pro jejich produkci byla mimořádná chemická stálost (nehořlavost) a výborné elektroizolační schopnosti. Spolu s jejich toxicitou představuje právě jejich chemická stálost zásadní problém, neboť jejich biodegradace probíhá v přírodě jen velmi pomalu a za specifických podmínek. Nejvýznamnějším transportním médiem je atmosféra. PCB jsou transportovány v plynné formě, nebo vázané na pevné částice. Po depozici většinou dojde k silné adsorpci na půdní částice. K vertikálnímu pohybu v půdním tělese dochází především prostřednictvím promíchávání, a to jak technogenního (orba), tak biologického (např. žížaly) původu. V letních měsících, za zvýšených teplot, dochází ke „ztrátám“ volatilizací (k výparu) zejména nízechlorovaných PCB.

Půdní vzorky ke stanovení PCB byly v roce 2019 odebrány ze 40 stálých monitorovacích ploch Bazálního monitoringu půd (pouze z orničních horizontů) a 5 lokalit v chráněných územích.

Výsledky stanovení PCB v roce 2019 uvádí příloha 1 a 2. V příloze 1 jsou ke každé pozorovací ploše uvedeny obsahy jednotlivých kongenerů PCB i celková suma 7 stanovovaných kongenerů. V příloze 2 jsou graficky znázorněny obsahy PCB na všech pozorovacích plochách. Obsahy vyšší než limit stanovitelnosti byly nalezeny na 20 pozorovacích plochách, včetně jedné plochy z chráněného území (CHÚ).

Základní statistické charakteristiky souboru jsou uvedeny v tabulce 1, hodnoty jsou uváděny zvlášť pro ornou půdu, trvalé travní porosty (TTP) a chráněná území; souhrnná deskriptivní statistika souboru (2005–2019) je uvedena v příloze 21. Grafické vyjádření obsahů PCB (medián) v jednotlivých kulturách uvádí příloha 3.

Tabulka 1 Mediány, aritmetické průměry a maximální hodnoty sumy 7 kongenerů PCB v orničním/svrchním horizontu (2005–2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

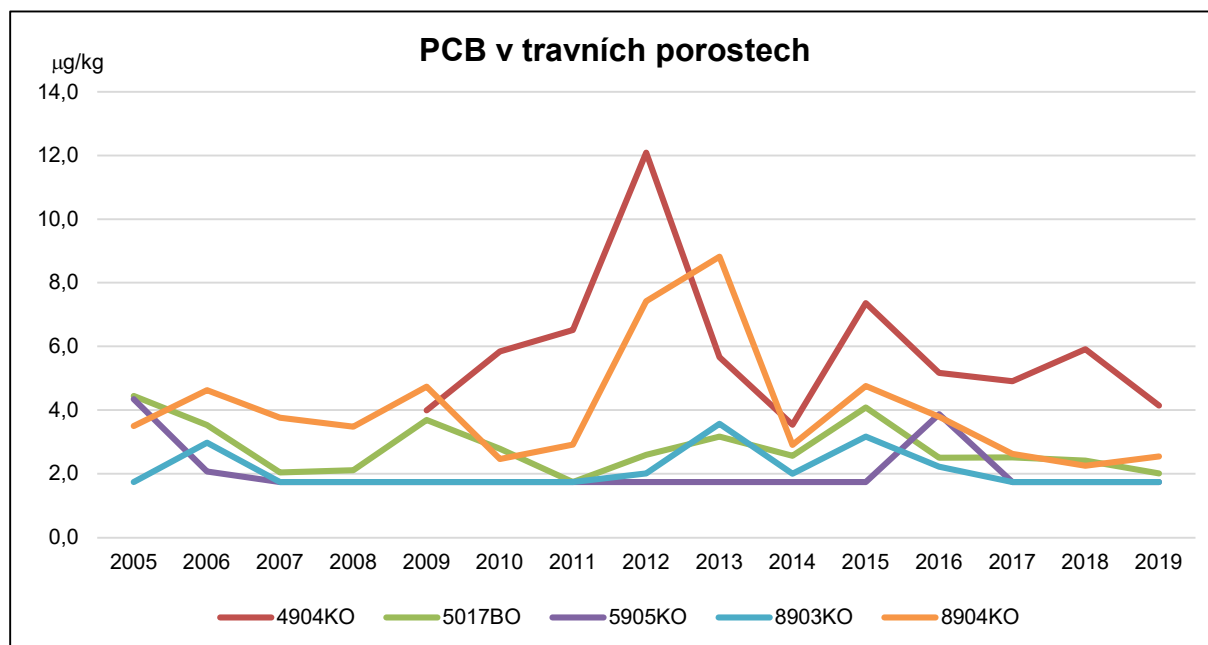
Orná půda (ornice)																
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
medián	3,58	3,60	1,75	2,03	2,02	2,06	2,00	2,02	2,89	1,88	2,10	2,62	1,75	1,75	1,75	
průměr	5,51	6,66	5,11	5,16	6,80	5,71	5,19	5,19	5,86	4,71	5,07	4,45	3,76	3,28	5,38	
max.	44,7	62,8	55,7	59,2	98,9	44,6	58,5	51,7	47,8	40,1	35,4	31,3	29,6	24,3	57,2	
Trvalé travní porosty (svrchní hor.)																
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
medián	3,60	3,53	2,04	2,11	3,70	2,63	2,34	3,09	3,58	2,57	4,08	3,79	2,52	2,26	2,01	
průměr	4,29	6,76	3,60	4,79	3,57	3,98	3,34	4,91	4,60	2,56	4,22	3,51	2,71	2,82	2,44	
max.	8,65	17,8	6,39	14,9	4,74	8,82	6,52	12,1	8,82	3,55	7,36	5,17	4,91	5,9	4,14	
Chráněná území (svrchní hor.)																
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
medián	4,80	3,35	1,75	1,75	2,04	1,75	1,75	2,11	1,75	1,75	2,38	2,49	1,75	3,78	1,75	
průměr	6,78	4,69	1,75	3,13	3,53	2,68	1,75	2,48	7,14	2,40	5,32	5,72	3,16	3,81	2,56	
max.	16,6	10,1	1,75	8,64	9,02	6,00	1,75	3,61	22,3	4,74	14,4	12,2	8,81	7,20	5,80	

Medián sumy 7 kongenerů PCB v orných půdách se v období 2005–2019 pohybuje v rozmezí 1,75 až 3,60 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (nejvyšší hodnoty bylo dosaženo v roce 2006). Medián z roku 2019 činí 1,75 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Rozsah mediánů v půdních vzorcích z chráněných území činí 1,75–4,80 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Z přílohy 3 je patrný shodný průběh mediánů sumy PCB v letech 2005–2019 v orných půdách a chráněných územích. Mediány obsahů PCB v půdách TTP kolísají v rozsahu 2,01–4,08 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ a jsou vyšší než hodnoty mediánů v orných půdách a CHÚ. Jedním z důvodů, proč tomu tak je, může být menší hloubka odběru vzorku. Nicméně je nutné mít stále na paměti, že v tomto souboru ploch je pouze pět travních porostů (graf 1). Medián z roku 2019 činí 2,44 $\mu\text{g.kg}^{-1}$.

V půdních vzorcích BMP je stanovováno 7 kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180). Nálezy jednotlivých kongenerů jsou ve většině případů nižší než mez stanovitelnosti (LOQ = 0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$). LOQ nebyla ani jednou překročena u kongeneru 52, a pouze 1x, resp. 3x u kongenerů 28 a 118, resp. 101. Tyto pozitivní nálezy nížechlorovaných kongenerů PCB se vyskytují na plochách s nejvyššími celkovými obsahy (7045BO, 7901KO a 7902 KO). Řádově vyšší počty nálezů vyšší než mez stanovitelnosti jsou u kongenerů 138 (11 vzorků) a 180 (13 vzorků). U 20 vzorků byl detekován kongener 153. Podle počtu nálezů (v roce 2019) lze tedy kongenery seřadit následovně: 153 > 180 > 138 > 101 > 118 = 28 > 52. Nejvyšší průměrný obsah byl detekován u kongeneru 153 a stejně tak nejvyšší maximální hodnota.

Nejvyšší obsahy PCB jsou pravidelně zjišťovány na plochách 7902KO, 7901KO, 7045BO a 9002 Studniční hora. Struktura zastoupení sledovaných kongenerů na těchto plochách je jiná než na ostatních plochách. Podíl výše chlorovaných kongenerů (138, 153 a 180) vzrůstá až na 90 % z celé sumy PCB (příloha 4). Vzhledem k chemické povaze uvedených kongenerů nelze očekávat výrazný pokles obsahů PCB.

Graf 1 **Obsahy PCB na pěti monitorovacích plochách s travními porosty (2005–2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)**



Obsahy rizikových prvků a látek v půdě se hodnotí na základě vyhlášky č. 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Vyhláška

definuje preventivní a indikační hodnoty. Preventivní hodnoty představují horní mez geogenního a antropogenního pozadí obsahů látek v půdě a jejich překročení může vést k ohrožení funkcí půdy. V tomto případě je zakázáno na půdu aplikovat sedimenty či čistírenské kaly. Při překročení indikačních hodnot může vzniknout riziko ohrožení zdraví lidí, zvířat i ohrožení kvality pěstovaných plodin.

Vyhláška č. 153/2016 Sb. uvádí pro obsah PCB v půdě preventivní hodnotu $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. a to pro sumu 7 kongenerů (25, 52, 101, 118, 138, 153 a 180). Preventivní hodnota pro obsah PCB v půdě byla v roce 2019 překročena na dvou monitorovacích plochách – 7901KO (k.ú. Tečovice, okr. Zlín) a 7902KO (k.ú. Chřlice, okr. Brno-město) obě na orné půdě. Indikační hodnota nebyla překročena.

Počty vzorků překračující limit stanovený vyhláškou č. 153/2016 Sb. jsou uvedeny v tabulce 2. Průběh obsahů PCB na plochách, na kterých došlo ve sledovaném období (1998–2019) k překročení nyní platné preventivní hodnoty, je graficky znázorněn v příloze 5 (suma 6 kongenerů pro léta 1998 a 1999, od roku 2000 suma 7 kongenerů).

Tabulka 2 *Počty vzorků překračujících stanovenou preventivní hodnotu – orná půda, chmelnice (ornice)*

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Počet vzorků	1	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2

Závěry

- V roce 2019 byly PCB stanoveny na 34 plochách s ornou půdou, 5 plochách s TTP, na 1 chmelnici a v pěti vzorcích nenarušených půd CHÚ.
- Rozsah mediánů obsahů sumy 7 kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) v letech 2005–2019 se pohybuje v ornici orných půd mezi $1,75\text{--}3,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Pro rok 2019 byl pro ornou půdu vypočten medián $1,75 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.
- Mediány obsahů 7 kongenerů PCB v půdách chráněných území se vyskytují v rozsahu $1,75\text{--}4,80 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. a vykazují velmi podobný průběh jako orné půdy.
- Mediány obsahů 7 kongenerů PCB v půdách TTP kolísají kolem hodnoty $3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. a jsou mírně vyšší než v orných půdách. Rozmezí mediánů činí $2,01\text{--}4,08 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.
- Preventivní hodnota obsahu PCB v zemědělských půdách, $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., stanovená vyhláškou č. 153/2016 Sb., byla v roce 2019 překročena v ornici 2 pozorovacích ploch orných půd.
- Na plochách se zvýšeným obsahem PCB nelze očekávat výrazný pokles obsahů PCB z důvodu vysokého poměrného zastoupení výše chlorovaných (a tudíž odolnějších) PCB.

1.4.1.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky v půdě

Šárka Poláková

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), jsou chemické sloučeniny složené z uhlovodíkových cyklů (aromatických jader) bez heterogenních atomů nebo substituentů. V životním prostředí se vyskytují především v důsledku lidské činnosti – zejména nedokonalého spalování uhlíkatých paliv. V závislosti na struktuře mají některé z nich karcinogenní účinky. Vázané na pevné částice se snadno pohybují vzduchem, v půdě jsou nejčastěji vázané na organickou hmotu. Nejdůležitějším procesem jejich odbourávání z půdního prostředí je biodegradace, v menší míře se uplatňuje vymývání do podzemních vod a odpar do půdního vzduchu. Půdu je nutné chápat jako zásobárnu mnoha znečišťujících látek, včetně PAH. Obsahy PAH tedy odráží spíše dlouhodobou akumulaci než okamžité vstupy.

Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou ve vzorcích BMP stanovovány od roku 1997. Od roku 2006 je stanovováno všech 16 EPA PAH.

V roce 2019 byly obsahy 16 individuálních PAH stanoveny ve vzorcích ze 40 vybraných pozorovacích ploch BMP a 5 lokalit v chráněných územích, a to pouze v orničním (svrchním) horizontu (příloha 6). Součástí přílohy je také vypočtená suma všech stanovovaných PAH (suma 16 PAH) a suma 12 PAH uvedených ve vyhlášce č. 153/2016 Sb. Graficky jsou obsahy sumy 12 PAH na všech plochách BMP i v CHÚ vyjádřeny v příloze 7.

Základní statistické charakteristiky individuálních uhlovodíků na plochách s ornou půdou za období 2006–2019 jsou uvedeny v příloze 8. Střední obsahy individuálních PAH (v orné půdě) mírně klesají, střední obsahy benzo(a)pyrenu, benzo(b)fluorantenu a benzo(k)fluorantenu stagnují. Tyto tři uhlovodíky podle Mezinárodní organizace pro výzkum rakoviny (IARC) zařazeny do skupiny 1 (prokázané lidské karcinogeny) a 2B (možné lidské karcinogeny).

Základní statistické charakteristiky sumy 12 PAH jsou uvedeny v tabulce 3 (statistická charakteristika sumy 12 EPA PAH) a souhrnná statistika souboru (2005–2019) je uvedena v příloze 21.

V souboru ploch s ornou půdou kolísaly hodnoty pro sumu 12 PAH v ornici v roce 2019 v rozmezí 85–2900 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Rozsah mediánů (2005–2019) činí 473–710 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., v roce 2019 byla vypočtena hodnota mediánu 565 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Graficky jsou hodnoty mediánů zobrazeny v příloze 9. Ve svrchním horizontu TTP kolísají hodnoty mediánů v letech sledování 2005–2019 mezi 433 a 1174 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (medián 2019: 574 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). V posledních letech se mediány obsahů PAH ve svrchních horizontech orných půd a TTP vyrovnaly. Tento pokles obsahů PAH v půdách TTP není způsoben snížením obsahu PAH v těchto půdách, ale změnami struktury souboru ploch TTP. Monitorovací plochy nejsou majetkem ústavu, ale soukromých subjektů, které na nich hospodaří běžným způsobem a tedy může na nich docházet ke změně způsobu hospodaření, což vede k „přesunu“ ploch v rámci sledovaných kultur. Nicméně od roku 2013 je soubor ploch TTP stálý a obsahy PAH na těchto plochách zůstávají na přibližně stejné hladině. Mediány obsahů sumy 12 PAH v půdách CHÚ jsou vyrovnané, rozsah činí 98–238 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (medián 2019: 98 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) a zhruba 4x nižší než obsahy v orných půdách. Mezi jednotlivými plochami jsou ovšem rozdíly. Zatímco se obsahy PAH na plochách Kroužek (9001), Děvín (9004) a Porážky (9005) pohybují kolem hodnoty 150 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., více než dvojnásobné jsou hodnoty z Bukačky (9003) a obsahy ze Studniční hory (9002) se pohybují o řád výše.

Tabulka 3 Základní statistické charakteristiky sumy 12 PAH v ornici (svrchním horizontu) orných půd, TTP a CHÚ; 2005–2019 ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

	Orná půda														
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
arit. prům.	784	874	706	696	1005	957	1018	620	657	630	604	762	775	645	732
medián	595	649	521	473	710	656	632	515	510	509	500	595	582	579	565
minimum	86	50,7	101	53,9	167	101	115	75,0	67,3	77,2	115	100	92,2	92,3	85
maximum	3234	2591	2136	2931	3848	5868	5359	1639	2109	2068	2293	3912	2880	1981	2900
počet	34	34	35	34	34	34	34	33	34	34	34	34	34	34	34

	Trvalé travní porosty														
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
arit. prům.	755	1029	953	1068	669	714	628	723	509	521	668	757	464	591	552
medián	890	1174	834	985	569	656	531	442	691	444	433	576	561	610	574
minimum	127	500	724	255	283	377	286	101	86,9	92,0	135	145	130	122	107
maximum	1146	1268	1421	2465	1086	1345	1058	2435	777	972	1425	1791	808	1347	1079
počet	5	4	4	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5

	Chráněná území														
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
arit. prům.	410	644	113	548	541	538	480	436	415	211	566	677	553	362	377
medián	122	204	112	152	199	238	155	171	119	136	149	181	133	125	98
minimum	82,4	66,4	65,4	85,9	153	146	126	113	91,0	135	115	103	95,4	89,2	80
maximum	1426	2108	164	2205	1808	1838	1482	1009	1331	486	1950	2337	2119	837	1505
počet	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5

Obsahy PAH v půdě se hodnotí podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. Preventivní hodnota pro sumu PAH činí $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš., přičemž do sumy PAH se započítává 12 individuálních uhlovodíků (antracen ANT, benzo(a)antracen BAA, benzo(b)fluoranten BBF, benzo(k)fluoranten BKF, benzo(a)pyren BAP, benzo(ghi)perylene BPE, fenantren PHE, fluoranten FLT, chrysen CHR, indeno(123-cd)pyren IPY, naftalen NAP, pyren PYR). Preventivní hodnotu překročilo v roce 2019 celkem devět vzorků, z toho byl jeden vzorek z TTP a jeden z CHÚ (KRNP, Studniční hora). Po přihlédnutí k nejistotám měření by tři vzorky požadavkům vyhlášky vyhověly. Šest nevyhovujících vzorků pochází z ploch, u nichž lze překročení limitu očekávat, neboť na nich dochází k překročení preventivní hodnoty prakticky každý rok. Mezi těmito plochami je i Studniční hora. Obsahy PAH na plochách, na kterých byla v průběhu celého monitoringu alespoň 1x překročena preventivní hodnota, jsou zobrazeny v příloze 10.

Tabulka 4 Počty vzorků překračujících stanovenou preventivní hodnotu pro obsah PAH v půdě – orná půda a chmelnice (ornice)

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Počet vzorků	6	12	9	8	11	7	8	8	9	4	4	7	8	6	7

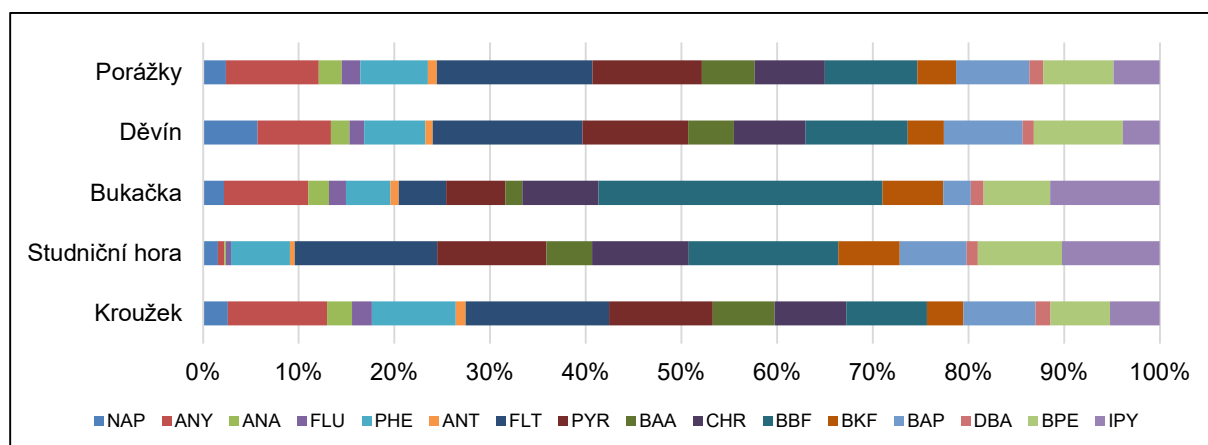
Polycyklické aromatické uhlovodíky se běžně hodnotí dohromady jako suma 12, nebo 16 individuálních uhlovodíků. Jednotlivé látky však mají rozdílnou chemickou strukturu, která je zodpovědná za rozdílné chemické vlastnosti, chování v životním prostředí a za rozdílnou zdravotní závadnost. K objektivnímu posouzení toxicity směsí PAH byl zaveden faktor

toxického ekvivalentu (Toxicity Equivalent Factor, TEF, příloha 11), pomocí kterého je vyjádřen toxicita jednotlivých uhlovodíků vzhledem k nejtoxičtějším z nich – benzo(a)pyrenu (BAP) a dibenzo(a,h)antracenu (DBA). Celková toxicita směsi je pak sumou součinů koncentrací jednotlivých látek a příslušného TEF, tzv. TTEC (Total Toxicity Equivalent Concentration).

TTEC ve vzorcích z monitoringu půd (2019) se pohybuje v rozsahu 10,6–343 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ (příloha 6) a představuje 10–14 % z celkové sumy PAH (střední hodnota 12 %). Na souboru sledovaných lokalit tedy nenastala situace, kdy by vzhledem k celkovému obsahu PAH byla zjištěna vyšší toxicita, než je běžné, respektive než je běžné v tomto souboru lokalit.

V rámci sumy 16 PAH jsou ve vzorcích z roku 2019 ve sledovaných zemědělských půdách (orná půda, chmelnice, TTP) nejvíce zastoupeny fluoranten (18,8 %) a pyren (14,9 %), podíl zbývajících jednotlivých uhlovodíků je pod 10 %. U půd chráněných území je zastoupení jednotlivých PAH více variabilní, více než deseti procenty se podílí stejně jako u zemědělských půd fluoranten (13,4 %) a pyren (10,2 %), ale nad 10 % má také benzo(b)fluoranten (14,8 %). Podíl ostatních jednotlivých uhlovodíků je pod 10 % (graf 2).

Graf 2 Poměrné zastoupení jednotlivých uhlovodíků na sumě 16 PAH v půdách chráněných územích (% , 2019)



Čím déle PAH setrvávají v půdě, tím se zvyšuje podíl vícejaderných (4–6) uhlovodíků. Je tomu tak proto, že 2–3 jaderné uhlovodíky nejsou v půdě tak pevně vázány jako 4–6 jaderné, mají vyšší volatilitu, vodorozpustnost i biodegradabilitu (což ale zároveň znamená, že jsou více biopřístupné a mohou tedy být pro půdní organismy rizikové z hlediska toxicity). Tomuto jevu se říká stárnutí (ageing) PAH. Zároveň v půdě dochází ke vzniku 4–6 jaderných PAH přirozenou cestou, a to rozkladem fytomasy (Thiele et Brummer, 2002). Maliszewska-Kordybach et al. (2009) uvádí na základě výsledků půdního průzkumu provedeného v Polsku v letech 2003–2004 příspěvek výšemolekulárních PAH do celkové sumy 16 PAH cca 72 %.

Ve vzorcích BMP se příspěvek 4–6 jaderných PAH do celkové sumy PAH pohybuje v rozsahu 72–92 % (2019). U orných půd a travních porostů průměrně kolem 86 %, v půdách CHÚ 75 % s výjimkou Studniční hory, kde příspěvek více jaderných PAH činí 90 %. Studniční hora je velmi specifická lokalita, na které dochází opakovaně k překračování preventivní hodnoty pro obsah PAH. Vysoké obsahy PAH na této lokalitě nejsou primárně zapříčiněny lokální průmyslovou činností, ale dálkovým transportem polutantů – atmosférickou depozicí.

Příspěvek vícejaderných PAH do celkové sumy PAH je od roku 2004 na monitorovaných plochách relativně stabilní, stagnuje nebo mírně roste a to i v případech, kdy celkový obsah PAH v půdě klesá.

Závěry

- V roce 2019 byly PAH stanoveny na 34 plochách s ornou půdou, 5 plochách s TTP, na 1 chmelnici a v 5 vzorcích nenarušených půd CHÚ.
- Rozsah mediánů sumy 12 PAH v orných půdách (ornice, 2005–2018) činí 473–710 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (medián 2019: 565 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Ve svrchním horizontu TTP kolísají hodnoty mediánů mezi 433 a 1174 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (medián 2019: 574 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) a na plochách CHÚ v rozsahu 98–238 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (medián 2019: 98 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.).
- Preventivní hodnotu stanovenou vyhláškou č. 153/2016 Sb. (1,0 mg.kg^{-1} suš.) pro polycyklické aromatické uhlovodíky celkem (suma 12 PAH), překročilo v roce 2019 sedm vzorků orné půdy, jeden vzorek TTP a vzorek ze Studniční hory. Po přihlédnutí k nejistotě stanovení by tři vzorky požadavkům vyhlášky vyhověly.
- Obsahy PAH na monitorovaných plochách byly vyjádřeny pomocí TEF. TTEC tvoří 10–14 % z celkové sumy PAH.
- Nejčastěji zastoupenými uhlovodíky jsou fluoranten a pyren, v půdách CHÚ navíc benzo(b)fluoranten. Uvedené uhlovodíky mají ve směsi PAH více než 10% podíl. Vícejaderné PAH tvoří u orných půd a TTP přibližně 86 % celkové sumy PAH, v půdách CHÚ 75 %, s výjimkou Studniční hory.

1.4.1.3 Persistentní chlorované pesticidy v půdě

Šárka Poláková

Do skupiny organochlorových pesticidů (OCP) patří HCH (hexachlorcyklohexan), HCB (hexachlorbenzen) a DDT (dichlor difenyl trichlorethan) a produkty jeho rozpadu – DDE a DDD. Masivní aplikace OCP v první polovině 20. století stála u úspěšného vymýcení chorob přenášených bodavým hmyzem (malárie, tyfus) v Evropě a Severní Americe. Jejich průkazná toxicita a vysoce pravděpodobná karcinogenita u člověka, jejich chemická odolnost a hromadění v tělech vyšších organismů stojících na vrcholu potravního řetězce vedly v druhé polovině 20. století k téměř celosvětovému zákazu jejich používání.

Po dobu čtyř let (1994–1997) byly obsahy organochlorových pesticidů na našem území sledovány na proměnlivém souboru pozorovacích ploch. V letech 1998 a 1999 nebyly tyto látky v půdě vůbec stanovovány. Od roku 2000 se provádí sledování na stálém souboru pozorovacích ploch (40 pozorovacích ploch na zemědělské půdě a 5 pozorovacích ploch v chráněných územích). Od roku 2012 jsou z úsporných důvodů odebrány pouze vzorky ornice.

Výsledky stanovení za rok 2019 jsou pro všechny pozorovací plochy uvedeny v příloze 12. Grafické znázornění obsahů jednotlivých pesticidů lze nalézt v přílohách 13–17, s výjimkou HCH, jehož hodnoty jsou pouze u sedmi pozorovacích ploch vyšší než mez stanovitelnosti ($0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Popisnou statistiku výsledků uvádí tabulky 5, 6 a 7 (u hodnot pod mezí stanovitelnosti je započítána polovina této hodnoty); souhrnná deskriptivní statistika (2005–2019) je uvedena v příloze 21. Průběh mediánů v jednotlivých kulturách zobrazuje příloha 18.

Tabulka 5 Základní statistické charakteristiky jednotlivých OCP v ornici orných půd za období 2005–2019 ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HCB	prům	4,20	5,94	4,52	4,38	4,20	3,90	4,31	4,42	3,63	3,36	2,16	5,29	2,88	2,41	2,84
	med	3,35	3,53	3,26	3,16	2,91	3,15	3,21	3,03	2,89	2,56	1,74	3,93	2,05	1,88	2,05
	min	< 0,50	< 0,50	0,65	0,89	0,60	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,55	< 0,50	< 0,50	1,08	< 0,50	0,25	< 0,50
	max	14,0	52,1	18,3	19,7	19,7	13,8	20,1	21,3	12,5	16,6	10,6	17,2	8,90	6,82	13,9
DDE	prům	30,5	28,0	23,4	25,3	25,3	26,5	32,2	23,6	26,9	19,0	21,8	14,1	20,0	21,6	18,0
	med	8,60	9,51	8,54	7,65	11,3	10,3	5,80	6,57	13,3	5,88	6,96	6,49	7,47	8,52	7,03
	min	2,35	1,56	1,42	1,92	1,07	1,28	0,50	1,45	1,77	1,10	0,50	0,91	1,08	1,00	1,40
	max	267	280	194	229	240	295	296	285	278	296	339	134	222	234	214
DDD	prům	3,66	3,57	3,22	2,38	2,38	2,08	2,31	3,16	1,79	1,96	1,46	2,15	1,79	2,56	3,71
	med	1,30	0,89	1,11	0,50	0,50	0,50	0,50	1,01	0,50	0,50	0,50	0,50	0,65	0,92	1,57
	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	max	30,0	64,1	54,1	44,4	41,4	24,7	28,6	21,1	18,0	30,0	13,7	20,2	12,5	14,4	25
DDT	prům	34,3	34,7	27,8	67,7	27,2	33,4	28,2	23,3	28,6	19,5	24,9	20,5	18,9	18,4	17,7
	med	12,9	12,8	13,6	9,90	12,4	12,2	9,83	7,61	16,5	9,37	11,5	9,72	6,27	8,56	10,0
	min	1,25	0,97	0,88	1,39	1,06	1,22	0,50	1,36	0,88	0,50	0,50	0,92	0,87	0,5	0,94
	max	326	367	255	230	287	413	243	193	265	195	285	167	192	176	193

Tabulka 6 Základní statistické charakteristiky jednotlivých OCP ve svrchním horizontu trvalých travních porostů za období 2005–2019 ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HCB	prům	4,95	4,50	6,02	7,48	5,44	5,73	6,63	6,41	6,34	5,12	3,64	9,59	5,45	4,41	6,18
	med	2,30	2,50	2,70	2,48	2,52	2,72	3,60	3,24	2,60	2,43	1,48	5,28	2,52	2,12	1,93
	min	< 0,50	< 0,50	0,56	0,56	0,53	< 0,50	1,14	0,54	0,57	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,58	< 0,50
	max	15,0	13,7	20,0	27,3	18,5	21,8	22,1	24,3	23,3	18,9	12,7	31,2	20,5	13,8	24,3
DDE	prům	34,6	30,5	29,4	40,1	6,66	5,30	12,0	11,7	15,2	11,0	9,85	9,32	10,8	12,0	9,41
	med	5,85	7,24	5,72	6,31	4,09	4,87	8,17	6,41	15,2	4,75	5,03	3,46	4,60	4,89	4,19
	min	1,75	2,32	2,79	2,46	2,13	0,88	2,32	1,04	1,03	0,93	2,23	3,14	0,50	0,50	0,89
	max	151	128	124	180	16,3	11,4	35,6	41,8	32,2	34,7	29,0	29,4	33,8	38,9	27,8
DDD	prům	6,28	2,82	3,20	5,52	0,58	0,79	1,07	2,85	0,59	0,74	0,92	0,77	1,14	1,04	2,34
	med	0,85	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,71	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,79
	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	max	28,5	12,1	13,2	25,6	0,93	1,99	2,61	11,7	0,94	1,23	1,96	1,38	2,64	2,17	6,06
DDT	prům	46,0	50,4	47,8	55,3	12,2	7,61	18,6	22,8	15,5	17,1	14,2	14,4	16,0	14,9	12,1
	med	7,90	8,31	6,04	6,46	4,76	5,20	13,9	7,32	13,0	4,23	7,70	4,36	4,71	3,74	3,33
	min	2,45	3,86	4,52	3,44	3,32	1,56	3,56	1,38	1,07	1,32	1,93	2,15	1,12	0,82	1,36
	max	202	222	213	256	39,4	22,6	53,5	95,9	33,3	56,0	44,9	44,2	51,9	51,6	36,4

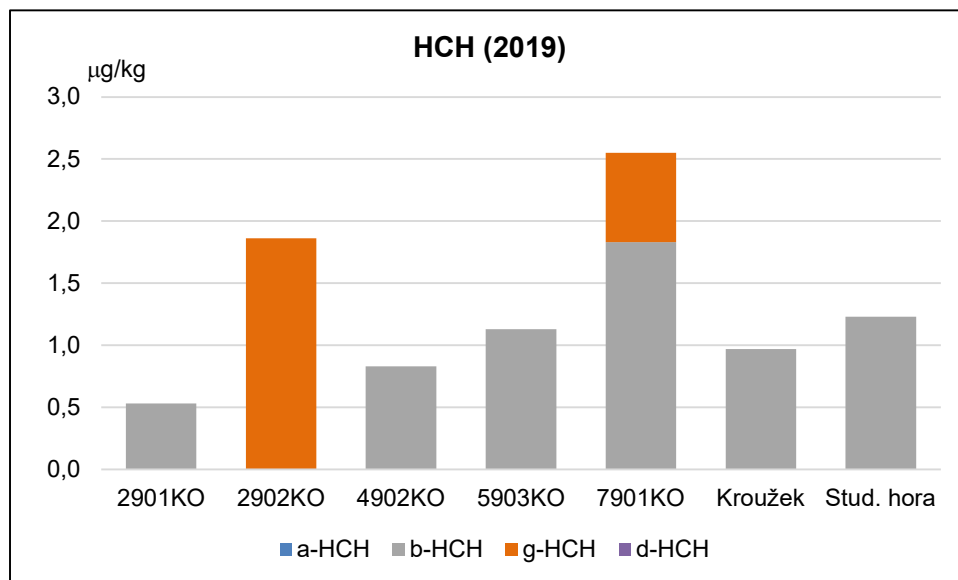
Tabulka 7 Základní statistické charakteristiky jednotlivých OCP ve svrchním horizontu půd v chráněných územích za období 2005–2019 ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HCB	prům	0,66	1,02	1,54	1,07	0,94	1,35	1,73	1,31	1,80	1,04	1,59	1,74	1,67	0,85	1,38
	med	0,60	0,87	< 0,50	< 0,50	0,74	< 0,50	< 0,50	0,91	1,11	< 0,50	0,84	1,46	0,77	1,10	0,65
	min	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
	max	1,30	2,54	5,33	2,60	2,01	4,07	4,70	3,99	4,47	3,52	5,04	4,24	4,58	1,52	3,84
DDE	prům	6,52	7,09	5,65	6,14	4,12	4,98	1,87	5,16	6,88	3,32	5,83	5,68	5,82	6,01	3,87
	med	1,45	5,60	1,90	1,49	1,98	2,55	1,34	3,53	1,93	1,36	3,68	2,80	2,95	4,00	1,66
	min	0,50	1,62	0,50	0,50	0,86	0,79	1,10	0,86	0,50	1,24	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	max	21,0	18,0	22,9	25,35	12,4	16,9	3,16	10,5	23,2	9,36	17,05	19,9	21,4	15,0	13,4
DDD	prům	1,80	0,81	0,85	0,95	0,50	0,61	0,50	0,84	0,67	0,56	0,78	0,86	1,00	1,15	1,59
	med	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,83	0,50
	min	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	max	7,00	2,05	2,27	2,74	0,50	1,03	0,50	1,79	1,17	0,78	1,89	2,31	3,02	2,30	4,74
DDT	prům	17,7	10,2	10,1	13,9	14,0	11,8	3,24	9,27	15,1	5,05	11,3	8,33	8,88	7,68	5,71
	med	1,75	2,96	1,13	1,37	1,22	1,55	1,51	6,67	9,29	1,01	5,72	4,84	1,55	9,09	1,12
	min	0,50	1,46	0,50	0,77	0,97	0,87	0,88	1,38	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	max	82,5	41,5	47,0	64,9	64,3	48,3	7,32	28,0	41,1	17,7	42,5	29,6	37,7	17,1	21,5

Obsahy **HCH** na plochách Bazálního monitoringu půd jsou dlouhodobě zanedbatelné. Mez stanovitelnosti ($\text{LOQ} = 0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) byla v roce 2019 překročena ve čtyřech vzorcích orné půdy, na chmelnici a ve dvou vzorcích z chráněných území. V šesti případech byl detekován β -

izomer, ve dvou γ -izomer (graf 3). Medián sumy všech čtyř izomerů HCH v orných půdách i TTP je $1,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (orniční/svrchní horizont).

Graf 3 *Obsahy HCH detekované ve vzorcích z roku 2019; jsou zobrazeny pouze obsahy vyšší než LOQ*



Od roku 2005 kolísají mediány obsahů **HCB** v ornici orných půd v rozmezí $1,74\text{--}3,93 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (nejvyšší hodnota je z roku 2016, nejnižší z roku 2015; medián pro 2019 je $2,05 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Rozsah mediánů obsahů HCB ve vzorcích trvalých travních porostů činí $1,48\text{--}5,28 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. ve svrchním horizontu (nejvyšší hodnota z roku 2016, nejnižší z roku 2015; medián 2019 činí $1,93 \mu\text{g.kg}^{-1}$). Průběh i rozsah hodnot mediánů HCB na orné půdě a TTP je srovnatelný. Obsahy HCB v půdách chráněných území jsou nižší. Nejvyšší obsahy HCB jsou zjišťovány na lokalitě Kroužek (9001), nikoli na Studniční hoře (9002) jako je tomu u ostatních parametrů.

Mediány **sumy DDT** v orné půdě (suma o,p'- a p,p'- izomerů DDT) kolísají od roku 2005 v rozmezí $6,27\text{--}16,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (nejvyšší hodnota z roku 2013, nejnižší z roku 2017; medián pro rok 2019 činí $10,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Mediány obsahů sumy DDT ve vzorcích půd z trvalých travních porostů kolísají ve svrchním horizontu v rozmezí $3,74$ až $13,9 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (nejvyšší hodnota z roku 2011, nejnižší 2018; medián pro 2019 činí $3,33 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Mediány DDT z chráněných území mají podobný průběh jako je tomu u TTP a orných půd.

Mediány **sumy DDE** v orných půdách kolísají v letech 2005–2019 mezi $5,80$ a $13,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (medián 2018: $8,52 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) a v půdách s TTP v rozmezí $3,46\text{--}15,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (2019: $7,03 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Průběh mediánů na orné půdě a TTP je, stejně jako v předchozích případech, velmi podobný, přičemž mediány TTP jsou nižší než u orné půdy. Půdy chráněných území vykazují nejnižší mediány DDE.

Obsahy **sumy DDD** na monitorovaných plochách (orná půda, TTP i chráněné území) jsou velmi nízké. V roce 2019 byly obsahy DDT nižší než LOQ nalezeny přibližně na třetině monitorovacích ploch.

Průběh obsahů jednotlivých organochlorových pesticidů na plochách, na kterých došlo ve sledovaném období (2000–2019) k překročení preventivní hodnoty, je graficky znázorněn v přílohách 19 a 20.

Počty vzorků, u nichž došlo k překročení preventivní hodnoty podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. jsou uvedeny v tabulce 8. V roce 2019 došlo k překročení preventivní hodnoty pro sumu látek DDT na třech plochách s ornou půdou a na chmelnici. Po přihlédnutí k nejistotě měření by požadavkům vyhlášky vyhověl vzorek z pozorovací plochy 3901KO. Dále byla překročena preventivní hodnota pro HCB, a to na ploše 4904KO. Preventivní hodnoty pro HCH překročeny nebyly. K překročení indikačních hodnot nedošlo.

Tabulka 8 *Počty vzorků překračujících preventivní hodnotu (prev.h., $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) pro obsah organochlorových pesticidů v půdě podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. – orná půda + chmelnice a TTP (ornice, svrchní horizont)*

Orná půda																
	prev.h.	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HCB	20	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
S DDT	75	7	7	8	6	6	8	7	5	8	4	3	5	5	5	4
HCH	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
z celkového počtu		35	35	35	35	35	34	34	34	35	35	35	35	35	35	35

Trvalé travní porosty																
	prev.h.	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HCB	20	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1
S DDT	75	1	0	2	1	3	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
HCH	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
z celkového počtu		5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5

Závěry

- V roce 2019 bylo sledování persistentních organochlorových pesticidů provedeno pouze v ornici (svrchní vrstvě) na stálém souboru 40 pozorovacích ploch na zemědělské půdě a 5 pozorovacích plochách v chráněných územích.
- Obsahy jednotlivých izomerů HCH se ve většině případů nachází pod limitem stanovitelnosti ($0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Medián (pro všechny kultury) je $1,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.
- Medián obsahu HCB v ornici orných půd činil v roce 2019 $2,05 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Medián obsahu HCB ve vzorcích z trvalých travních porostů dosáhl $1,93 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Průběh i rozsah hodnot mediánů HCB na orné půdě a TTP je srovnatelný. Obsahy HCB v půdách CHÚ jsou nižší.
- Látky skupiny DDT: mediány obsahů DDT a DDE vypočtené pro orniční (a svrchní) horizonty kolísají. Obsahy DDD jsou z dlouhodobého hlediska vyrovnané. Nejnížší obsahy těchto látek se nacházejí v půdách chráněných území, následují travní porosty a nejvyšší obsahy nacházíme v orných půdách.

- K překročení preventivních hodnot podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. došlo v roce 2019 u parametru DDT ve třech vzorcích orných půd a na chmelnici. Po přihlédnutí k nejistotě měření by požadavkům vyhlášky vyhověl vzorek z pozorovací plochy 3901KO. Dále byla překročena preventivní hodnota HCB. Indikační hodnoty překročeny nebyly.

1.4.1.4 Účinné látky používané v přípravcích na ochranu rostlin v půdě

Šárka Poláková

Obsoletní pesticidy jsou v rámci monitoringu půd sledovány od 90. let minulého století. V roce 2014 byl zahájen monitoring moderních přípravků na ochranu rostlin, resp. v současnosti používaných účinných látek. Tyto látky musí vykazovat vysoký rozdíl mezi toxicitou pro cílové a necílové organismy, dobrou biodegradabilitu a neovlivňovat endokrinní systém savců. Jsou dlouhodobě sledovány v povrchových i podzemních vodách, ale pro jejich obsahy v půdách nejsou stanoveny žádné limitní hodnoty. Monitoring účinných látek POR probíhá na 40 pozorovacích plochách BMP a na 5 plochách v chráněných územích a jeho prostřednictvím získáváme informace o reálných obsazích těchto sloučenin v půdě, které můžeme porovnat s informacemi o aplikaci POR na monitorovacích plochách BMP získávaných přímo od zemědělců dotazníkovým způsobem.

V roce 2014 byly půdní vzorky odebrány při sklizni nebo těsně po ní (květen–říjen), v roce 2015 došlo k úpravě metodiky, a to především u termínu vzorkování. Půdní vzorky jsou nyní odbírány v průběhu února a března proto, aby se maximálně omezila pravděpodobnost aplikace POR před odběrem vzorku a vzorek reprezentoval zbytkové obsahy látek v půdě.

Ke stanovení byly vybrány látky nejčastěji aplikované na tyto plochy v období pěti let před začátkem samotného monitoringu (1998–2012), a látky nejčastěji aplikované v zemědělské praxi obecně. V roce 2014 bylo v každém vzorku stanoveno celkem 52 účinných látek. V následujících letech byl seznam stanovovaných látek upravován (některé látky byly opuštěny, jiné přidány), v zásadě došlo k rozšíření o další herbicidy a vybrané metabolity (v roce 2015 přibýly metabolity atrazinu, v roce 2017 metabolit terbuthylazinu). V roce 2019 byl rozsah sledovaných látek v BMP rozšířen o účinné látky, které se ve vzorcích nacházely v obsazích nad LOQ a o látky, u kterých po převedení analýz na nově pořízený systém UPLC-MS/MS TQ-XS Xevo Waters, došlo ke zlepšení pracovních charakteristik. Největší část účinných látek z hlediska určení cílových organismů tedy tvoří herbicidy, následují fungicidy, dále bylo sledováno 2–6 insekticidů a 2–4 metabolity (tabulka 9).

Tabulka 9 Počet sledovaných účinných látek (rozdělení podle účinku)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Celkem	52	68	71	70	70	90
Herbicidy	30	38	41	42	42	61
Fungicidy	20	22	22	22	22	21
Insekticidy	2	5	4	4	4	6
Metabolity	-	3	4	2	2	2

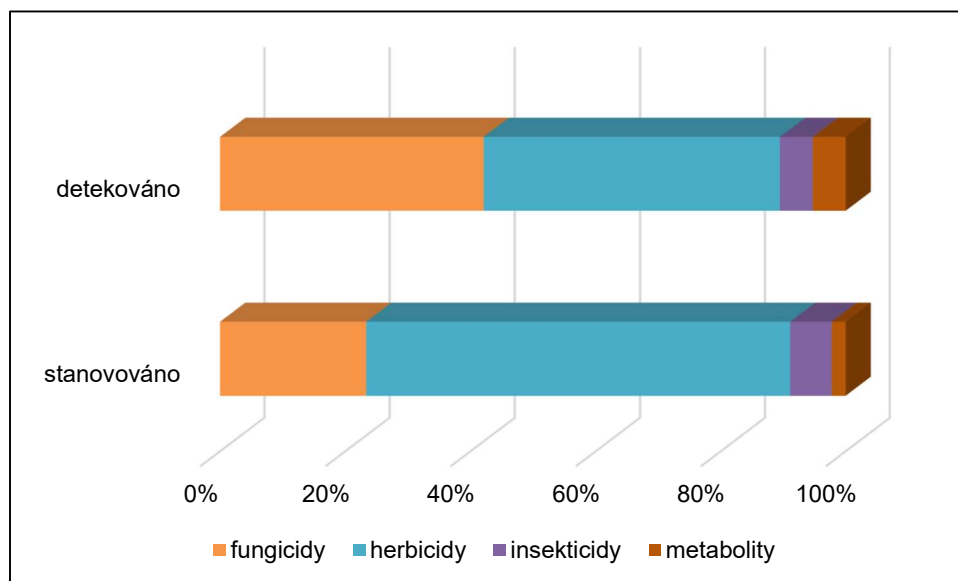
Kromě dat o obsahu reziduí účinných látek v půdě, ústav sbírá také informace o aplikovaných přípravcích. Informace o aplikacích účinných látek jsou zpracovávány se zpožděním, neboť jsou vloženy do databáze až během prvního pololetí následujícího roku.

V dosavadním průběhu monitoringu, v letech 2014–2018 (informace o aplikacích POR v roce 2019 nejsou dosud k dispozici), nedošlo k žádné aplikaci přípravku na ochranu rostlin na plochách s trvalými travními porosty (pět monitorovacích ploch) a samozřejmě na plochách v CHÚ. V roce 2018 nebyl žádný přípravek na ochranu rostlin aplikován ani na sedmi plochách s ornou půdou.

V půdních vzorcích BMP bylo v roce 2019 nalezeno celkem 39 účinných látek, z toho 18 herbicidů, 16 fungicidů, 2 insekticidy a 2 metabolity. Jejich přehled a základní statistické parametry jsou uvedeny v příloze 22, počty vzorků, ve kterých byly látky detekovány jsou graficky zobrazeny v přílohách 23 a 24.

Z hlediska nálezů převažují látky fungicidní povahy (graf 4). Z 21 stanovovaných fungicidních látek bylo ve vzorcích detekováno 16, tedy více než 75 %, zatímco v případě herbicidů bylo detekováno pouze 30 % z 61 hledaných látek.

Graf 4 Podíl stanovovaných a skutečně detekovaných účinných látek POR v roce 2019



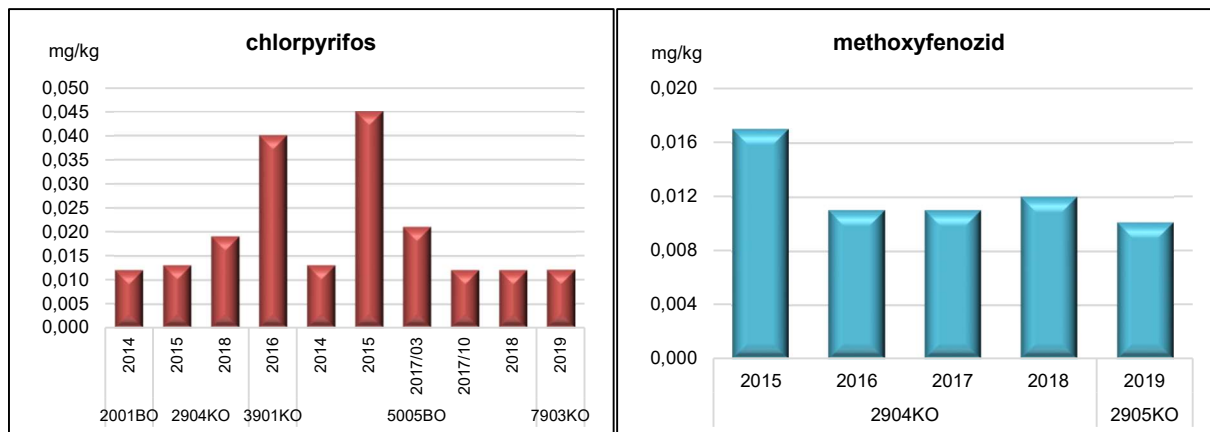
Nejčastěji byly detekovány právě metabolity 2-hydroxyatrazin a 2-hydroxyterbuthylazin a dále látky ze skupiny azolů – epoxykonazol a tebukonazol (fungicidy). Více než 20 nálezů bylo také v případě diflufenikanu (herbicid). Epoxykonazol, společně s dalšími látkami ze skupiny triazolových fungicidů (tebukonazol, propikonazol, flusilazol, difenokonazol, propikonazol, cyprokonazol) patří k nejčastěji detekovaným účinným látkám. Látky azolového typu se používají proti houbovým chorobám v obilninách a řepce olejce. Přípravky na bázi těchto účinných látek se aplikují jako postřik na jaře nebo se používají jako mořidlo.

Zajímavé jsou nálezy insekticidních látek v jarních půdních vzorcích, neboť insekticidy jsou obecně látky neperzistentní a také způsob jejich aplikace „na list“ nepřispívá k jejich akumulaci v půdě.

Z insekticidů byly ve vzorcích BMP detekovány chlorpyrifos (skupina organofosfátových sloučenin) a methoxyfenozid (skupina diacylhydrazinu). *Chlorpyrifos* je s poločasem rozpadu v polních podmínkách 2–65 dní řazen k neperzistentním až mírně perzistentním látkám, je označován za mořský polutant, tj. může představovat riziko pro mořské organismy. Na sledované plochy byl v letech 2014–2018 aplikován téměř výhradně prostřednictvím přípravku Nurelle D (ojediněle Nurelle, Pyrifos 480 EC) celkem 28x na 14 monitorovaných ploch. Pouze na čtyřech z nich byl v následném roce detekován (graf 5). V roce 2019 byl detekován pouze ve vzorku z plochy 7903KO, zde však dle dostupných informací nebyl aplikován. Chlorpyrifos byl zařazen k nepovoleným látkám, do konce dubna 2020 je možné spotřebovat jeho zásoby.

Methoxyfenozid byl na lokalitách BMP v průběhu monitoringu (2014–2019) detekován celkem 5x (graf 5), o jeho aplikaci však nemáme žádné informace. Jedná se o látku nevolatilní až mírně volatilní, s poločasem rozpadu v půdě (DT_{50}) 87,2–1000 dní.

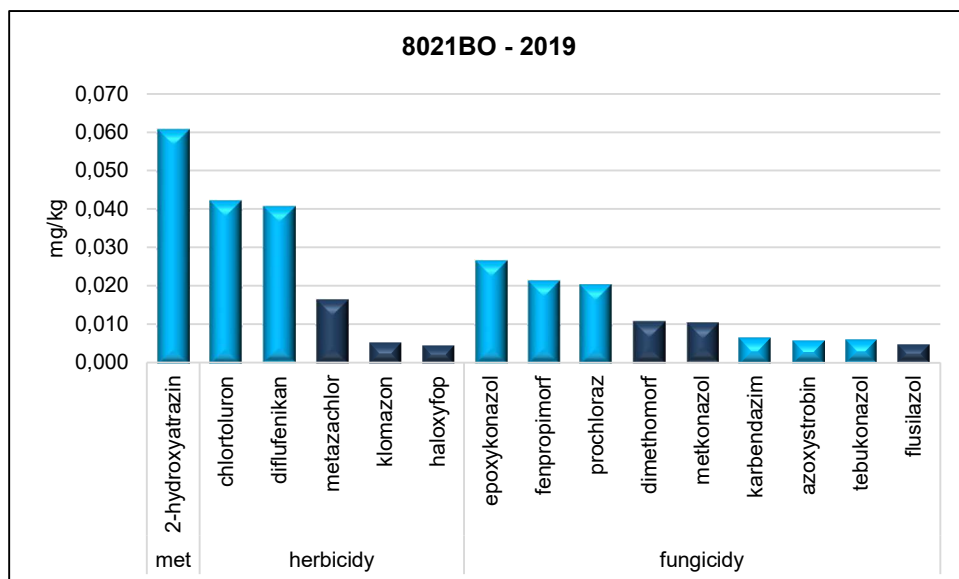
Graf 5 **Obsahy chlorpyrifosu a methoxyfenozidu v půdních vzorcích za celé období sledování (2014–2019)**



Žádná účinná látka nebyla detekována pouze na pěti monitorovacích plochách. Jedná o čtyři plochy v chráněných územích (ve vzorku ze Studniční hory byl v roce 2019 nalezen 2-hydroxyatrazin) a jednu plochu TTP (5017BO). Jinými slovy, na 40 monitorovacích plochách, včetně chráněných území a travních porostů, byla alespoň jednou v období 2014–2019 detekována minimálně jedna účinná látka. Na každé ploše s ornou půdou (35 ploch) se našla minimálně 1 a maximálně 15 účinných látek.

Uvedených 15 účinných látek se našlo na monitorovací ploše 8021BO v roce 2019, z toho je 9 fungicidů, 5 herbicidů a 1 metabolit. Pravidelně detekováno (téměř každý rok) je 9 účinných látek (graf 6). Pro osm účinných látek (*chlortoluron*, *metazachlor*, *klomazon*, *haloxyfop*, *epoxykonazol*, *fenpropimorf*, *prochloraz* a *metkonazol*) máme potvrzenou informaci o aplikaci v předchozím roce, tj. v roce 2018. Jedna z nalezených látek – *dimethomorf* byla prokazatelně použita na moření osiva řepky vyseté na podzim 2018.

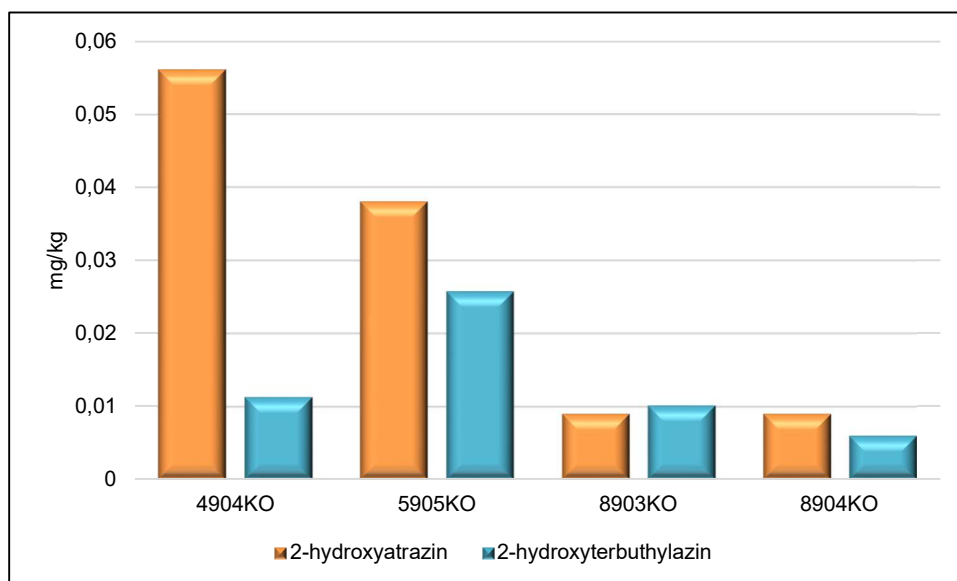
Graf 6 **Obsahy účinných látek detekovaných na ploše 8021BO v roce 2019, bledě modře jsou odlišeny účinné látky s pravidelnými nálezy (mg.kg⁻¹ suš.)**



K účinným látkám, které na plochu nebyly aplikovány patří *2-hydroxyatrazin*, jehož obsah byl v roce 2019 nejvyšší ze všech, a to $0,061 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ suš.}$ O historických aplikacích atrazinu, nebo současných aplikacích terbuthylazinu nejsou informace. Dále nemáme informace o aplikaci *diflufenikanu*, jehož obsah byl třetí nejvyšší. Jedná se o látku lipofilní a velmi perzistentní, jejíž poločas rozpadu v polních podmínkách se udává až 621 dní. Tím by mohly být vysvětleny vysoké obsahy diflufenikanu ve vzorcích. Tato látka byla na plochu aplikována v roce 2012 a 2014 a těmito termíny odpovídají i zvýšené nálezy v odebraných vzorcích. Dále byl ve vzorku detekován *karbendazim* a *flusilazol*, látky v současné době zakázané. Na lokalitu byly aplikovány v jednom přípravku v roce 2011 a od té doby v půdě přetrvávají. Nicméně vstup karbendazimu je možný i nadále a to prostřednictvím mořeného osiva, či jiných účinných látek, jejichž je metabolitem. K moření osiva se používá také *tebukonazol*, který je na ploše pravidelně detekován. *Azoxystrobin* nebyl (podle dostupných informací) v loňském roce na plochu aplikován, ale jedná se o látku s dlouhým poločasem rozpadu ($DT_{50} = 262$ dní) a nalezené obsahy korespondují s poslední aplikací této látky v roce 2016.

Jak již bylo zmíněno, některé účinné látky byly detekovány také na plochách s travními porosty. Na čtyřech plochách TTP byly nalezeny celkem tři účinné látky. Na ploše 5905KO byl v roce 2014 stanoven chlortoluron v množství těsně nad limitem stanovitelnosti. Od roku 2015 je ve všech půdních vzorcích detekován metabolit atrazinu, 2-hydroxyatrazin. Tato látka byla na uvedených plochách nalezena každý rok. Výše nálezů je různorodá (graf 7). V roce 2017 byl na seznam stanovovaných látek připsán metabolit terbuthylazinu, 2-hydroxyterbuthylazin, který byl také na plochách TTP nalezen. Podle dostupných informací nebyly mateřské sloučeniny na tyto plochy aplikovány. V případě atrazinu se jedná o zakázanou účinnou látku (v ČR povolen od 1. 1. 1972 do 17. 8. 2004, poslední použití přípravku k 31. 7. 2005), která byla nahrazena další látkou ze skupiny triazinů – terbuthylazinem. Významnou příměsí terbuthylazinu je kromě propazinu a simazinu také atrazin. Degradace hydroxy-metabolitů v půdě je několikanásobně pomalejší, než je tomu u mateřských sloučenin.

Graf 7 Průměrné obsahy 2-hydroxyatrazinu (2015–2019) a 2-hydroxyterbuthylazinu (2017–2019) v půdách travních porostů



Bohužel ve vzorcích ze sedmi lokalit, na něž dle našich informací nebyla aplikována žádná látka, bylo detekováno 1–13 účinných látek! Dle očekávání byly nalezeny 2-hydroxyatrazin a 2-hydroxyterbutylazin, metabolity, a vždy ve čtyřech vzorcích diflufenikan a epoxykonazol. Přítomnost všech účinných látek, které byly na těchto plochách detekovány, lze vysvětlit jejich aplikací v předchozích letech a jejich perzistencí v půdě. Výjimkou je plocha ze Středočeského kraje s 13 nálezy – zde patrně došlo k přestřiku ze sousedního pozemku.

Závěry

- V roce 2019 byly účinné látky POR stanovovány v půdních vzorcích ze 40 monitorovacích ploch (34 ploch s ornou půdou, 5 ploch s TTP, 1 chmelnice) a také z 5 ploch v chráněných územích.
- Bylo stanovováno celkem 90 účinných látek POR, přičemž podíl herbicidů a fungicidů je přibližně 3:1. Z hlediska nálezů látek je podíl herbicidů a fungicidů vyrovnaný.
- Celkem bylo v roce 2019 detekováno 37 účinných látek a 2 metabolity. Nejčastěji byl ve vzorcích detekován metabolit atrazinu, 2-hydroxyatrazin, následovaný metabolitem terbutylazinu 2-hydroxyterbutylazinem, dále epoxykonazol a tebukonazol společně s diflufenikanem.
- V průběhu dosavadního monitoringu (2014–2019) bylo ve vzorcích nalezeno 48 různých účinných látek. Nejčastěji detekované látky byly 2-hydroxyterbutylazin, 2-hydroxyatrazin, následoval epoxykonazol a tebukonazol.
- V průběhu dosavadního monitoringu (2014–2019) byla na 40 pozorovacích plochách detekována minimálně jedna účinná látka. Mezi plochy s nulovým nálezem patří pouze čtyři plochy z chráněných území a jedna plocha TTP.

1.4.1.5 Uhlovodíky C10-C40 v půdě

Šárka Poláková

Pro obsahy uhlovodíků C10-C40 je od roku 2016 vyhláškou č. 153/2016 Sb. stanovena preventivní hodnota 100 mg.kg^{-1} . O reálných obsazích v půdě je však pouze omezené množství informací. Proto se přistoupilo k postupnému screeningu tohoto parametru na 40 plochách BMP v rámci sledování organických polutantů. Uhlovodíky C10-C40 jsou látky omezeně rozpustné ve vodě, jedná se především o tuky, oleje a ropné produkty. Za znečištěním půdy těmito látkami stojí úniky benzínu, nafty nebo maziv.

Od roku 2016 probíhá sledování obsahu uhlovodíků C10-C40 na deseti každoročně nově vybraných plochách Bazálního monitoringu. V roce 2019 byl parametr C10-C40 stanoven v posledních 10 vzorcích z ploch se sledováním organickým polutantů. Hodnota nad mezí stanovitelnosti (20 mg.kg^{-1}) byla zjištěna u tří monitorovacích ploch – 4904KO, 5903KO a 7902KO. Jistou zajímavostí je, že plocha 4904KO je travní porost. K překročení preventivní hodnoty nedošlo.

Plochy s obsahy C10-C40 překračujícími mez stanovitelnosti jsou uvedeny v příloze 25.

Závěry

- V roce 2019 byl parametr C10-C40 stanoven v 10 půdních vzorcích.
- Pouze ve třech vzorcích byl zjištěn obsah vyšší než mez stanovitelnosti.
- K překročení preventivní hodnoty nedošlo.

1.4.1.6 Minerální dusík v půdě

Ladislav Kubík

Anorganický dusík představuje podle RICHTERA *et* HLUŠKA (1994) 1–2 % celkového obsahu a je reprezentován hlavně nitrátovými a amonnými ionty. Přechodně se v půdě vyskytují také oxidy dusíku (N_2O , NO , NO_2) a meziprodukty mikrobiálních procesů např. hydroxylamin (NH_2OH), nitramid ($\text{N}_2\text{H}_2\text{O}_2$), které jsou však nestabilní a podléhají oxidačním a redukčním procesům. V konečném důsledku z nich vznikají NH_4^+ resp. NO_3^- ionty. Sorpce aniontu NO_3^- v půdě je velmi nízká z důvodu převládající sorpce kationtů a proto se nalézá převážně v půdním roztoku. Jeho obsah v půdním roztoku ovlivňuje resorpce rostlinami a mikroorganismy a vodní srážky. Na zvýšení obsahu se podílí biologická aktivita a intenzita hnojení (FECENKO *et* LOŽEK, 2000). Amonný iont je převážně výměně sorbován na půdní koloidní komplex, v půdním roztoku jsou jeho koncentrace velmi malé a rostliny jej přijímají převážně při kontaktu kořenů s pevnou půdní fází a při nižší teplotě (BALÍK *et al.*, 2001).

V průběhu roku dochází ke značným změnám anorganického dusíku v půdě. Sezónně může být v půdě od několika miligramů minerálního dusíku v kilogramu půdy až po více než 100 mg.kg^{-1} . V jarním období se zintenzivňuje činnost nitrifikačních bakterií, minerální dusík dosahuje svého jarního maxima a NH_4^+ se mění na pohyblivou formu NO_3^- (BIELEK, 1998). Odběr dusíku rostlinami a sezónní pokles nitrifikace se stabilizuje na letní minimum. Příznivé vlhkostní a teplotní podmínky v závěru léta a na podzim zvyšují obsah minerálního dusíku na podzimní maximum. Tuto sezónní variabilitu minerálního dusíku je třeba respektovat a využívat při stanovování dávek dusíku jak k základnímu hnojení, tak i pro přihnojování během vegetace. Aplikace organické hmoty s širokým poměrem C:N může dusík dočasně imobilizovat (FECENKO *et* LOŽEK, 2000).

V půdách BMP jsou pravidelně od roku 1993 v podzimním období odebrány vzorky ornice (O) a podorníčí (P). V letech 1993–1996 a v roce 2000 byly vzorky odebrány ze všech pozorovacích ploch BMP, přičemž u ploch TTP byly odebrány 3 vrstvy (O, P, R). Od roku 2004 jsou vzorky odebrány každoročně a pouze z 23 vybraných pozorovacích ploch (15 orných, 3 TTP, 1 sad, 4 plochy, kde se v průběhu let střídala orná půda a TTP) a odebrány jsou vrstvy O, P (včetně TTP).

Vzorky jsou odebrány po ukončení všech agrotechnických operací k předešlé i následné plodině a zároveň před zamrznutím půdního profilu. Podmínkou zahájení vzorkování je uplynutí alespoň 14 dní po poslední operaci s půdou a 3–4 týdny po hnojení statkovými hnojivy nebo opožděné zaorávce jetelovin. Ve vyšších polohách s časným zámrzem lze s odběry vzorků začít po 15. říjnu, v nižších polohách s pozdějším nástupem zimy je možné odběry ukončit do 15. prosince. Hloubka odběrů se řídí kulturou.

Ve vzorcích byl stanoven nitrátový (N-NO_3) a amonný (N-NH_4) dusík. Minerální dusík (Nmin) je vypočítán ze součtu obsahů $\text{N-NO}_3 + \text{N-NH}_4$. Výsledky obou forem dusíku jsou vyjádřeny v mg.kg^{-1} sušiny; v odběrových letech do roku 2000 byl nitrátový dusík stanoven v původním vzorku půdy, poté se již vyjadřoval v mg.kg^{-1} sušiny. Nitrátový dusík se stanovoval dusičnanovou iontově selektivní elektrodou a nově spektrofotometricky v ultrafialové oblasti při 210 nm. Amoniakální dusík se stanovoval fotometricky indofenolovou metodou nebo na amoniakální iontově selektivní elektrodě a nově spektrofotometricky s použitím činidla salicylanu sodného.

Tabulka 10 Statistické vyjádření obsahů minerálního dusíku ve vzorcích z odběrů v letech 1993–2019, ($N-NO_3$ v $mg.kg^{-1}$ původního vzorku, $N-NH_4$ v $mg.kg^{-1}$ sušiny, N_{min} v $mg.kg^{-1}$ sušiny)

	Horizont	Počet vzorků	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	10% percent.	90% percent.
N-NO₃	O	1155	8,29	6,26	< 0,20	78,8	2,00	16,4
	P	1149	7,60	5,29	< 0,20	227	1,31	16,0
	R	93	2,41	1,80	< 0,20	17,7	0,44	4,46
N-NH₄	O	1182	5,02	2,90	< 0,20	381	0,50	11,1
	P	1149	3,19	2,00	< 0,20	149	0,28	7,38
	R	93	4,17	3,80	0,25	12,2	1,39	7,24
Nmin	O	1152	13,8	11,0	< 0,20	435	5,30	24,1
	P	1148	11,0	8,56	< 0,20	185	3,55	20,3
	R	88	6,48	5,79	0,80	18,0	3,33	10,6

Tabulka 11 Statistické vyjádření obsahů minerálního dusíku ve vzorcích z odběrů v roce 2019 ($N-NO_3$ v $mg.kg^{-1}$ pův. vzorku, $N-NH_4$ v $mg.kg^{-1}$ sušiny, N_{min} v $mg.kg^{-1}$ sušiny)

	Horizont	Počet vzorků	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	10% percent.	90% percent.
N-NO₃	O	23	9,44	8,56	1,74	32,7	1,83	19,2
	P	23	7,76	6,34	0,71	26,5	1,23	17,6
N-NH₄	O	23	2,92	1,47	< 0,20	15,5	0,10	6,34
	P	23	1,24	0,82	< 0,20	4,74	0,10	3,20
Nmin	O	23	14,4	12,1	4,14	39,3	5,80	24,1
	P	23	10,5	8,41	0,85	32,2	2,56	24,1

Statistické hodnocení obsahů $N-NO_3$, $N-NH_4$ a N_{min} v půdách BMP v letech 1993–2019 a v roce 2019 je uveden v tabulkách 10 a 11. Medián pro nitrátový dusík z celé periody let má hodnotu $6,26 mg.kg^{-1}$ původního vzorku, přičemž minimální a maximální naměřená hodnota byla $< 0,20 mg.kg^{-1}$ resp. $78,8 mg.kg^{-1}$ pro orníční horizont. Podorníčí vykazuje nižší obsahy, ale maximální hodnota byla dosažena vyšší než v případě ornice, a to $227 mg.kg^{-1}$. Horizont R, který byl odebíráán u TTP v letech 1993–2003 se vyznačuje nejnižšími hodnotami. Mediány amonného dusíku jsou v porovnání s nitrátovým dusíkem nižší v horizontech O i P, naopak v horizontu R u TTP jsou vyšší. V případě hodnot mediánů nitrátového a amonného dusíku v roce 2019 jsou výrazné rozdíly oproti celé sledované periodě let 1993–2019, obsahy nitrátového dusíku jsou v ornici i podorníčí výrazně vyšší a amonného dusíku nižší.

Nitrátový dusík v ornici představuje určité nebezpečí pro jakost vod, protože v závislosti na průběhu počasí, zejména intenzity srážek, může být v různé míře vyplavován do hlubších vrstev půdy. Největším potenciálním rizikem je vysoký obsah $N-NO_3$ na konci podzimu, kdy již

nemůže být ve větší míře využit vegetací, ale naopak vytváří zásobu snadno pohyblivých nitrátových iontů, které jsou z hlediska vyplavování nejnebezpečnější.

Pro hodnocení obsahu $N-NO_3$ v půdě bylo použito rozdělení oblastí do dvou skupin podle nadmořských výšek podle kritérií zavedených a provozně odzkoušených při řešení problematiky „Stanovení ekologicky únosných obsahů minerálního dusíku v půdách pásem hygienické ochrany vodních zdrojů“ – zpráva ÚKZÚZ Brno, 1995. Hodnocení bylo prováděno s ohledem na nadmořskou výšku stanoviště (tabulka 12).

Tabulka 12 *Hodnocení obsahu $N-NO_3$ v půdě ($mg.kg^{-1}$)*

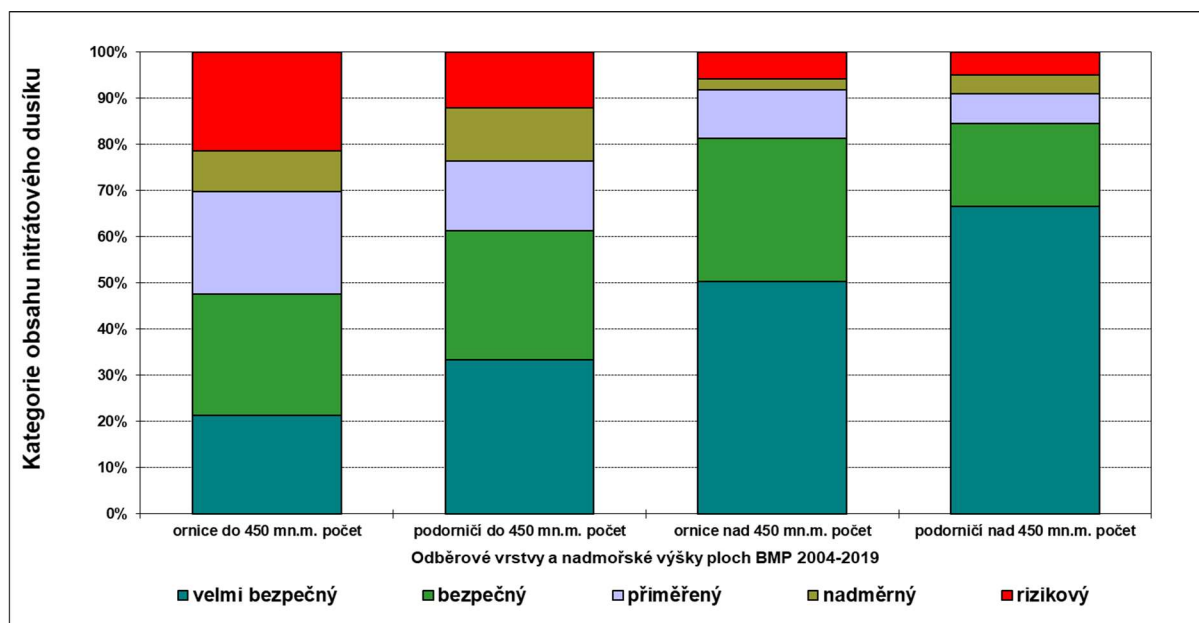
obsah $N-NO_3$	do 450 m n. m.	nad 450 m n. m.
velmi bezpečný	do 5,0	do 4,0
bezpečný	5,1 – 10,0	4,1 – 8,0
přiměřený	10,1 – 15,0	8,1 – 12,0
nadměrný	15,1 – 20,0	12,1 – 16,0
rizikový	nad 20,1	nad 16,1

Tabulka 13 *Statistické vyjádření obsahů minerálního dusíku ve vzorcích ze stálého počtu 23 ploch BMP v letech 2004–2019 s rozdělením ploch podle nadmořské výšky ($N-NO_3$ v $mg.kg^{-1}$ sušiny, $N-NH_4$ v $mg.kg^{-1}$ sušiny, N_{min} v $mg.kg^{-1}$ sušiny)*

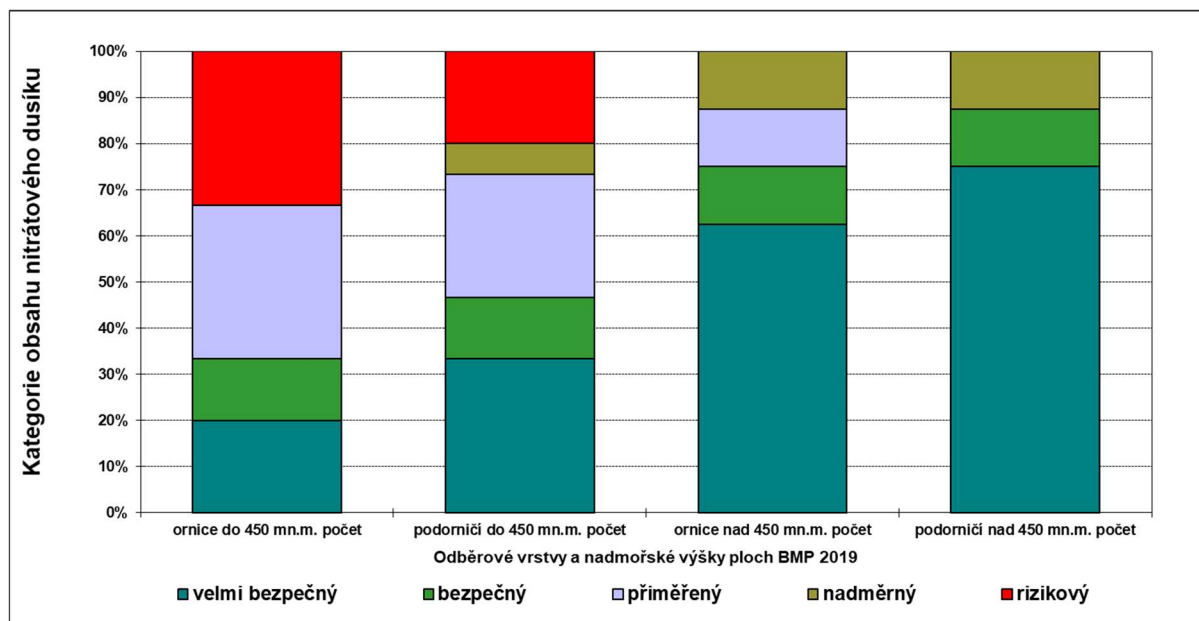
Nadm. výška		Horizont	Počet vzorků	Průměr	Medián	Min.	Max.	10% percent.	90% percent.
< 450	$N-NO_3$	O	229	13,6	10,3	0,53	94,3	3,37	27,0
		P	225	10,1	7,59	< 0,20	83,1	1,86	21,9
	$N-NH_4$	O	229	2,28	1,15	< 0,20	19,3	0,10	6,31
		P	225	1,42	0,70	< 0,20	16,9	< 0,20	3,75
	N_{min}	O	229	15,9	12,7	1,10	94,8	5,36	29,1
		P	225	11,5	8,41	< 0,20	83,9	2,64	23,4
> 450	$N-NO_3$	O	123	7,36	5,00	0,74	69,1	1,98	13,3
		P	123	5,51	2,77	< 0,20	38,7	0,98	13,6
	$N-NH_4$	O	123	6,13	5,48	< 0,20	22,9	1,54	11,4
		P	123	2,40	2,11	< 0,20	10,0	0,52	4,52
	N_{min}	O	123	13,5	11,4	2,70	77,1	6,72	20,9
		P	123	7,91	5,70	< 0,20	40,0	2,82	17,6

Rozdělení oblastí podle nadmořských výšek bylo použito pro hodnocení odběrů z let 2004–2019, kdy byly odběry vzorků prováděny každoročně na stálém počtu 23 ploch (tabulka 13). Rozdělení na oblasti bylo použito nejen pro hodnocení obsahu dusíku nitrátového, ale i amonného. Z výsledků zřetelně vyplynulo, že oblasti do 450 m n. m. obsahují v orničním i podorničním horizontu vyšší množství nitrátového dusíku než oblasti nad 450 m n. m. U amonného dusíku je tomu přesně naopak (vyšší obsahy jsou v ornici i podornici u oblastí s nadmořskými výškami nad 450 m).

Graf 8 *Procentické zastoupení vzorků v jednotlivých kategoriích obsahů N-NO₃ v ornici a podorničí 23 stálých ploch BMP, 2004–2019*



Graf 9 *Procentické zastoupení vzorků v jednotlivých kategoriích obsahů N-NO₃ v ornici a podorničí 23 stálých ploch BMP, 2019*



Rozčlenění na jednotlivé kategorie podle obsahů nitratového dusíku z tabulky 13 bylo použito ke grafickému zobrazení zjištěných obsahů N-NO₃ v půdě z let 2004–2019 a z roku 2019 (graf 8 a 9). Obsahy N-NO₃ jsou zařazeny do pěti kategorií (velmi bezpečný, bezpečný, přiměřený, nadměrný a rizikový) podle nadmořských výšek do 450 m n. m. a nad 450 m n. m. Grafy 8 a 9 nám ukazují velmi zřetelný rozdíl mezi oblastmi. U oblastí s nadmořskými výškami nad 450 m n. m. v periodě let 2004–2019 v kategoriích bezpečných obsahů (velmi bezpečný a bezpečný) se nalézají přes 80 % vzorků jak v ornici, tak v podorničí, naproti tomu v oblastech do 450 m n. m. je to od 48 % (ornice) do 61 % (podorničí). Podobný rozdíl platí

i u odběrů z roku 2019, kde je rozdíl mezi oblastmi zřetelnější. V kategoriích velmi bezpečný a bezpečný obsah se nalézají v oblastech do 450 m n. m. pouze 33 % vzorků ornice a 47 % vzorků podorničí a v oblastech nad 450 m n. m. je to pro ornici 75 % vzorků a pro podorničí 88 %.

Závěry

- Minerální dusík je na plochách BMP stanovován od roku 1993.
- Medián souboru vzorků z let 1993–2019 měl pro nitratový dusík hodnotu $6,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ a pro amonný dusík $2,90 \text{ mg.kg}^{-1}$. Podorničí vykazuje nižší obsahy jak pro nitratový, tak pro amonný dusík. V roce 2019 byly hodnoty nitratového dusíku oproti letům 1993–2018 v ornici i podorničí vyšší, naproti tomu obsahy amonného dusíku byly v obou horizontech nižší.
- Od roku 2004 je prováděno stanovení nitratového i amonného dusíku v ornici a podorničí na 23 stálých plochách BMP (15 orných, 3 TTP, 1 sad, 4 plochy, kde se v průběhu let střídala orná půda a TTP).
- V letech 2004–2019 se zjistily vyšší obsahy nitratového dusíku ve vzorcích z oblastí do 450 m n. m. jak v orničním, tak i podorničním horizontu než v oblastech nad 450 m n. m. Obsahy amonného dusíku ve sledovaném období byly vyšší v oblastech nad 450 m n. m. jak v ornici tak i v podorničí oproti oblastem do 450 m n. m.
- Hodnocení obsahů nitratového dusíku podle kategorií ve vzorcích z roku 2019 ukázalo, že v kategorii velmi bezpečný a bezpečný obsah se nalézají v oblastech do 450 m n. m. pouze 33 % vzorků ornice a 47 % vzorků podorničí a v oblastech nad 450 m n. m. je to pro ornici 75 % vzorků a pro podorničí 88 %.

1.4.1.7 Stanovení obsahů esterů kyseliny ftalové v půdě v letech 2011–2018

Ing. Radka Langová, Ph. D., prof. Ing. Alžbeta Jarošová, Ph. D., MENDELU, Ústav technologie potravin AF

Estery kyseliny ftalové (PAE) jsou ve vodě nerozpustné materiály, komplexní vlastnosti závisí na typu, struktuře, molekulové hmotnosti a délce postranního řetězce. Vysoce lipofilní charakter ftalátů také usnadňuje jejich migraci z plastových výrobků a jejich kontinuální uvolňování do okolního prostředí. Ftaláty nejsou v materiálech vázány žádnou chemickou vazbou, a proto působí značné problémy uvolňováním do vody, půdy či ovzduší. Estery kyseliny ftalové jsou díky svým výhodným vlastnostem hojně využívány v mnoha oblastech průmyslové výroby, což je i důvodem jejich rozšíření ve všech složkách životního prostředí.

Za dva hlavní zdroje v půdě jsou považovány: atmosférická depozice a používání hnojiv. Atmosférická depozice je problémem především v oblastech s rozsáhlou průmyslovou činností, ale současně je i důvodem výskytu nižších koncentrací esterů kyseliny ftalové v půdách neobhospodařovaných. Nejrozšířenějšími estery kyseliny ftalové v půdě i životním prostředí jsou dibutyl ftalát (DBP) a di-2-ethylhexyl ftalát (DEHP). Proto byly analyzovány právě tyto dva estery kyseliny ftalové.

Vzorky půd k monitoringu obsahu ftalátů v půdách byly odebrány ze 40 lokalit BMP ze svrchního horizontu půdy (ornice). S výjimkou roku 2011, kdy bylo analyzováno 37 vzorků a roku 2012, kdy proběhla analýza 39 vzorků. Uvedené výsledky se týkají vzorků půd odebíraných v letech 2011–2018. Analýza vzorků půd probíhala na Ústavu technologie potravin AF Mendelovy univerzity v Brně.

Vzorky půd byly lyofilizovány a následně extrahovány ve směsi aceton:hexan (1:1) pomocí ultrazvuku. Následovalo přečištění koncentrovanou kyselinou sírovou. Přečištěné vzorky byly dosušeny dusíkem do sucha a doplněny acetonitrem se standardním přídatkem na objem 1 ml pro HPLC stanovení.

Analýza ftalátů byla provedena pomocí HPLC s UV detekcí při vlnové délce 224 nm. Všechny vzorky byly analyzovány duplicitně. Byla použita kolona Zorbax Eclipse C8. Výsledky byly vyhodnoceny pomocí kalibrační křivky za použití softwaru Agilent ChemStation for LC and LC/MS systems.

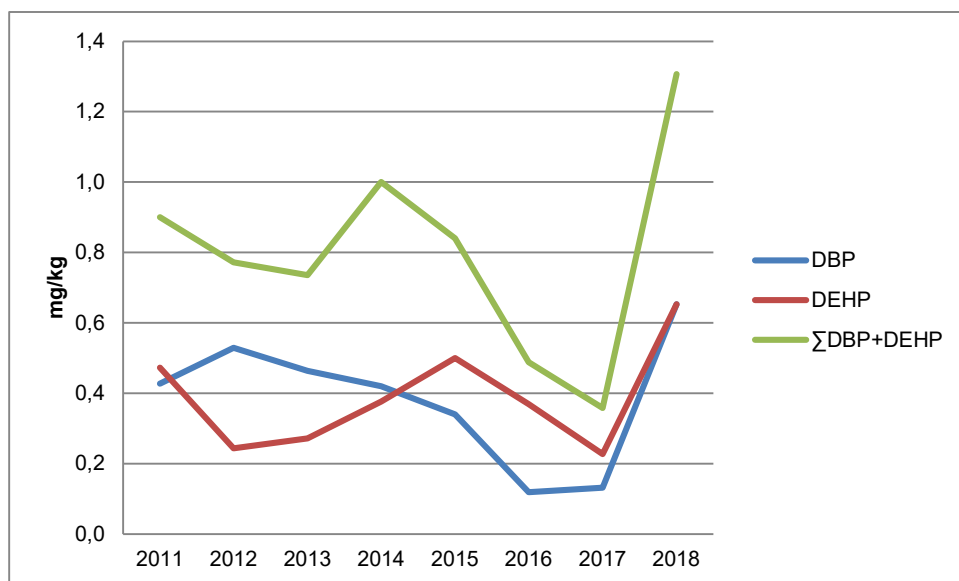
Základní statistické charakteristiky souboru jsou uvedeny v tabulce 14. Na grafech 10 a 11 je znázorněn obsah DBP, DEHP a Σ DBP+DEHP v jednotlivých letech v orné půdě a v půdě TTP.

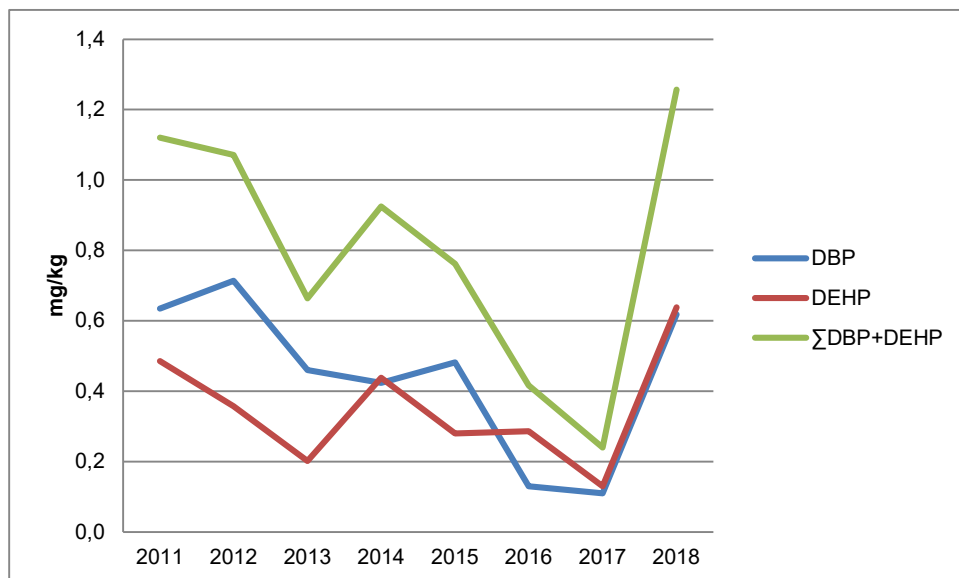
Hodnoty koncentrace dibutyl ftalátu (DBP) se v letech 2011–2018 v orné půdě pohybovaly v rozmezí od 0,01 mg.kg⁻¹ suš. do 1,78 mg.kg⁻¹ suš. Hodnoty koncentrace di-2-ethylhexyl ftalátu (DEHP) se v letech 2011–2018 v orné půdě pohybovaly v rozmezí koncentrací od 0 mg.kg⁻¹ suš. do 2,32 mg.kg⁻¹ suš. Celkové hodnoty koncentrace di-2-ethylhexyl ftalátu a dibutyl ftalátu se v letech 2011–2018 v orné půdě pohybovaly v rozmezí koncentrací od 0,05 mg.kg⁻¹ suš. do 3,21 mg.kg⁻¹ suš.

Hodnoty koncentrace dibutyl ftalátu (DBP) se v letech 2011–2018 v půdě TTP pohybovaly v rozmezí od 0,02 mg.kg⁻¹ suš. do 1,78 mg.kg⁻¹ suš. Hodnoty koncentrace di-2-ethylhexyl ftalátu (DEHP) se v letech 2011–2018 v půdě TTP pohybovaly v rozmezí koncentrací od 0,01 mg.kg⁻¹ suš. do 1,02 mg.kg⁻¹ suš. Celkové hodnoty koncentrace di-2-ethylhexyl ftalátu a dibutyl ftalátu se v letech 2011–2018 v půdě TTP pohybovaly v rozmezí koncentrací od 0,03 mg.kg⁻¹ suš. do 2,80 mg.kg⁻¹ suš.

Tabulka 14 Základní statistické charakteristiky PAE v ornici (svrchním horizontu) orných půd, TTP za období 2011–2018 ($\text{mg.kg}^{-1}\text{suš.}$)

		Orná půda							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
DBP	průměr	0,43	0,53	0,46	0,42	0,34	0,12	0,13	0,65
	min	0,02	0,18	0,08	0,08	0,08	0,02	0,01	0,13
	max	0,93	1,36	0,83	1,78	0,74	0,35	0,53	1,07
	medián	0,4	0,43	0,45	0,33	0,32	0,11	0,1	0,66
DEHP	průměr	0,47	0,24	0,27	0,38	0,5	0,37	0,23	0,65
	min	0,24	0,06	0,07	0,01	0,1	0,05	0	0,13
	max	2,22	0,71	1,4	2,32	1,94	1,25	0,65	1,03
	medián	0,4	0,23	0,19	0,27	0,32	0,31	0,17	0,65
$\Sigma\text{DBP+DEHP}$	průměr	0,9	0,77	0,74	1	0,84	0,49	0,36	1,31
	min	0,07	0,24	0,25	0,09	0,27	0,08	0,05	0,72
	max	2,83	1,71	2,16	3,21	2,66	1,53	0,9	2,08
	medián	0,8	0,65	0,62	0,61	0,73	0,41	0,3	1,32
		TTP							
DBP	průměr	0,63	0,71	0,46	0,42	0,48	0,13	0,11	0,62
	min	0,13	0,31	0,28	0,11	0,22	0,03	0,02	0,36
	max	1,78	1,15	0,63	0,68	0,75	0,22	0,19	0,99
	medián	0,51	0,67	0,47	0,48	0,5	0,14	0,13	0,63
DEHP	průměr	0,49	0,36	0,2	0,44	0,28	0,29	0,13	0,64
	min	0,24	0,13	0,1	0,16	0,1	0,16	0,01	0,43
	max	1,02	0,96	0,34	0,61	0,4	0,45	0,51	0,93
	medián	0,41	0,27	0,19	0,49	0,33	0,31	0,04	0,64
$\Sigma\text{DBP+DEHP}$	průměr	1,12	1,07	0,66	0,93	0,76	0,42	0,24	1,26
	min	0,58	0,44	0,4	0,27	0,32	0,2	0,03	0,98
	max	2,8	2,11	0,81	1,5	1,15	0,53	0,67	1,42
	medián	0,9	0,94	0,75	0,88	0,79	0,5	0,23	1,31

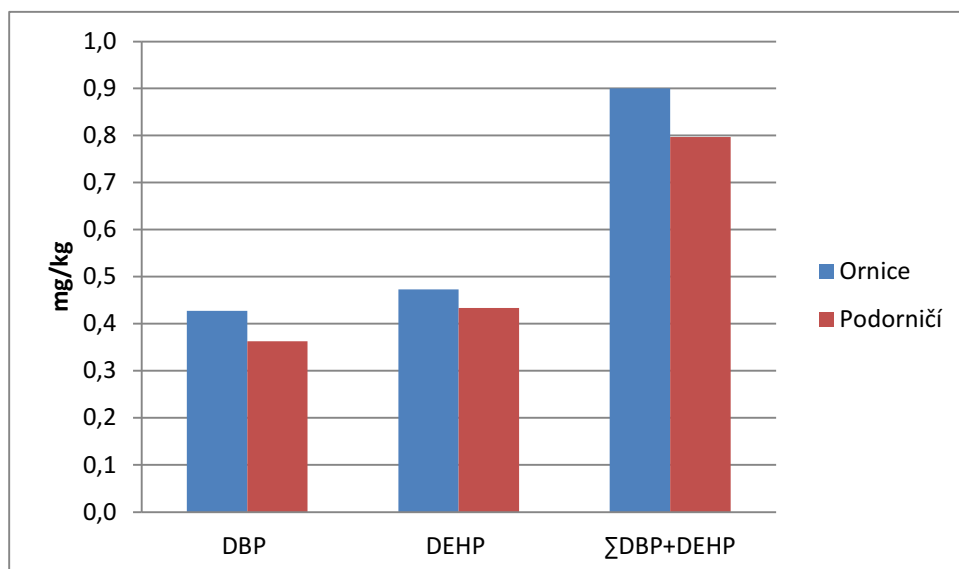
Graf 10 Obsahy DBP, DEHP a $\Sigma\text{DBP+DEHP}$ v letech 2011–2018 ($\text{mg.kg}^{-1}\text{suš.}$) v orné půdě


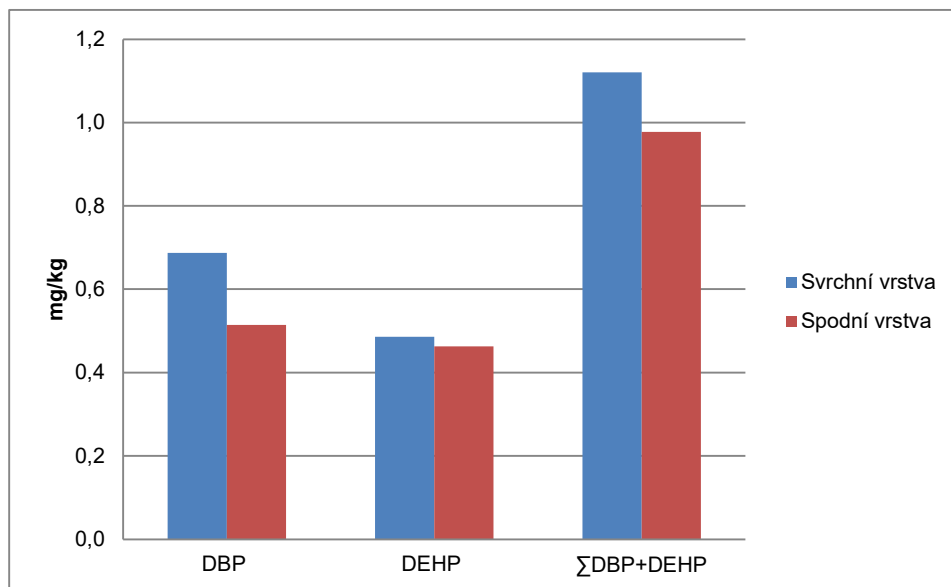
Graf 11 Obsahy DBP, DEHP a Σ DBP+DEHP v letech 2011–2018 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš.) v půdě TTP

Koncentrace esterů kyseliny ftalové v jednotlivých letech jsou poměrně na stále stabilní úrovni. K poklesu obsahu došlo v letech 2016 a 2017. Na obsah esterů kyseliny ftalové má vliv řada spolupůsobících faktorů, jako je zemědělská aktivita spojená s používáním hnojiv a dalších zemědělských přípravků, kde současně rozhoduje dávka, druh a doba odběru vzorku po aplikaci. Dále atmosférická depozice v závislosti na povětrnostních podmínkách a vzdálenosti zdroje znečištění od místa odběru vzorku půdy. Nelze jednoznačně určit, který z faktorů se podílí na obsahu esterů kyseliny ftalové v půdě nejvyšší mírou.

Pokud bychom srovnali zjištěné hodnoty s hodnotami uvedenými v Metodickém pokynu MŽP 2013 vycházející ze screeningových hodnot RSL (Regional Screening Levels) vydaných Americkou agenturou pro ochranu životního prostředí USEPA (United States Environmental Protection Agency), pak žádná z těchto hodnot nebyla překročena.

V roce 2011 došlo k odběru i podorničního horizontu půdy (spodního horizontu). Výsledky jsou zobrazeny na grafech 12 a 13. Z grafů vyplývají mírně nižší hodnoty obsahu esterů kyseliny ftalové v hlubších vrstvách půdy.

Graf 12 Obsahy DBP, DEHP a Σ DBP+DEHP v roce 2011 ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš.) v orné půdě

Graf 13 **Obsahy DBP, DEHP a Σ DBP+DEHP v roce 2011 (mg.kg^{-1} suš.) v půdě TTP**

Závěry

- V letech 2011–2018 byly odebírány k analýze esterů kyseliny ftalové vzorky půd ze 40 sledovacích ploch.
- V roce 2011 byla analyzována jak ornice (svrchní horizont), tak podorničí (spodní vrstva půdy).
- S výjimkou jednoho vzorku v roce 2017 byly ve všech vzorcích nalezeny oba analyzované estery kyseliny ftalové, a to dibutyl ftalát (DBP) a di-2-ethylhexyl ftalát (DEHP).
- Hodnoty Σ DBP+DEHP se v letech 2011–2018 v orné půdě pohybovaly v rozmezí koncentrací od $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. do $3,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.
- Hodnoty Σ DBP+DEHP se v letech 2011–2018 v půdě TTP pohybovaly v rozmezí koncentrací od $0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. do $2,80 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš.
- Limitní hodnoty esterů kyseliny ftalové v půdě nejsou v ČR stanoveny.
- Při srovnání zjištěných hodnot s Metodickým pokynem MŽP 2013 žádná z těchto hodnot překročena nebyla.

1.4.1.8 Monitoring mikrobiálních parametrů půd ČR

Stanislav Malý

Vzorky půd pro mikrobiologické analýzy (odběr 2018) byly odebírány ze 35 lokalit půdního bazálního monitoringu a 5 lokalit, které se nachází na území chráněných krajinných oblastí. Vzorkování proběhlo během prvního týdne měsíce října. Odběr byl prováděn z vrstvy 0–15 cm. Po dopravení do laboratoře byly vzorky prosety (2 mm) a uskladněny při -20 °C. Před analýzou byly rozmrazovány týden v lednici a před vlastním měřením preinkubovány, a to v závislosti na dané metodě. Stanovení enzymatických aktivit pomocí fluorogenních substrátů a analýza DNA byly zahájeny ihned po rozmražení. Počty laboratorních analýz uvádí tabulka 15.

Na předchozí zavedení postupu pro stanovení C lehké (LF) a těžké (HF) frakce půdní organické hmoty pomocí roztoku polywolframanu sodného o hustotě 1,85 g.cm⁻³ navázalo stanovení obsahu obou frakcí ve vzorcích půd bazálního monitoringu odebraných v roce 2017. Přehlednou statistiku naměřených dat uvádí tabulka 16. Ke zjištění, jak obhospodařování (orná, trvalé travní porosty (TTP)) odráží obsahy těchto frakcí byla použita metoda klasifikačního stromu. Algoritmus stanoví kritéria pro zařazení objektů (lokality) do daných kategorií (orná, TTP (ÚKZÚZ), TTP (CHÚ)) pomocí kontinuálních proměnných. Těmi byly obsahy LF a HF a obsah vodou extrahovatelného C (WSC). Výsledný klasifikační strom je na grafu 14. Na nejvyšší úrovni dochází k oddělení půd orných a trvalých travních porostů na základě obsahu HF. Půdy s hodnotami nižšími než 17,4 μg.g⁻¹ jsou klasifikovány jako orné, s vyššími jako TTP. HF představuje organické látky vázané na povrchích minerálních částic a v půdních agregátech. Agrotechnické zásahy, jako je např. orba, způsobují narušení agregátů, což vede k nižší akumulaci C v HF. K rozlišení půd trvalých travních porostů ÚKZÚZ a CHÚ dochází na základě obsahu lehké frakce, kdy hraničním kritériem je hodnota 3,89 μg.g⁻¹, s nižšími hodnotami v půdách ÚKZÚZ. LF je labilní frakce půdní organické hmoty, zpravidla se jedná o nerozložené rostlinné zbytky.

Malý počet vzorků neumožňuje provést křížovou validaci modelu, proto byla porovnána vypočtená klasifikace se skutečnými hodnotami. Výsledky shrnuje tabulka 17. Celkový počet správně klasifikovaných půd představuje 81,4 %. Z celkového počtu 27 orných půd jich bylo správně hodnoceno 26. Výjimku představovala půda zařazená do kategorie TTP (CHÚ), která ve svých vlastnostech vybočovala z rozsahu fyzikálně-chemických vlastností analyzované sady vysokým obsahem jílovitých částic (<0,002 mm, 49,4 %). Tato skutečnost pravděpodobně vedla k vyšší akumulaci organické hmoty v těžké frakci, protože je známo, že jílovité částice mohou na svém povrchu vázat organické sloučeniny. Jako zdánlivý neúspěch se jeví klasifikace půd TTP (ÚKZÚZ), z nichž čtyři byly zařazeny mezi orné půdy. Bližší pohled ale ukazuje, že ve všech těchto případech se jedná o původně orné půdy, které byly v průběhu sledování (1996, 1998, 2005, 2006) zatravněny. Výsledky naznačují, že doba od zatravnění pravděpodobně nebyla dostatečná pro dosažení obsahu HF charakteristického pro půdy TTP. Obsah LF spolehlivě oddělil půdy trvalých travních porostů odebíraných z ploch ÚKZÚZ a CHÚ (3). Výjimkou byla půda TTP (CHÚ) klasifikovaná jako orná. Jednalo se o půdu s extrémně nízkými hodnotami parametrů charakterizující mikrobiální biomasu a aktivitu (respirace, substrátem indukovaná respirace). Zjištěná skutečnost může souviset s velmi nízkým obsahem jílovitých částic (8,03 %). Je třeba zmínit, že vedle uvedených čtyř ploch analyzovaná sada obsahovala ještě další dvě lokality se změnou orná – TTP (1997, 2003), které byly hodnoceny správně. WSC byl z hlediska zařazení lokalit do zvolených kategorií méně významný než LF a HF.

Analýza ukázala citlivost LF a HF ke způsobu hospodaření. Pro další využití bude třeba analyzovat ostatní půdy odebírané v rámci monitoringu mikrobiálních vlastností, validovat

získaný klasifikační model a provést jeho detailní analýzu vzhledem k půdním fyzikálně-chemickým vlastnostem.

Tabulka 15 *Přehled analýz provedený v rámci monitoringu mikrobiálních vlastností půd ČR v roce 2018 (OMB – Národní referenční laboratoř, oddělení mikrobiologie a biochemie)*

Metoda	Počet vzorků	Pracoviště ÚKZÚZ
oxidovatelný uhlík	40	OMB Brno
pH (KCl)	40	Odbor NRL Brno
zrnitostní rozbor	40	Odbor NRL Brno
kationtová výměnná kapacita	40	Odbor NRL Brno
uhlík mikrobiální biomasy	40	OMB Brno
dusík mikrobiální biomasy	40	OMB Brno
bazální respirace titračně	40	OMB Brno
bazální respirace systémem OxiTop	40	OMB Brno
substrátem indukovaná respirace systémem OxiTop	40	OMB Brno
růstové křivky: specifická růstová rychlost (μ)	40	OMB Brno
amonifikace	40	OMB Brno
nitrifikační aktivita	40	OMB Brno
aktivita ureázy	40	OMB Brno
restrikční analýza fragmentu genu amoA	26	OMB Brno
aktivita vybraných půdních enzymů (6)	40	OMB Brno

Tabulka 16 *Souhrnná statistika obsahu jednotlivých frakcí organického C (mg.g^{-1})*

Parametr	Statistika	Orná	TTP (ÚKZÚZ)	TTP (CHÚ)
Počet		27	12	4
LF	Medián	2,57	2,63	6,39
HF		12,4	19,1	18,6
WSC		0,11	0,11	0,24
LF	Minimum	1,33	2,07	3,96
HF		7,72	10,6	6,24
WSC		0,06	0,07	0,12
LF	Maximum	5,26	4,21	12,0
HF		28,6	25,1	42,7
WSC		0,21	0,15	0,35

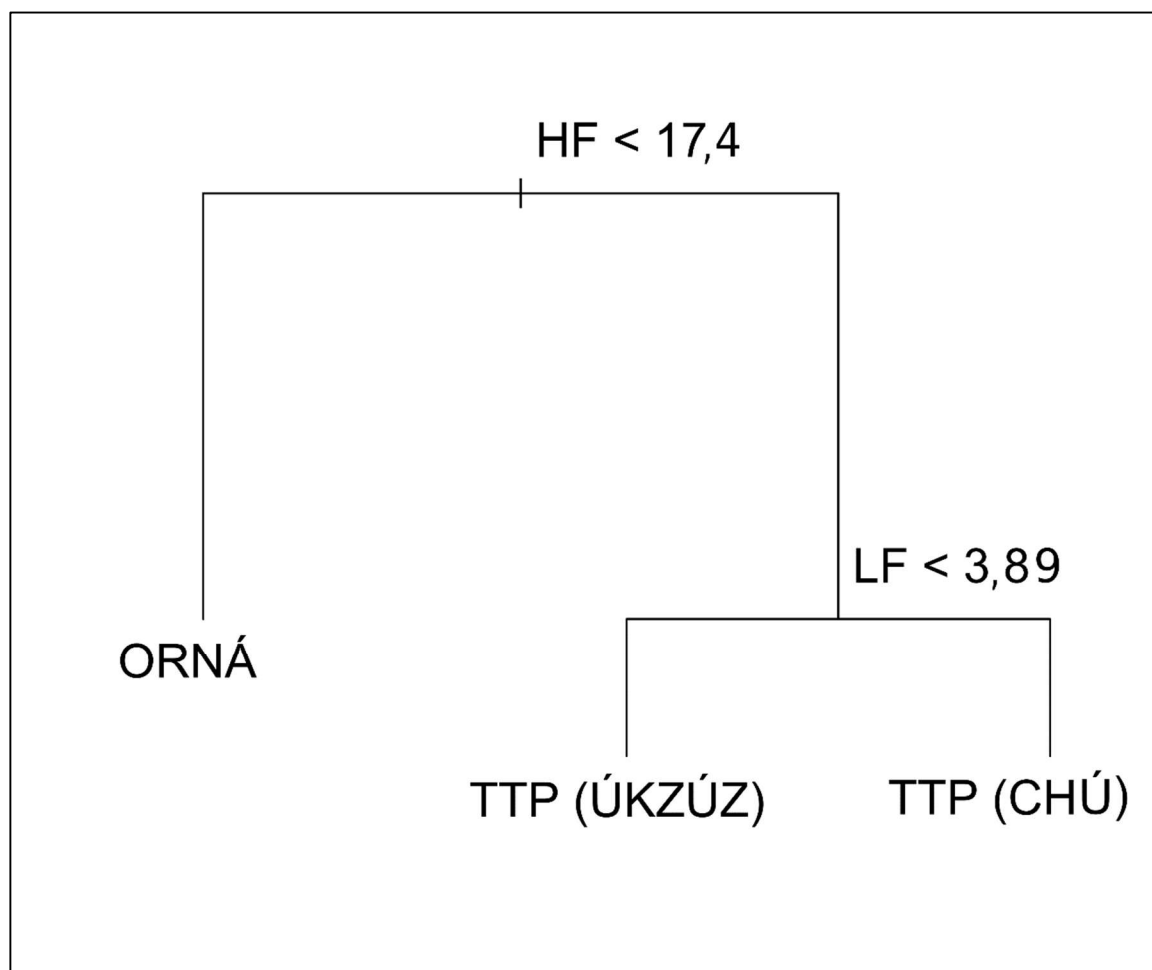
HF – těžká frakce, LF – lehká frakce, WSC – vodou extrahovatelný C.

Tabulka 17 *Porovnání skutečné a vypočtené klasifikace lokalit do kategorií Orná / TTP (ÚKZÚZ) / TTP (CHÚ) na základě obsahu jednotlivých frakcí půdní organické hmoty*

		Skutečnost		
		Orná	TTP (ÚKZÚZ)	TTP (CHÚ)
Výpočet	Orná	26	4	1
	TTP (ÚKZÚZ)	1	6	3
	TTP (CHÚ)	0	2	0

Graf 14

Klasifikace lokalit podle způsobu obhospodařování vypočtená z obsahů jednotlivých frakcí půdní organické hmoty



1.4.1.9 Monitoring rostlinné produkce – obsahy rizikových prvků v rostlinách

Lenka Prášková

V roce 2019 bylo analyzováno 93 vzorků rostlin z 52 lokalit. V příloze 26 jsou uvedeny výsledky měření obsahů rizikových prvků v rostlinách z pozorovacích ploch Bazálního monitoringu půd. Pro celé období sledování (1997–2019) byly vypočítány průměrné obsahy rizikových prvků v rostlinách (příloha 27). Tyto hodnoty by měly být chápány jako orientační, protože u některých plodin se jedná o výsledek jedné nebo několika málo analýz a nebyly tak vyloučeny extrémní hodnoty.

V roce 2019 byl celkem ve 4 vzorcích zjištěn nadlimitní obsah prvku.

Ve všech čtyřech vzorcích (1x zrno tritikale, 1x zrno ječmene ozimého, 1x zrno ovsa a 1x semeno máku) byla překročena nejvyšší přípustná hodnota stanovená Nařízením Komise (ES) č. 1881/2006 (hodnocení z hlediska potravin). Všechny vzorky byly nadlimitní z hlediska obsahu kadmia. V případě vzorku zrna ječmene byl v rámci jednoho vzorku překročen limit jak pro kadmium, tak zároveň pro olovo. V roce 2019 byly odebrány dva vzorky máku, oba z kontaminovaného subsystému, přičemž vzorek z plochy 6904KO po započtení nejistoty měření vyhověl požadavkům vyhlášky. Mák byl hodnocen podle vyhlášky č. 329/1997 Sb., ve znění pozdějších předpisů.

Z hlediska krmiv, jejichž limity jsou stanovené Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2002/32/ES ve znění Nařízení Komise (EU) 2017/2229, nebyl nadlimitní žádný vzorek.

Všechny vzorky kromě vzorku tritikale, které byly shledány jako nadlimitní, byly odebrány ze subsystému kontaminovaných ploch. Vzorky rostlin s překročenými limitními hodnotami u jednotlivých plodin uvádí příloha 28.

Závěry

- V roce 2019 byla provedena analýza 93 vzorků rostlin z 52 pozorovacích ploch BMP.
- Ve čtyřech případech došlo k překročení limitních hodnot; a to u rostlinných produktů k potravinářskému využití.
- K překročení limitních hodnot došlo ve třech případech ze čtyř ve vzorcích z kontaminovaného subsystému monitoringu.

1.4.2 Kontrola hnojiv a pomocných látek

Jaroslav Houček

V roce 2019 pokračovala registrace hnojiv a pomocných látek podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech. Kromě registrace pracovníci Oddělení hnojiv evidují hnojiva a pomocné látky uváděné do oběhu i dalšími 3 legálními způsoby, tzn. v režimu ohlášení (podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech), vzájemného uznávání (podle Nařízení EP a Rady (ES) č. 764/2008) a hnojiv ES (podle Nařízení EP a Rady (ES) č. 2003/2003). Hnojiva ES jsou však evidována a následně zveřejněna v Registru hnojiv pouze na základě žádosti výrobce resp. dodavatele, protože tato hnojiva ze své podstaty žádné evidenci ani povinnému hlášení nepodléhají.

V režimu registrace bylo vydáno celkem 596 rozhodnutí, z toho 170 rozhodnutí o registraci, 325 prodloužení platnosti registrace a v 101 případech bylo vydáno rozhodnutí o změně žádosti o registraci. Dále bylo ohlášeno 131 hnojivo, v režimu vzájemného uznávání bylo evidováno 59 výrobků a v režimu hnojiv ES 51 hnojivo.

V rámci odborného dozoru bylo odebráno celkem 286 vzorků, z toho 169 registrovaných hnojiv, 21 ohlášených hnojiv, 71 hnojiv ES, 6 vzájemně uznaných výrobků a 19 hnojiv určených k aplikaci na vlastní pozemky. Na základě nevyhovujících výsledků analýz vzorků bylo zrušeno 12 rozhodnutí o registraci a 1 ohlášení hnojiva. Důvodem bylo kromě nevyhovujících jakostních ukazatelů také překročení limitů rizikových prvků (tabulka 18). Dále byla zahájena správní řízení 1 vzájemně uznaného výrobku (překročení limitů rizikových prvků – tabulka 22) a u 1 hnojiva ES (nevyhovující jakostní ukazatele).

Cílené kontroly (tabulka 19) zaměřené na komposty, digestáty a statková hnojiva byly prováděny jednak u registrovaných a ohlášených výrobků (jako součást odborného dozoru), jednak jako kontrola výrobků určených pro vlastní potřebu.

Tabulka 18 Hnojiva, u nichž byly v roce 2019 zjištěny nadlimitní obsahy rizikových prvků (červeně vyznačen limit rizikových prvků)

Výrobek	Překročení limitů rizik. prvků (v mg prvku/kg vysuš. vz.)
Minerální hnojivo	As (84/ 20); Pb (13,6/ 10)
Minerální hnojivo	Cd (53,1/ 50)
Kompost	Cr (108/ 100); Zn (1020/ 600); Cu (244/ 150); Hg (1,91/ 1,0)
Digestát	Cu (355/ 250)
Substrát	As (30,55/ 20)
Substrát	Cd (1,1/ 1,0)
Pomocná půdní látka	Pb (10,9/ 10)

Tabulka 19 Cílené kontroly v roce 2019 – komposty, digestáty, statková hnojiva (červeně vyznačen limit rizikových prvků)

	Počet odebraných vzorků (překroč. limitů rizik. prvků/ nedodržení jakostních ukazatelů)	Překročení limitů rizik. prvků (v mg prvku/ kg vysuš. vzorku)
Komposty	103 (1/8)	Cr (108/ 100); Zn (1020/ 600); Cu (244/ 150); Hg (1,91/ 1,0)
Digestáty	16 (1/0)	Cu (355/ 250)
Statková hnojiva	10 (0/-)	

1.4.3 Monitoring kalů ČOV

Lenka Prášková

Na základě zákona č. 147/2002 Sb., o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském, ve znění pozdějších předpisů, §3, jsou kaly monitorovány jako jeden ze vstupů do půdy. Monitoring je zaměřen především na ty ČOV, u nichž je předpoklad, že určitá část produkce kalů je směřována v konečné fázi na zemědělskou půdu a dále na velké, dlouhodobě monitorované ČOV. Tím je dán náš předvýběr a proto se naše výsledky nemohou vztahovat na čistotu kalů celorepublikově.

V roce 2019 byly vzorky kalů odebrány v jarním období na 40 vybraných ČOV.

V laboratořích ÚKZÚZ byly vzorky analyzovány na rizikové prvky (RP) a ve vybraných vzorcích byly dále stanoveny organické polutanty. Z rizikových prvků je sledován obsah arzenu (As), kadmia (Cd), chromu (Cr), rtuti (Hg), niklu (Ni), olova (Pb), mědi (Cu) a zinku (Zn), z organických polutantů jsou to polychlorované bifenyly, polycyklické aromatické uhlovodíky a organochlorové pesticidy. Od roku 2012 je stanovováno 9 kongenerů PBDE. Od roku 2013 jsou ve vzorcích určených ke stanovení organických polutantů stanovovány také vybrané perfluorované sloučeniny – PFAS. Od roku 2016 jsou v externí laboratoři stanovovány ve vzorcích z vybraných čtyř ČOV mikrobiologické parametry. Halogenované organické sloučeniny (AOX) nebyly v roce 2019 z důvodu finančních úspor analyzovány.

Obsahy jednotlivých prvků a organických polutantů jsou od roku 2016 hodnoceny podle vyhlášky č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Do roku 2016 bylo hodnocení prováděno podle vyhlášky č. 382/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů k zákonu č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů.

Jednotlivé ČOV jsou uváděny pod interními kódy.

Kromě samotných kalů ČOV sleduje ÚKZÚZ také kvalitu půdy po aplikaci kalů a kvalitu zemědělských plodin pěstovaných na pozemcích po aplikaci kalů. V roce 2019 byla zpracována průběžná zpráva zaměřená na kvalitu plodin po aplikaci kalů. Zpráva je k dispozici na webových stránkách ústavu.

1.4.3.1 Rizikové prvky v kalech

Statistické vyhodnocení obsahů rizikových prvků v kalech ČOV za rok 2019 je uvedeno v příloze 29 pro ČR a v příloze 30 pro jednotlivé kraje (byly odebrány vzorky z 11 krajů; nebyl zastoupen kraj Hlavní město Praha, Karlovarský a Zlínský). V krajích Jihomoravském, Olomouckém, Pardubickém, Plzeňském, Středočeském, Ústeckém a v kraji Vysočina byly odebrány více než tři vzorky kalů. Z těchto krajů byly v roce 2019 nalezeny nejvyšší obsahy rizikových prvků ve vzorcích z Ústeckého kraje. V tomto kraji bylo z 12 sledovaných rizikových prvků u celkem 8 prvků dosaženo vyšších mediánů oproti ostatním krajům (arzen, berylium, kobalt, měď, molybden, olovo, vanad a zinek) a v kraji Vysočina u třech prvků (chrom, rtuť a nikl). Nejvyšší hodnota mediánu pro kadmium byla zjištěna v Plzeňském kraji (příloha 31). Příloha 32 uvádí výčet všech ČOV, na kterých byl v roce 2019 zjištěn nadlimitní výskyt sledovaných RP.

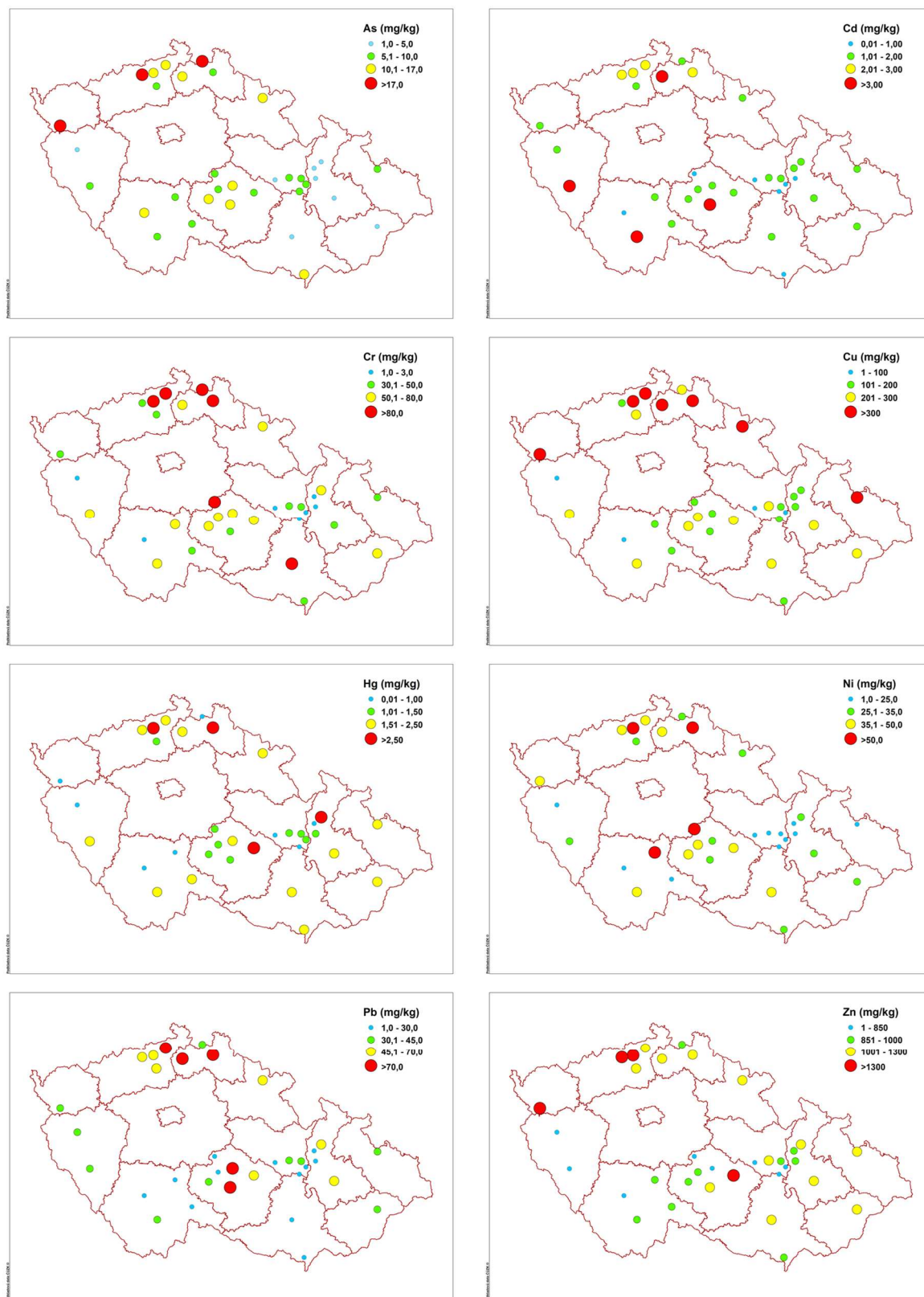
Přehled počtu vzorků kalů s nadlimitním obsahem rizikových prvků uvádí tabulka 20. Z této tabulky je patrné, že z celkových odebraných 40 vzorků kalů bylo 7 vzorků nadlimitních a u těchto vzorků bylo zjištěno 11 překročení limitních obsahů rizikových prvků. Ze 40 vzorků nejvíce krát překročila limitní hodnotu měď (4 překročení, což odpovídá 10 % vzorků).

Tabulka 20 *Počty vzorků kalů překračující limitní hodnoty stanovené vyhláškou č. 437/2016 Sb., ve znění pozdějších předpisů s počtem překračujících jednotlivých rizikových prvků a počty ČOV s nadlimitním obsahem alespoň jednoho rizikového prvku (2019; jednotlivé kraje, ČR)*

Kraj	Počet nadlimitních prvků								Počet vzorků kalů z ČOV		
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Celkem	Z toho nadlimitní	
										počet	%
Hlavní město Praha									-	-	-
Jihočeský									2	0	0
Jihomoravský									6	0	0
Karlovarský									-	-	-
Královéhradecký									1	0	0
Liberecký				1			1		2	2	100
Moravskoslezský				1					1	1	100
Olomoucký									5	0	0
Pardubický									3	0	0
Plzeňský				1		1			5	1	20
Středočeský									5	0	0
Ústecký		1	1	1				1	3	2	67
Vysočina		1					1		7	1	14
Zlínský									-	-	-
Celkem	0	2	1	4	0	1	2	1	40	7	17,5

Měď je nejčastěji se vyskytujícím RP překračujícím limitní hodnotu v kalech. Hodnoty mediánů Cu a ostatních rizikových prvků, pro které jsou stanoveny limitní hodnoty, jsou za posledních 10 let graficky znázorněny na obrázku 1, a to u těch ČOV, které byly odebrány 8 – 10x za posledních 10 let. Z obrázku je patrné, že se mediány Cu u poloviny sledovaných ČOV nacházely do obsahů 200 mg.kg^{-1} , dále se zde vyskytovalo 7 ČOV, které za desetiletou periodu vykázaly medián vyšší než 300 mg.kg^{-1} a ČOV 5105A svým mediánem přesáhla limitní hodnotu pro měď (500 mg.kg^{-1}).

Obrázek 1 **Obsah rizikových prvků ve vzorcích kalů ČOV, které byly v průběhu 10 let (2010–2019) odebrány 8–10x (medián, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)**



Grafické znázornění vývoje aritmetických průměrů a mediánů obsahů RP v kalech ČOV za období sledování 2001 až 2019 je uvedeno v příloze 33. Při porovnání obsahů na počátku sledování (polovina 90. let) a v současnosti lze říci, že došlo k výraznému snížení obsahů

kadmia, rtuti, olova a zinku. U těchto prvků se v polovině 90. let pohybovaly průměrné obsahy na úrovni 4,5 mg.kg⁻¹ u rtuti, 5 mg.kg⁻¹ u kadmia, 120 mg.kg⁻¹ u olova a 1600 mg.kg⁻¹ u zinku. U většiny prvků bylo možné pozorovat pokles hodnot mediánů přibližně do roku 2010, poté se tento trend zastavil a projevuje se opět nárůst obsahů zejména u mědi a niklu a od roku 2018 se k těmto prvkům přiřadilo také kadmium. U arzenu se hodnoty mediánu udržují víceméně na stejné úrovni, na kterou poklesly, hodnoty olova a zinku kolísají a střední hodnoty obsahů chromu stagnují.

V rámci České republiky nevyhovělo v roce 2019 limitním hodnotám rizikových prvků stanoveným ve vyhlášce č. 437/2016 Sb. 7 vzorků kalů ze 40 ČOV (17,5 %). Tyto kaly by tedy nebylo možné aplikovat na zemědělskou půdu. K limitním hodnotám pro rizikové prvky navíc přistupují další kritéria (obsah organických polutantů, mikrobiální znečištění), takže lze očekávat, že pro přímé použití na zemědělskou půdu bude počet nevyhovujících vzorků kalů ještě vyšší. Nejvyšší podíl ČOV produkujících kaly s nadlimitním obsahem alespoň jednoho rizikového prvku byl v roce 2019 zjištěn v Libereckém a Moravskoslezském kraji (100 % vzorků z odebraných bylo nadlimitních, V Libereckém kraji to byly 2 vzorky ze 2 odebraných vzorků a v Moravskoslezském kraji 1 vzorek z 1 odebraného). Následovaly kraje Ústecký (67 %) a Plzeňský (20 %) (tabulka 20).

V průběhu let dochází z pohledu překračování limitních obsahů rizikových prvků ke snižování počtu nevyhovujících vzorků kalů (tabulka 21). Nesmíme však opomenout, že v roce 2019 byl odebrán pouze poloviční počet vzorků oproti předchozím letům. V posledních letech jsou limitní obsahy překračovány u cca 20 % vzorkovaných ČOV.

Tabulka 21 Počet vzorků s nadlimitním obsahem alespoň jednoho rizikového prvku v kalech z ČOV v České republice (2001–2019)

Rok		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Celkem ČOV		195	199	96	101	100	101	107	106	102	103
Z toho nadlimitních	Počet	90	87	34	33	29	42	23	23	26	16
	%	46,2	43,7	35,4	32,7	29,0	41,6	21,5	21,7	25,5	15,3

Rok		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Celkem ČOV		90	88	78	78	82	80	82	82	40
Z toho nadlimitních	Počet	18	13	13	15	14	18	13	16	7
	%	20,0	14,8	16,7	19,2	17,1	22,5	15,9	19,5	17,5

Závěry

- V roce 2019 bylo na obsah rizikových prvků v rámci monitoringu kalů z ČOV odebráno a zanalyzováno 40 vzorků kalů z ČOV, což je poloviční počet oproti předchozím letům. Z tohoto souboru nevyhovělo vyhlášce č. 437/2016 Sb. 7 vzorků ČOV, tedy 17,5 %.
- Nejčastěji byla limitní hodnota v kalech překračována v případě mědi.
- Při porovnání obsahů na počátku sledování (polovina 90-tých let) a v současnosti došlo k výraznému snížení obsahů kadmia, rtuti, olova a zinku. Přibližně do roku 2010 byl patrný klesající trend, který se poté zastavil a projevuje se opětý nárůst obsahů u mědi, niklu a kadmia; u olova a zinku hodnoty kolísají. Střední hodnoty obsahů chromu se nemění.
- Počet ČOV, které produkují kaly s nevyhovujícími obsahy rizikových prvků s nadlimitním obsahem alespoň jednoho rizikového prvku se v rámci monitoringu, který provádí ÚKZÚZ na vybraném souboru ČOV směřovanou k využití na zemědělském půdním fondu za posledních 10 let ustálil na hodnotě okolo 20 %.

1.4.3.2 Polychlorované bifenyly v kalech

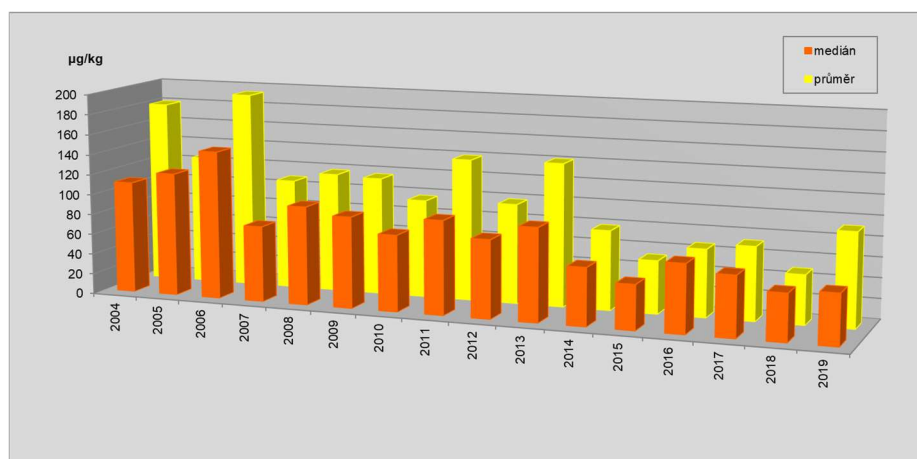
Polychlorované bifenyly jsou v kalech ČOV stanovovány od roku 1998. K původně stanovovaným šesti kongenerům (28, 52, 101, 138, 153, 180) přibyl v roce 2002 sedmý (118). Celkem byly obsahy PCB v roce 2019 stanoveny ve 14 vzorcích kalů. Podrobnou tabulku obsahů jednotlivých kongenerů PCB i sumy 7 kongenerů uvádí příloha 34. Grafické znázornění obsahů sumy 7 kongenerů PCB ve vzorcích z jednotlivých ČOV je uvedeno v příloze 35. Základní statistické charakteristiky souboru jsou uvedeny v tabulce 22. Od roku 2016 jsou kaly hodnoceny podle nové vyhlášky č. 437/2016 Sb., která udává limitní hodnotu pro sumu 7 kongenerů PCB (do roku 2016 platila vyhláška č. 382/2001 Sb., která udávala limitní hodnotu pro sumu 6 kongenerů).

Tabulka 22 Základní statistické charakteristiky obsahu PCB v kalech ČOV (2019, 14 vzorků, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ sušiny)

	Kongenery PCB							Suma 7 kongenerů
	28	52	101	118	138	153	180	
Průměr	21,5	14,3	7,77	3,43	12,1	19,0	14,3	92,3
Medián	3,00	3,35	5,59	1,71	9,27	15,6	11,2	50,2
Minimum	1,20	2,33	2,21	< 0,50	3,49	6,15	4,44	22,2
Maximum	259	136	30,6	26,0	33,7	58,6	43,6	474
10.percentil	1,39	2,63	3,35	0,25	5,92	10,5	5,53	33,7
90.percentil	6,46	18,5	13,3	4,22	20,1	26,8	22,8	155
Limitní hodnota pro sumu 7 kongenerů PCB podle vyhlášky č. 437/2016 Sb.								600
Počet překročení limitu v roce 2019								0

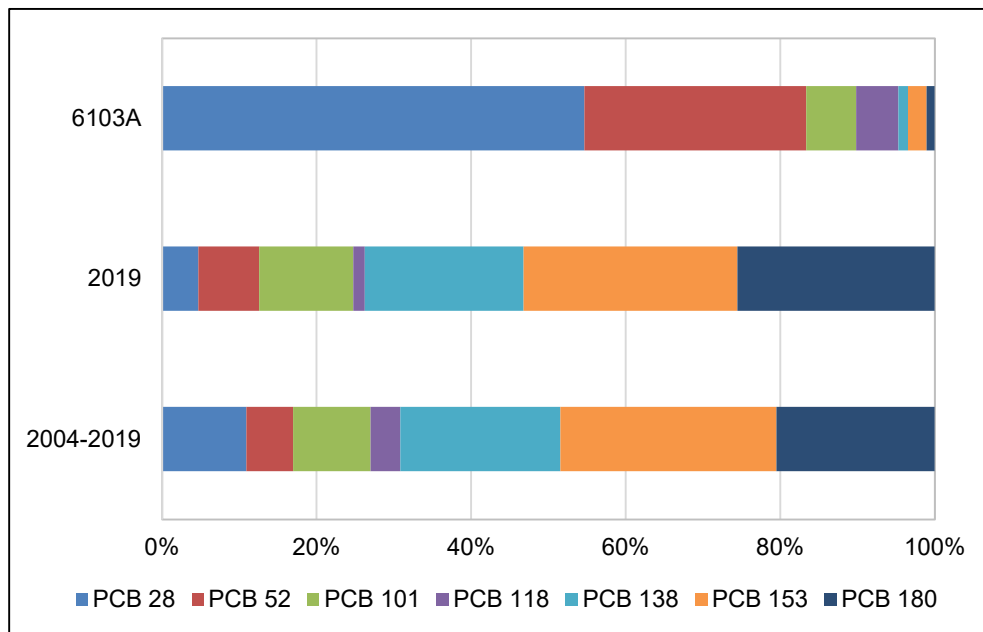
Nejnižší střední hodnoty v roce 2019 vykazoval kongener 118. Kongenery 28 a 52 běžně rovněž vykazují nízké hodnoty v řádu jednotek, nicméně v roce 2019 byly hodnoty ovlivněny vysokým obsahem u jednoho vzorku kalu (6103A z kraje Vysočina). Tento kal dosáhl u kongeneru 28 resp. 52 hodnot 259 resp. 136 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. obsahy. Sumy 7 kongenerů PCB v kalech kolísaly v roce 2019 v rozpětí od 22,2 do 474 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (vzorek kalu 6103A), aritmetický průměr činil 92,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. a medián 50,2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.

Graf 15 Střední hodnoty obsahů sumy 7 kongenerů PCB v kalech ČOV (2004–2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)



Vývoj středních hodnot obsahů sumy 7 kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153 a 180) v kalech ČOV je zobrazen v grafu 15, od roku 2007 došlo k jejich snížení a relativní stabilitě mediánů. Souhrnná statistika 708 vzorků kalů ČOV odebraných za období 1998–2019 je uvedena v příloze 36.

Graf 16 Procentuální zastoupení jednotlivých kongenerů PCB na celkové sumě 7 kongenerů v kalech ČOV (ČOV 6103A, rok 2019 bez ČOV 6103A a 2004–2019)



Z kongenerů se, za vyhodnocené období 2004–2019, na celkové sumě 7 kongenerů PCB nejvíce podílel kongener 153 (28 %) a přibližně stejnou měrou kongenery 138 (21 %) a 180 (20 %). Zastoupení jednotlivých kongenerů v celkové sumě PCB se v dlouhodobém horizontu prakticky nemění. Velmi podobné zastoupení jednotlivých kongenerů v sumě PCB lze vysledovat také ve 13 vzorcích z roku 2019. V grafu 16 je znázorněn podíl kongenerů ve zcela netypickém vzorku z ČOV 6103A, kdy kongenery 28 a 52 představují více než 80 % z celkové sumy PCB, dále zastoupení kongenerů ve 13 zbývajících vzorcích z roku 2019 a také dlouhodobé podíly jednotlivých kongenerů za celé období sledování (2004–2019).

Ve vzorcích z roku 2019 se vlivem vzorku kalu 6103A navýšilo procentické zastoupení kongeneru 28 (23 %) a kongeneru 52 (15 %) oproti období 2004–2019.

V příloze 37 jsou uvedeny vzorky ČOV, u nichž došlo k překročení limitní hodnoty v období 1998–2019 (pro období 1998–2015 platila vyhláška č. 382/2001 Sb., která hodnotila sumu 6 kongenerů PCB a pro období od 2016 platí vyhláška č. 437/2016 Sb., která hodnotí sumu 7 kongenerů PCB a udává limitní hodnotu (0,6 mg.kg⁻¹ suš.). Od roku 2014 z monitorovaných kalů nepřesáhl žádný vzorek limitní hodnotu pro použití na zemědělské půdě.

Výsledky rozborů vzorků z ČOV, na nichž proběhly odběry alespoň pětikrát v období od roku 2004 do roku 2019 jsou zobrazeny v příloze 38 s tím, že do roku 2015 sumu PCB tvořilo pouze 6 kongenerů. Na většině uvedených ČOV jsou obsahy sumy PCB nízké a ke zvýšení obsahů, popř. k překročení limitu došlo pouze jednorázově; což je příklad i letošního vzorku kalu 6103A.

Závěry

- V roce 2019 byl obsah polychlorovaných bifenyly stanoven ve 14 vzorcích kalů.
- Sumy 7 kongenerů PCB v kalech kolísaly v roce 2019 v rozpětí hodnot od 22,2 do 474 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., aritmetický průměr činil 92,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. a medián 50,2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.
- V sumě 7 kongenerů PCB měly v období 2004–2019 největší zastoupení kongenery 153 (28 %) a 138 (21 %) společně s kongenerem 180 (20 %).
- Střední hodnoty obsahů PCB v kalech (vybraných ČOV) od roku 2004 klesají.
- Z odebraných vzorků kalů ČOV v roce 2019 nepřekročil žádný vzorek limitní hodnotu obsahu sumy 7 kongenerů PCB pro aplikaci kalů na zemědělskou půdu stanovenou ve vyhlášce č. 437/2016 Sb. (0,6 mg.kg^{-1} suš.)

1.4.3.3 Polycyklické aromatické uhlovodíky v kalech

Polycyklické aromatické uhlovodíky jsou ve vzorcích kalů sledovány od roku 2000. Zpočátku bylo stanovováno 15 individuálních uhlovodíků, ke kterým v roce 2006 přibyl poslední zbývající uhlovodík (acenaphtylene ANY) a od té doby je stanovováno 16 indikátorových PAH podle US EPA.

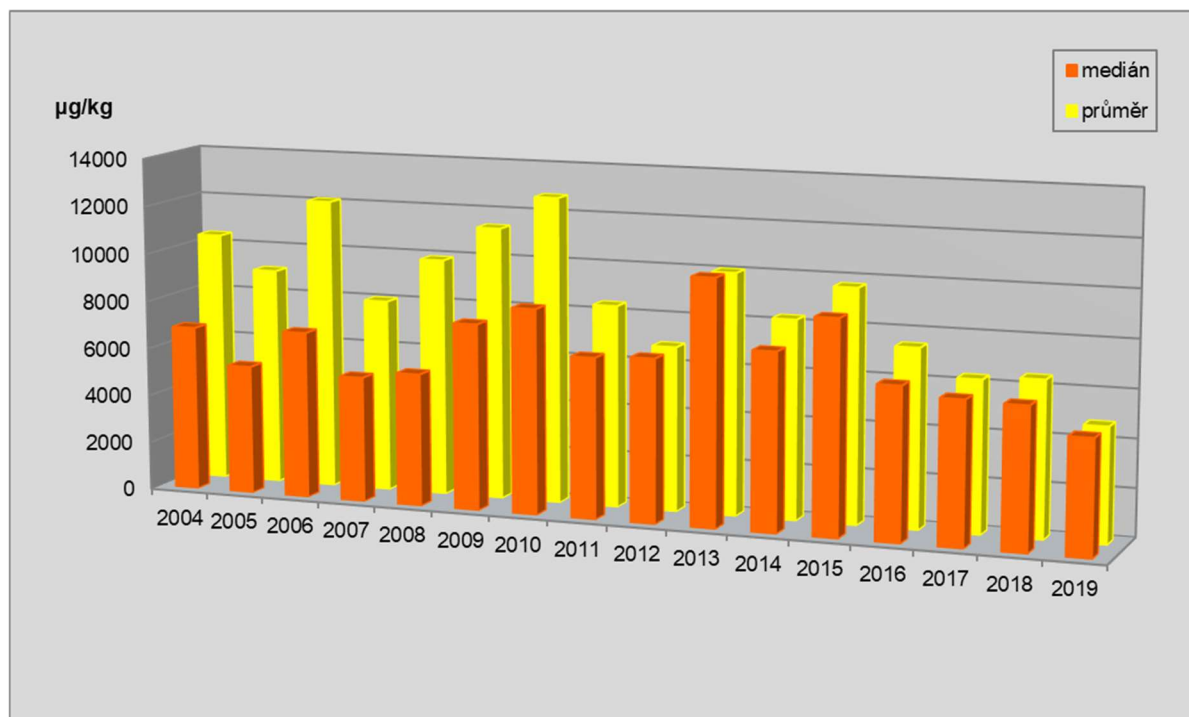
V roce 2019 byly PAH stanoveny ve 14 vzorcích kalů. Přehled obsahů všech 16 individuálních PAH a jejich sumy jsou uvedeny v příloze 39, základní statistické charakteristiky v tabulce 23. Grafické znázornění sumy 12 PAH významných z hlediska určení limitní hodnoty (podle nové vyhlášky č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě) je uvedeno v příloze 40. Do této doby bylo hodnocení prováděno podle návrhu směrnice EU k využití odpadních kalů ČOV v zemědělství, která udávala limitní hodnotu pro sumu 10 PAH (6 mg.kg^{-1}).

Tabulka 23 Základní statistické charakteristiky obsahů PAH v kalech (2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Individuální PAH	Průměr	Medián	Minimum	Maximum
NAP	375	352	126	611
ANY	37,1	10	< 20	390
ANA	44,2	39,7	< 20	102
FLU	59,2	68,4	< 4	104
PHE	416	392	103	801
ANT	45,8	45,8	5,19	110
FLT	826	882	232	1289
PYR	688	712	186	1122
BAA	332	335	107	543
CHR	335	363	91,3	558
BBF	384	407	97,4	690
BKF	192	196	44,8	347
BAP	341	352	80,8	580
DBA	33,7	35,6	< 3	72,8
BPE	350	364	77,7	610
IPY	290	302	48,3	535
SUMA16 PAH	4751	4779	1636	7689
SUMA12 PAH	4577	4678	1547	7146

Suma 16 EPA PAH se pohybuje v rozmezí $1,6\text{--}7,7 \text{ mg.kg}^{-1}$, medián souboru je $4,8 \text{ mg.kg}^{-1}$, průměrná hodnota je také $4,8 \text{ mg.kg}^{-1}$. Suma 12 PAH je v rozsahu $1,6\text{--}7,2 \text{ mg.kg}^{-1}$, průměr $4,6 \text{ mg.kg}^{-1}$, medián $4,7 \text{ mg.kg}^{-1}$. Tabulka 24 a graf 17 uvádí průběh aritmetických průměrů a mediánů obsahů PAH od roku 2004. Hodnoty mediánů vykazují od roku 2009 mírný nárůst s výjimkou roku 2019, kdy byla zjištěna jeho zatím nejnižší hodnota, což může být zapříčiněno nižším počtem odebraných vzorků v tomto roce.

Nejvyšší podíl z celkové sumy 16 PAH má fluoranten ($17,4 \%$) a pyren ($14,5 \%$). S výjimkou roku 2008 (a v případě uhlovodíku acenaften z roku 2010) je procentuální zastoupení jednotlivých uhlovodíků v sumě 16 PAH stálé (příloha 41).

Graf 17 Střední hodnoty obsahů sumy 16 PAH v kalech ČOV (2004–2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)**Tabulka 24** Aritmetický průměr a medián obsahů PAH v kalech ČOV za období 2004–2019 ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Rok	Σ 16 PAH		Σ 12 PAH	
	Průměr	Medián	Průměr	Medián
2004	10438	6865	9480	6898
2005	9042	5361	7201	4862
2006	12100	6942	10556	6794
2007	8017	5219	7767	5348
2008	9883	5511	8307	5191
2009	11338	7741	10422	7349
2010	12723	8514	10662	7841
2011	8391	6669	7688	6375
2012	6836	6791	6520	6537
2013	10024	10198	9674	9667
2014	8262	7384	7796	7115
2015	9694	8868	4950	4500
2016	7423	6341	7138	5723
2017	6299	5952	6034	5777
2018	6457	5883	6240	5644
2019	4751	4779	4577	4678
Celkový počet vzorků			438	
Počet nadlimitních vzorků (suma 12 PAH)			102	

Hodnocení obsahů PAH v kalech z hlediska jejich využití v zemědělství v současné době umožňuje vyhláška č. 437/2016 Sb., která stanovuje mezní (maximální) hodnotu koncentrace PAH v kalech 10 mg.kg⁻¹ suš. pro sumu 12 individuálních PAH (antracen, chrysen, fenantren, fluoranten, pyren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)antracen, benzo(a)pyren, benzo(ghi)perylen, indeno(123cd)pyren a naftalen). Limitní hodnotu 10 mg.kg⁻¹ nepřekročil v roce 2019 žádný vzorek kalu.

Výsledky rozborů vzorků z ČOV, na nichž proběhly odběry alespoň pětkrát v období 2004 až 2019 jsou zobrazeny v příloze 42.

Jako relativní měřítko toxického potenciálu látky byl zaveden faktor toxického ekvivalentu (Toxicity Equivalent Factor, TEF), který vztahuje relativní potenci látky na referenční hodnotu, kterou je toxický potenciál benzo(a)pyrenu (BAP) a dibenzo(a,h)antracenu (DBA) jejichž TEF je roven 1 (příloha 11), (Nisbet et LaCoy, 1992).

Celkový toxický ekvivalent směsi PAH se vyjadřuje pomocí hodnoty TTEC (Total Toxicity Equivalent Concentration), který je vypočítán jako suma součinu koncentrací jednotlivých složek směsi a příslušného TEF. Lze tedy stanovit, které z látek ve směsi se na celkové karcinogenitě podílí významně a které jsou zanedbatelné.

Toxický ekvivalent TTEC se v kalech v sumě 16 PAH v roce 2019 pohybuje v rozmezí 115–873 µg.kg⁻¹ suš. a představuje 7,0–12,2 % ze sumy 16 PAH. V případě sumy 12 PAH se pohybuje v rozmezí 113–800 µg.kg⁻¹ suš. a představuje 7,3–11,7 % ze sumy 12 PAH (tabulka 25).

Tabulka 25 Sumy obsahů 16 a 12 PAH v kalech ČOV a vyjádření jejich toxicity TTEC, 2019

Kraj	Kód ČOV	Σ 16 PAH	Σ 16 PAH (TTEC)	Procento TTEC ze Σ 16 PAH	Σ 12 PAH	Σ 12 PAH (TTEC)	Procento TTEC ze Σ 12 PAH
		µg.kg ⁻¹ suš.		%	µg.kg ⁻¹ suš.		%
Středočeský	2107A	1636	115	7,0	1547	113	7,3
	2108A	2213	194	8,8	2145	187	8,7
Plzeňský	3213A	2088	172	8,2	2032	156	7,7
	3214A	4802	584	12,2	4710	551	11,7
Ústecký	4202A	7314	796	10,9	7146	758	10,6
	4205A	4170	362	8,7	4028	347	8,6
Pardubický	5312A	5791	531	9,2	5549	505	9,1
kraj Vysočina	6102A	4756	480	10,1	4557	438	9,6
	6103A	5154	517	10,0	4960	474	9,6
	6110A	6532	744	11,4	6298	681	10,8
Jihomoravský	6211A	2915	318	10,9	2821	303	10,7
	6220A	6698	818	12,2	6571	769	11,7
Olomoucký	7106A	4755	550	11,6	4646	501	10,8
	7112A	7689	873	11,4	7064	800	11,3

Závěry

- V roce 2019 byl obsah polycyklických aromatických uhlovodíků stanoven ve 14 vzorcích kalů.
- Suma 16 EPA PAH se pohybuje v rozmezí 1,6–7,7 mg.kg⁻¹, medián souboru je 4,8 mg.kg⁻¹, průměrná hodnota je také 4,8 mg.kg⁻¹. Suma 12 PAH je rozsahu 1,6 až 7,2 mg.kg⁻¹, medián 4,7 mg.kg⁻¹, průměr 4,6 mg.kg⁻¹.
- Uhlovodíky s nejvyššími nálezy v kalech v roce 2019 jsou fluoranten (17,4 %) a pyren (14,5 %). Procentuální zastoupení jednotlivých uhlovodíků v sumě 16 EPA PAH je stále s výjimkou roku 2008 a 2010.
- Podle nové vyhlášky č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě je limitní hodnota stanovena na 10 mg.kg⁻¹ pro sumu 12 PAH. Tuto hodnotu v roce 2019 nepřekročil žádný ze 14 analyzovaných vzorků.
- Toxický ekvivalent TTEC se ve vzorcích kalů v roce 2019 pohyboval v rozmezí 115 až 873 µg.kg⁻¹ suš. a představoval 7,0–12,2 % ze sumy 16 PAH.

1.4.3.4 Halogenové organické sloučeniny v kalech

Halogenové organické sloučeniny se ve vzorcích kalů stanovují od roku 1999. Od roku 2001 byl obsah AOX legislativně ukotven ve vyhlášce č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. V nové vyhlášce č. 437/2016 Sb. je maximální hodnota koncentrace obsahu těchto látek v kalech 500 mg.kg⁻¹ suš. Stejná hodnota platila i ve vyhlášce č. 382/2001 Sb.

Od roku 2018 provádí analýzy externí laboratoř. V roce 2019 nebylo stanovení na obsah AOX v kalech provedeno z důvodu finančních úspor.

Tabulka 26 uvádí počty nadlimitních vzorků i statistické charakteristiky, které byly ve vzorcích kalů zjištěny od roku 2004 do roku 2018.

Tabulka 26 Základní statistické charakteristiky obsahů AOX v kalech 2004–2018 (mg.kg⁻¹ suš.)

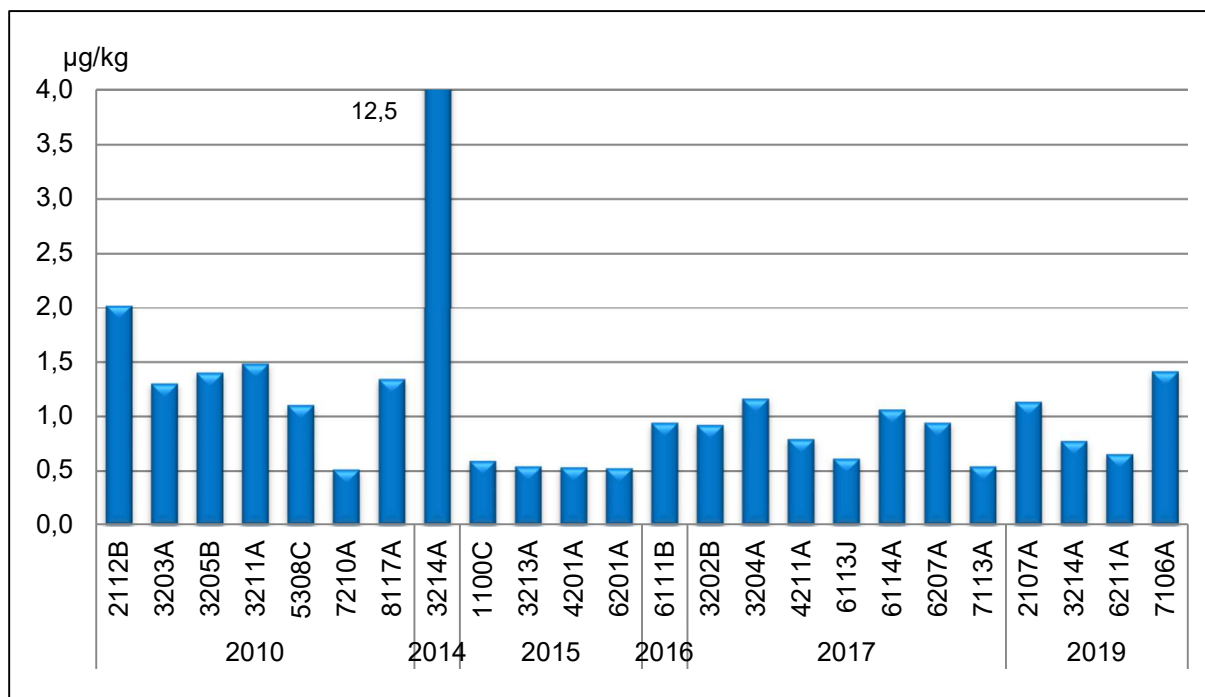
Rok	Arit. průměr	Medián	Min.	Max.	10% percent.	90% percent.	Celk. počet vzorků	Počet nadlimitních vzorků
2004	237	214	105	434	160	350	35	0
2005	289	231	129	1520	166	396	36	1
2006	236	222	115	442	168	333	35	0
2007	271	263	140	573	188	342	38	1
2008	264	236	118	558	165	367	36	1
2009	266	269	129	523	168	355	38	1
2010	246	207	131	1010	154	336	38	1
2011	265	230	157	565	168	380	21	1
2012	254	216	156	460	173	370	21	0
2013	364	273	170	2050	172	573	21	3
2014	254	217	151	577	163	421	21	1
2015	193	189	58,1	321	119	264	21	0
2016	250	243	129	430	158	369	21	0
2017	251	223	113	565	177	339	21	1
2018	250	242	138	580	176	291	21	1

1.4.3.5 Organochlorové pesticidy v kalech

Obsahy organochlorových pesticidů (HCB, látky skupiny DDT) se ve vzorcích kalů stanovují od roku 2008. Obsahy HCH se stanovují od roku 2010. V roce 2019 bylo stanovení provedeno ve 14 vzorcích. Přehled výsledků je uveden v příloze 43, grafické vyjádření v přílohách 44, 45 a 46. Základní statistika souboru je uvedena v tabulce 27 a 28.

Obsahy všech izomerů **HCH** jsou u téměř všech analyzovaných vzorků pod mezí stanovitelnosti (LOQ = 0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Výjimku tvoří izomer β -HCH, který byl detekován ve čtyřech vzorcích kalů; z toho dva vzorky (7106A z Olomouckého kraje a 2107A ze Středočeského kraje) měly nezvykle vysoké obsahy (1,41 a 1,13 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). V období 2010–2019 bylo na HCH analyzováno 220 vzorků. Z nich bylo 89 % pod mezí stanovitelnosti. Zbýlých 11 % dosahovalo obsahů od 0,51 do 12,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Extrémní hodnota 12,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. se vyskytla u kalu 3214A v roce 2014. Tento kal byl odebrán opět v roce 2019, kdy vykázal hodnotu 0,77 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (graf 18).

Graf 18 *Obsahy β -HCH v kalech ČOV, u kterých byly analyzované hodnoty vyšší než je mez stanovitelnosti (2010–2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$)*



Obsahy **HCB** v roce 2019 kolísají v rozsahu 2,05–14,2 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. (tabulka 27). Zatím nejvyšší hodnota HCB v kalu (753 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) byla zjištěna v roce 2017 za celé sledované období 2008–2019 (označena žlutě). Tato hodnota byla naměřena v kalu s identifikačním kódem 4214A a výrazně ovlivnila v roce 2017 průměrnou hodnotu (39,9 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.), přičemž průměrné obsahy HCB se v kalech většinou pohybují kolem 10 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Tento vysoký obsah neměl vliv na hodnotu mediánů, které od roku 2011 vykazují pokles.

Tabulka 27 Zákl. statistika obsahů HCH a HCB v kalech ČOV (2008–2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

OCP	rok	průměr	medián	min.	max.	počet vzorků
HCB	2008	19,7	19,1	5,71	67,7	36
	2009	11,1	9,81	1,23	47,1	38
	2010	13,1	11,4	0,50	57,4	38
	2011	7,42	5,62	1,02	20,5	21
	2012	13,9	8,04	3,92	108	21
	2013	12,0	5,87	0,50	120	21
	2014	7,80	6,20	1,18	21,8	21
	2015	3,97	3,15	0,82	20,4	21
	2016	8,59	7,99	1,59	30,6	21
	2017	39,9	3,66	0,92	753	21
	2018	4,42	2,97	< 0,50	32,2	21
	2019	4,69	3,97	2,05	14,2	14
HCH ($\alpha\beta\gamma\delta$)	2008	-	-	-	-	-
	2009	-	-	-	-	-
	2010	1,20	1,00	1,00	2,77	38
	2011	1,12	1,00	1,00	3,55	21
	2012	1,00	1,00	1,00	1,00	21
	2013	1,00	1,00	1,00	1,00	21
	2014	2,74	1,00	1,00	37,5	21
	2015	1,08	1,00	1,00	1,43	21
	2016	1,13	1,00	1,00	3,44	21
	2017	1,24	1,00	1,00	2,62	21
	2018	1,00	1,00	1,00	1,00	21
	2019	1,21	1,00	1,00	2,16	14

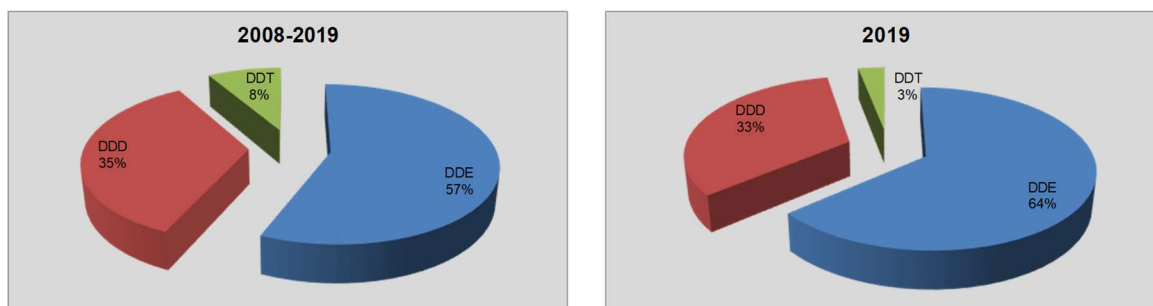
Hodnoty *látek skupiny DDT* ($\text{DDT}_{\text{total}}$) kolísají v roce 2019 v rozmezí 16,6–49,6 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., medián má hodnotu 26,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., průměr činí 28,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Suma každé jednotlivé látky (DDE, DDD, DDT) je tvořena součtem jejich o,p'- a p,p'- izomerů. Vzájemný poměr jednotlivých látek skupiny DDT obecně vzrůstá v pořadí $\text{DDT} < \text{DDD} < \text{DDE}$ (graf 19). DDE vzniká transformací DDT a DDD vzniká při výrobě DDT, nebo jako produkt mikrobiálního rozkladu DDT v půdě.

Limitní hodnoty pro obsah organochlorových pesticidů v kalech nejsou vyhláškou č. 437/2016 Sb. stanoveny.

Tabulka 28 *Zákl. statistika obsahů látek DDT v kalech ČOV (2008–2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)*

OCP	rok	průměr	medián	min.	max.	počet vzorků
DDE	2008	32,4	31,0	11,6	62,4	36
	2009	31,3	31,4	6,87	69,7	38
	2010	26,1	24,2	2,61	86,9	38
	2011	26,1	25,2	17,5	35,5	21
	2012	24,6	23,3	16,4	40,1	21
	2013	15,9	15,5	2,14	27,7	21
	2014	24,9	20,9	7,74	116	21
	2015	13,6	11,9	2,50	26,6	21
	2016	16,1	16,6	4,02	25,5	21
	2017	19,7	21,0	3,26	4,72	21
	2018	17,7	17,3	2,57	30,1	21
	2019	17,9	16,3	10,4	32,3	14
DDD	2008	20,1	17,7	4,29	52,8	36
	2009	14,7	12,5	2,66	39,2	38
	2010	18,0	12,0	< 0,50	103	38
	2011	21,3	7,66	1,51	175	21
	2012	13,9	10,9	< 0,50	54,2	21
	2013	3,03	3,01	< 0,50	6,88	21
	2014	23,9	1,80	< 0,50	430	21
	2015	5,66	3,09	< 0,50	25,2	21
	2016	14,9	13,2	2,29	59,3	21
	2017	10,4	9,52	< 0,50	25,9	21
	2018	11,4	7,86	< 0,50	37,5	21
	2019	9,29	9,84	1,92	16,8	14
DDT	2008	3,96	2,93	0,77	13,6	36
	2009	3,58	2,06	< 0,50	13,9	38
	2010	4,50	1,60	< 0,50	27,4	38
	2011	3,72	2,39	< 0,50	21,8	21
	2012	1,47	< 0,50	< 0,50	6,18	21
	2013	1,03	< 0,50	< 0,50	6,36	21
	2014	12,9	< 0,50	< 0,50	234	21
	2015	2,02	< 0,50	< 0,50	19,9	21
	2016	4,37	1,76	< 0,50	25,9	21
	2017	1,23	< 0,50	< 0,50	6,49	21
	2018	0,92	< 0,50	< 0,50	2,97	21
	2019	0,86	0,65	< 0,50	1,68	14
DDT _{total}	2008	56,5	55,2	18,4	114	36
	2009	49,6	47,4	10,0	112	38
	2010	48,7	39,4	3,61	201	38
	2011	51,1	37,5	24,4	208	21
	2012	39,9	34,7	20,0	76,0	21
	2013	20,0	19,2	4,03	31,8	21
	2014	61,6	25,6	8,90	687	21
	2015	21,3	15,9	3,50	55,4	21
	2016	35,3	32,7	7,93	77,5	21
	2017	31,4	30,6	4,26	67,5	21
	2018	30,1	30,1	3,57	64,9	21
	2019	28,1	26,4	16,6	49,6	14

Graf 19 *Poměrné zastoupení jednotlivých látek skupiny DDT na celkové sumě DDT v kalech ČOV*



Závěry

- V roce 2019 bylo provedeno stanovení OCP ve 14 vzorcích kalů.
- Obsahy HCH jsou dlouhodobě zanedbatelné. Nad mezí stanovitelnosti ($\text{LOQ} = 0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$) pouze β -izomer HCH u čtyřech vzorků.
- Obsahy HCB kolísají v rozsahu $2,05\text{--}14,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš, medián $3,97 \mu\text{g.kg}^{-1}$.
- Suma látek skupiny DDT kolísá v rozmezí $16,6\text{--}49,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., medián činí $26,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.
- Vzájemný poměr jednotlivých látek obecně vzrůstá v pořadí $\text{DDT} < \text{DDD} < \text{DDE}$.

1.4.3.6 Polybromované difenylethery v kalech

Polybromované difenylethery (PBDE) jsou látky ze skupiny bromovaných zpomalovačů/retardátorů hoření (brominated flame retardants, BFR). Tyto látky jsou součástí široké škály textilií, plastů, stavebních materiálů, elektroniky. Jejich chemická struktura je podobná chemické struktuře PCB, DDT a PBB (polybromovaných bifenyly), a proto i jejich chemické a environmentální vlastnosti jsou podobné – jedná se o hydrofobní látky (vazba na tuky, bioakumulace), v prostředí perzistentní (odolné proti chemické i biologické degradaci), toxické pro živé organismy a schopné dálkového transportu. Prokázané nálezy PBDE v lidské tukové tkáni, mateřském mléce a krvi, a vlastnosti shodné s vlastnostmi POPs vedly v roce 2009 k zařazení PBDE do seznamu látek uvedených ve Stockholmské úmluvě o perzistentních organických polutantech.

PBDE se velmi snadno sorbují na pevné částice (např. zeminu, sedimenty, prachové částice). Vdechování kontaminovaného prachu je společně s konzumací tučných ryb hlavním zdrojem PBDE pro lidský organismus. Jsou popisovány také případy transportu PBDE ze zeminy a čistírenských kalů do rostlin jako další možnost vstupu těchto látek do potravního řetězce.

V roce 2010 ÚKZÚZ poprvé přistoupil ke stanovení těchto látek v kalech metodou GC MS/MS. V témže roce byla metoda akreditována. ÚKZÚZ provádí stanovení 9 kongenerů PBDE: 28, 47, 66, 85, 99, 100, 153, 154, 183.

Od roku 2010 byl obsah 9 kongenerů PBDE stanoven vždy v 10 až 12 vzorcích kalů; ČOV se neopakují. V roce 2019 byly PBDE stanoveny ve 14 vzorcích kalů.

Obsahy jednotlivých kongenerů PBDE stanovených ve vzorcích kalů odebraných v roce 2019 jsou uvedeny v příloze 47 a grafické znázornění sumy 9 kongenerů v příloze 48. Základní statistiku obsahů sumy 9 kongenerů PBDE pro vzorky odebrané v roce 2018 a souhrnně, pro všech dosud analyzovaných 110 vzorků, shrnuje tabulka 29 a 30. Procentuální zastoupení jednotlivých kongenerů z celkové sumy PBDE je zobrazeno grafem 20.

Tabulka 29 Základní statistika obsahů PBDE v kalech ČOV (2019, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., 14 vzorků)

	BDE 28	BDE 47	BDE 66	BDE 85	BDE 99	BDE 100	BDE 153	BDE 154	BDE 183
Průměr	0,30	5,15	0,16	0,43	8,11	1,65	1,04	0,77	1,79
Medián	0,19	2,91	0,08	0,21	3,95	0,92	0,85	0,44	1,78
Minimum	< 0,10	1,12	< 0,10	< 0,10	1,26	0,25	0,26	0,17	0,69
Maximum	0,79	14,51	0,68	1,10	24,20	4,76	2,36	2,06	3,60
10. perc.	0,11	1,44	0,05	0,07	1,94	0,32	0,32	0,23	0,73
90. perc.	0,58	12,25	0,28	1,01	20,03	4,21	2,00	1,81	2,70

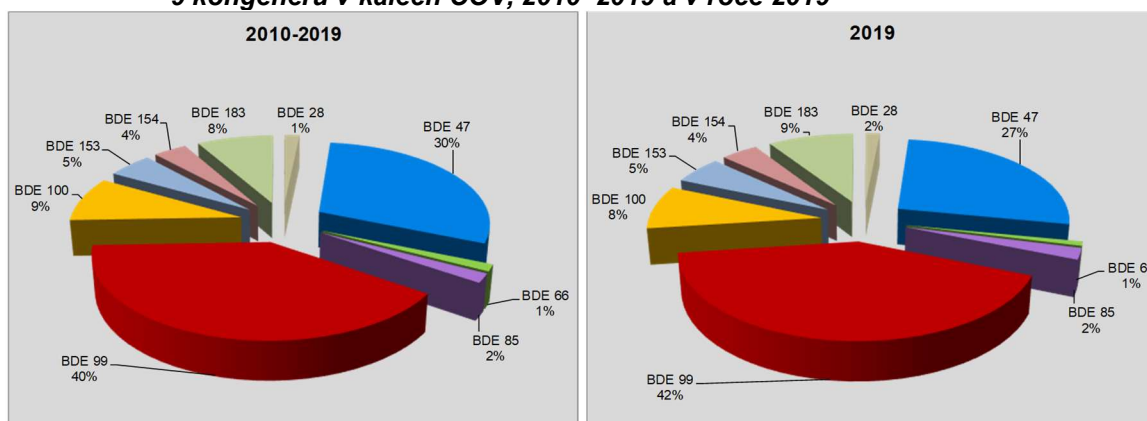
Tabulka 30 Základní statistika sumy 9 kongenerů PBDE v kalech ČOV (2010–2019, 110 vzorků, $\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Počet vzorků
2010	38,2	30,7	1,74	93,7	10
2011	45,4	33,8	15,0	112	11
2012	44,8	32,2	17,0	99,7	10
2013	29,7	28,7	9,80	54,1	11
2014	28,3	21,4	4,10	90,1	10
2015	28,6	20,9	7,60	77,8	12
2016	23,2	20,0	10,9	46,3	10
2017	30,8	28,3	3,05	68,4	12
2018	21,6	16,2	6,15	55,7	10
2019	19,4	10,7	4,14	51,6	14
2010–2019	30,7	23,9	1,74	112	110

Střední hodnota sumy 9 kongenerů PBDE ve vzorcích z roku 2019 činí $19,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., medián $10,7 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Nejvyšší obsah byl zjištěn ve vzorku z ČOV s identifikačním číslem 6110A z kraje Vysočina ($51,6 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.), nejnižší ve vzorku z ČOV 7106A z Olomouckého kraje ($4,14 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Maximální hodnoty kolísají v letech až dvojnásobně.

Největší podíl na celkové sumě 9 kongenerů PBDE mají kongenery 99 a 47 (dohromady v roce 2019 tvořily 69 %). Tyto kongenery se také nejvíce vyskytují v živých organismech. Limitní hodnota není novou vyhláškou č. 437/2016 Sb. stanovena.

Graf 20 Procentuální zastoupení jednotlivých kongenerů PBDE na celkové sumě 9 kongenerů v kalech ČOV, 2010–2019 a v roce 2019



Závěry

- V roce 2019 bylo provedeno stanovení PBDE ve 14 vzorcích kalů.
- Průměrný obsah PBDE v kalech v roce 2019 činil $19,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.; medián měl hodnotu $10,7 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., průměrný obsah za celé období sledování je $30,7 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., medián $23,9 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.
- Ve vzorcích z roku 2019 mají na sumě 9 kongenerů PBDE přibližně 2/3 podíl kongenery 99 (42 % z celkové sumy PBDE) a 47 (27 %). Tyto kongenery jsou dominantní také v celém souboru dosud analyzovaných vzorků.

1.4.3.7 Perfluoroalkylové sloučeniny v kalech

Perfluoroalkylové sloučeniny (PFAS) patří mezi perzistentní halogenované kontaminanty. Je to velká skupina synteticky vyráběných látek, které mají výjimečné fyzikální a chemické vlastnosti – jsou extrémně stabilní. Vykazují vysokou schopnost bioakumulace (ale na rozdíl od běžných perzistentních polutantů – POPs se neukládají v tukové tkáni, ale vážou se na proteinové složky tkání; ukládají se především v játrech). Mají potenciál k dálkovému transportu, jsou proto přítomny i v oblastech, kde nebyly nikdy vyráběny ani používány.

Pro uvedené vlastnosti jsou PFAS využívány při povrchové úpravě tkanin, koberec, obalových materiálů na potraviny, u ochranných nátěrů. PFAS snižují povrchové napětí a tím chrání povrchy před nečistotami – mastnotou, špínou, ale i před samotným smáčením vodou. Uplatňují se při výrobě polovodičů, jsou používány jako aditiva do hasicích pěn určených k hašení hořlavých tekutin. Dále jsou známy aplikace ve fotografickém průmyslu, lékařství, hornictví. Jsou součástí průmyslových a domácích čistících prostředků, nátěrových hmot, hydraulických kapalin pro letecký průmysl, pesticidů. Perfluorooctanová kyselina (PFOA) se také používá jako pomocné činidlo při výrobě polytetrafluorethylenu známého spíše pod názvy Teflon, Gore-Tex nebo Scotchgard.

I přes vysokou stabilitu perfluorovaných sloučenin dochází v životním prostředí k jejich (částečnému) rozkladu. PFAS podléhají degradaci na PFOA a perfluorooctansulfonát a jeho soli (PFOS), které se v současné době považují za výsledný produkt degradace PFAS, a které se již v životním prostředí dále nerozkládají.

Uvedené skutečnosti vedly v roce 2009 k zařazení PFOS na seznam zakázaných látek Stockholmské úmluvy o perzistentních organických polutantech. 17. března 2010 vydal Evropský úřad pro bezpečnost potravin (EFSA) doporučení o monitorování přítomnosti PFAS v potravinách.

ÚKZÚZ přistoupil ke stanovení obsahů vybraných PFAS ve vzorcích odpadních kalů ČOV v roce 2013. Tyto látky se stanovují v 21 vzorcích. V roce 2019 bylo stanovení provedeno u 14 vzorků kalů z ČOV.

Celkem je ve vzorcích stanovováno 6 látek:

PFHxA	perfluorohexanová kyselina
PFHpA	perfluoroheptanová kyselina
PFOA	perfluorooctanová kyselina
PFNA	perfluorononanová kyselina
PFDA	perfluorodekanová kyselina
PFOS	perfluorooctansulfonan

Detekované obsahy PFAS v jednotlivých vzorcích kalů jsou uvedeny v příloze 49 a 50. Průměrné hodnoty obsahů a rozsah stanovených hodnot uvádí tabulka 31.

Tabulka 31 Základní statistické charakteristiky vybraných perfluoroalkylových sloučenin ve 14 vzorcích kalů ČOV odebraných v roce 2019 ($\mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

	PFHxA	PFHpA	PFOA	PFNA	PFDA	PFOS
Průměr	3,46	0,13	1,00	0,54	2,74	17,3
Medián	0,16	< 0,10	0,73	0,44	2,13	2,98
Minimum	< 0,10	< 0,10	0,22	< 0,10	0,50	1,12
Maximum	33,0	0,44	2,84	1,18	7,79	200

Ve vzorcích kalů se nejnižší obsahy nalézaly u látek PFHxA, PFHpA. Jejich hodnoty často ležely pod mezí stanovitelnosti ($\text{LOQ} = 0,1 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). Nejvyšších středních hodnot

dosahoval PFDA a PFOS, přičemž maximální obsah PFOS ($200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.) se nalézal u kalu 7112A z Olomouckého kraje). Překvapivě vysoké hodnoty PFHxA vykazaly dva kaly kal 3214A – $33,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., z Plzeňského kraje a kal 5312A – $12,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. z Pardubického kraje.

Látky s nejvyšším mediánem byly: PFOA, PFDA, PFOS. Obsah PFOA ve vzorcích kalů kolísal v rozmezí $0,22\text{--}2,84 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. Rozsah obsahů PFDA činil ($0,50\text{--}7,79 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.). A obsah PFOS byl ($1,12\text{--}200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš.)

Limitní hodnoty pro obsah PFAS v kalech nejsou vyhláškou č. 437/2016 Sb. stanoveny.

Závěry

- V roce 2019 bylo provedeno stanovení PFAS ve 14 vzorcích kalů.
- S nejvyšším mediánem se ve vzorcích vyskytovaly látky: PFOA ($0,73 \mu\text{g.kg}^{-1}$), PFDA ($2,13 \mu\text{g.kg}^{-1}$) a PFOS ($2,98 \mu\text{g.kg}^{-1}$).
- Nejnižší mediány vykazaly látky: PFHxA a PFHpA.
- Maximální obsah byl nalezen u PFOS a to ve vzorku 7112A – $200 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. z Olomouckého kraje. Maximální obsah látky PFHxA byl nalezen ve vzorku 3214A – $33,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš., z Plzeňského kraje a ve vzorku 5312A – $12,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ suš. z Pardubického kraje.

1.4.3.8 Mikrobiologická stanovení v kalech

Kaly z ČOV, které vyhoví svým obsahem limitům vybraných rizikových látek a prvků musí také splnit limity mikrobiologických kritérií, aby mohly být aplikovány na zemědělskou půdu. Mikrobiologická kritéria jsou měřítkem účinnosti procesu hygienizace kalu.

Účinnost hygienizace se hodnotí především podle počtu termotolerantních koliformních bakterií, enterokoků a bakterií rodu *Salmonella* obsažených v kalu.

Obecně lze k hygienizaci kalů použít všech metod, při kterých dochází k likvidaci mikroorganismů. Základní hygienizační metody je možno rozdělit do několika skupin:

- Chemické metody – zahrnují reakci s chemickými činidly (vápno, minerální kyseliny).
- Fyzikální metody – zahrnují působení teploty, radiace, ultrazvuk apod.; v technické praxi se uplatňují zejména termické metody hygienizace kalů (termická předúprava tekutého kalu, pasteurizace kalu).
- Biotechnologické metody – jedná se o metody stabilizace kalu s určitým hygienizačním účinkem. Dosažený stupeň hygienizace kalu přitom závisí na podmínkách stabilizace kalů (dlouhodobé skladování kalu v tekutém stavu, aerobní stabilizace kalu, termofilní aerobní stabilizace kalu, mezofilní anaerobní stabilizace, termofilní anaerobní proces).
- Kombinace metod zpracování kalů a metod zaručujících dodatečný hygienizační účinek (duální systém, tepelné fázování, termická předúprava, anaerobní mezofilní stabilizace kalu, anaerobní mezofilní stabilizace kalu s následnou úpravou kalu vápnem).

Ve vyhlášce č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, jsou stanovena mikrobiologická kritéria pro použití upravených kalů na zemědělskou půdu, a to v příloze č. 4. V přechodném období (které bylo vyhláškou č. 305/2019 Sb. prodlouženo do 31. 12. 2022) lze na zemědělskou půdu použít upravené kaly kategorie I a II podle přílohy č. 7 k této vyhlášce. Od 1. 1. 2023 také pro provozovatele zařízení na úpravu kalů platí povinnost provést ověření účinnosti technologie úpravy kalů tak, aby bylo prokazatelné, že technologie úpravy je schopna účinně kaly hygienizovat na požadované snížení počtu patogenních mikroorganismů. Provozovatel bude povinen ověřovat technologii na úpravu kalů, a to na základě odebrání vzorků na vstupu do technologie a na výstupu z technologie a následného porovnání kontaminace, která nesmí překročit stanovený počet kolonií tvořících jednotku (KTJ).

Tabulka 32 Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě (příloha č. 4 k vyhlášce č. 437/2016 Sb.)

Indikátorový mikroorganismus	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu		Limitní hodnota (nález / KTJ*)
<i>Salmonella</i> spp.	Nález v 50 g	5		negativní
<i>Escherichia coli</i> nebo enterokoky	KTJ* v 1 gramu	5	4 1	< 10 ³ < 5.10 ³

*KTJ – kolonie tvořící jednotku

Tabulka 33 Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě v přechodném období 2017–2019 (příloha č. 7 k vyhlášce č. 437/2016 Sb.)

Kal kategorie I.

Indikátorový mikroorganismus	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu	Limitní hodnota (nález / KTJ*)
Salmonella spp.	nález v 1 g sušiny	5	negativní
Termotolerantní koliformní bakterie	KTJ* v 1 gramu sušiny	5	$< 10^3$
Enterokoky	KTJ* v 1 gramu sušiny	5	$< 10^3$

* KTJ – kolonie tvořící jednotku

Kal kategorie II.

Indikátorový mikroorganismus	Jednotky	Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu	Limitní hodnota (nález / KTJ*)
Termotolerantní koliformní bakterie	KTJ* v 1 gramu sušiny	5	10^3 - 10^6
Enterokoky	KTJ* v 1 gramu sušiny	5	10^3 - 10^6

* KTJ – kolonie tvořící jednotku

V roce 2019 byly screeningově stanoveny mikrobiologické parametry u čtyř ČOV. A to u kalů z Jihomoravského kraje s identifikačním číslem 6203A a 6217A, u kalu s identifikačním číslem 7107A z Olomouckého kraje a 8117A z Moravskoslezského kraje. Z každé ČOV bylo odebráno 5 individuálních vzorků, každý o hmotnosti minimálně 100 g. Vzorky byly dopraveny do laboratoře do 24 hodin od odběru. Analýzy prováděla externí laboratoř Labtech s.r.o v Brně.

Podle zjištěných výsledků analýz lze konstatovat, že ani jeden ze 4 analyzovaných kalů nevyhověl kritériím uvedeným v příloze č. 4 vyhlášky č. 437/2016 Sb. Ani jeden ze 4 analyzovaných kalů nevyhověl požadavkům pro kal kategorie I (příloha č. 7 vyhlášky č. 437/2016 Sb.). Kaly nevyhověly z hlediska vysokých obsahů termotolerantních koliformních bakterií i enterokoků. Kaly přesáhly o jeden až čtyři řády limitní hodnotu pro termotolerantní koliformní bakterie; pouze jeden vzorek kalu (8117A – 4×10^2) se nacházel pod limitní hodnotou, která je $< 10^3$. Rozsah zjištěných množství termotolerantních koliformních bakterií se pohyboval v rozpětí 4×10^2 (8117A) – $1,77 \times 10^7$ (6217A) KTJ na 1 gram sušiny. Limitní hodnota pro enterokoky byla u vzorků překročena o jeden až dva řády. Zjištěné hodnoty enterokoků byly v rozmezí $6,6 \times 10^3$ (8117A) – $2,95 \times 10^5$ (6217A) KTJ na 1 gram sušiny (limit je $< 10^3$).

Kaly 6203A a 8117A vyhověly parametrům pro kal kategorie II. Kaly 6217A a 7107A ani po započítání 40 % nejistoty měření parametrům pro kal kategorie II nevyhověly (z hlediska vysokých obsahů termotolerantních koliformních bakterií). Pro kaly této kategorie platí mírnější kritéria a lze je aplikovat na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin nebo v podzimním období na půdy určené k pěstování běžných plodin.

Tabulka 34 *Hodnocení mikrobiologických parametrů u kalů odebraných v roce 2019 podle přílohy č. 7 k vyhlášce č. 437/2016 Sb. Nadlimitní hodnoty jsou označeny červeně*

Limity pro kal kategorie I.

Indikátorový mikroorganismus	Počet zkoušených vzorků	Limitní hodnota (nález/KTJ*)	Číslo vzorku	ČOV 6203A	ČOV 6217A	ČOV 7107A	ČOV 8117A
Salmonella spp.	5	negativní	1	pozit.	negat.	negat.	negat.
			2	pozit.	negat.	negat.	negat.
			3	negat.	negat.	negat.	negat.
			4	negat.	negat.	negat.	negat.
			5	pozit.	negat.	negat.	negat.
Termotolerantní koliformní bakterie	5	< 10 ³	1	3,3x10 ⁵	8,1x10 ⁶	3,2x10 ⁶	3,2x10 ⁵
			2	4,6x10 ⁵	3,9x10 ⁶	6,9x10 ⁶	4x10 ²
			3	1,7x10 ⁵	5,3x10 ⁶	1,55x10 ⁶	1,35x10 ⁵
			4	1,32x10 ⁵	2,5x10 ⁶	9,2x10 ⁶	6,3x10 ⁴
			5	5,9x10 ⁴	1,77x10 ⁷	2,05x10 ⁶	1,05x10 ⁵
Enterokoky	5	< 10 ³	1	1,82x10 ⁴	1,52x10 ⁵	1,13x10 ⁴	2,1x10 ⁴
			2	7,7x10 ⁴	1,15x10 ⁵	1,42x10 ⁴	2,17x10 ⁴
			3	2,8x10 ⁴	8,2x10 ⁴	8x10 ³	1,56x10 ⁴
			4	2,05x10 ⁴	1,02x10 ⁵	1,69x10 ⁴	2,92x10 ⁴
			5	1,4x10 ⁴	2,95x10 ⁵	9,2x10 ³	6,6x10 ³

Limity pro kal kategorie II.

Indikátorový mikroorganismus	Počet zkoušených vzorků	Limitní hodnota (nález/KTJ*)	Číslo vzorku	ČOV 6203A	ČOV 6217A	ČOV 7107A	ČOV 8117A
Termotolerantní koliformní bakterie	5	10 ³ - 10 ⁶	1	3,3x10 ⁵	8,1x10 ⁶	3,2x10 ⁶	3,2x10 ⁵
			2	4,6x10 ⁵	3,9x10 ⁶	6,9x10 ⁶	4x10 ²
			3	1,7x10 ⁵	5,3x10 ⁶	1,55x10 ⁶	1,35x10 ⁵
			4	1,32x10 ⁵	2,5x10 ⁶	9,2x10 ⁶	6,3x10 ⁴
			5	5,9x10 ⁴	1,77x10 ⁷	2,05x10 ⁶	1,05x10 ⁵
Enterokoky	5	10 ³ - 10 ⁶	1	1,82x10 ⁴	1,52x10 ⁵	1,13x10 ⁴	2,1x10 ⁴
			2	7,7x10 ⁴	1,15x10 ⁵	1,42x10 ⁴	2,17x10 ⁴
			3	2,8x10 ⁴	8,2x10 ⁴	8x10 ³	1,56x10 ⁴
			4	2,05x10 ⁴	1,02x10 ⁵	1,69x10 ⁴	2,92x10 ⁴
			5	1,4x10 ⁴	2,95x10 ⁵	9,2x10 ³	6,6x10 ³

Závěry

- V roce 2019 bylo provedeno screeningové stanovení mikrobiologických parametrů ve čtyřech ČOV.
- Žádný z kalů nesplnil požadavky podle přílohy č. 4 vyhlášky č. 437/2016 Sb.; žádný z kalů nesplnil požadavky dle přílohy č. 7 vyhlášky č. 437/2016 Sb. pro kal I. kategorie. Vzorky ze dvou ČOV vyhověly požadavkům na kal kategorie II.
- Rozsah zjištěných hodnot pro termotolerantní bakterie se pohyboval v rozmezí 4×10^2 – $1,77 \times 10^7$ KTJ na 1 gram sušiny a pro enterokoky $6,6 \times 10^3$ – $2,95 \times 10^5$ KTJ na 1 gram sušiny.
- Vyhláška č. 305/2019 Sb. novelizovala od 1. 12. 2019 vyhlášku č. 437/2016 Sb. a prodloužila přechodné období pro hodnocení mikrobiologických parametrů v kalech podle přílohy č. 7 až do 31. 12. 2022.

1.4.3.9 Využití kalů

Způsob, jakým je většinou nakládáno s kaly z monitorovaných ČOV s udáním počtu nadlimitních vzorků podle vyhlášky č. 437/2016 Sb. shrnuje tabulka 35.

Tabulka 35 Způsoby nakládání s kaly ČOV s uvedením počtu nadlimitních vzorků podle vyhlášky č. 437/2016 Sb. v jednotlivých skupinách (2019)

Způsob zpracování upraveného kalu	Následné využití upraveného kalu	Počet monitorovaných ČOV	Počet nadlimit. vzorků
Žádné	Přímá aplikace na ZPF	17	3
Kompostování	Aplikace na ZPF	6	0
	Rekultivace	4	3
	Jiný způsob využití – bioplynová stanice	1	0
	Skládka	0	0
	Neuvedeno	1	0
Jiný způsob úpravy	Aplikace na ZPF	0	0
	Skládkování	1	0
	Rekultivace	3	1
	Neupřesněno	0	0
Neuvedeno		7	0

Ve skupině 17 kalů určených k přímé aplikaci na zemědělský půdní fond (ZPF) se vyskytly celkem 3 vzorky, ve kterých byly překročeny mezní hodnoty koncentrací prvků v kalech stanovené vyhláškou č. 437/2016 Sb., ve znění pozdějších předpisů (tabulka 35), a to Cu (2 vzorky) a Pb (1 vzorek). Kaly, které se kompostují, nemusí z hlediska obsahu rizikových prvků vyhovovat žádným legislativním limitům – v současné době jsou obsahy prvků v surovinách do kompostu upravovány pouze ČSN 46 5735 Průmyslové komposty, která není obecně závazná a má pouze doporučující charakter. Pokud bychom uvedených 12 vzorků kalů použitých ke kompostování hodnotili podle této normy, potom by požadavkům na kvalitu suroviny (na obsah prvků v sušině) nevyhověl 1 vzorek na obsah olova.

V tabulce 36 je uvedena průměrná hodnota obsahů rizikových prvků, které byly zjištěny v kalech spadajících do jednotlivých kategorií; graficky jsou tyto průměrné obsahy zobrazeny pro vybraných 8 rizikových prvků (graf 21).

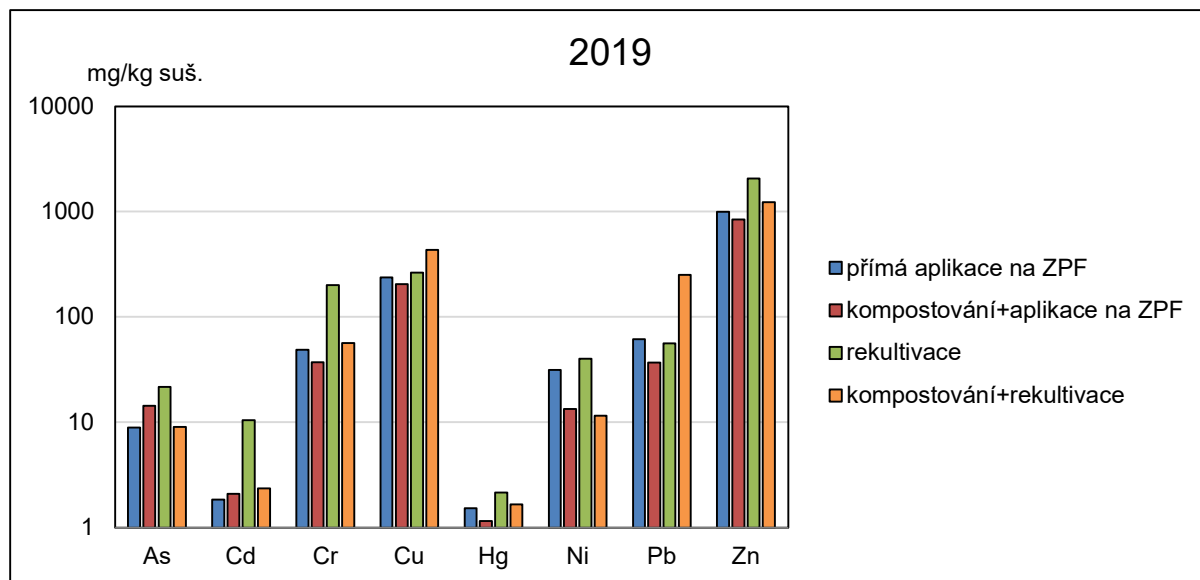
Tabulka 36 Průměrné hodnoty obsahů rizikových prvků ve čtyřech skupinách kalů ČOV rozdělených podle způsobu nakládání s kaly ČOV (2019)

Následné využití upraveného kalu	Počet vzorků	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	V	Zn
Přímá aplikace	17	8,88	0,46	1,84	9,74	48,6	238	1,53	5,32	31,5	61,5	26,6	993
Kompostování + aplikace na ZPF	6	14,3	0,37	2,09	7,41	37,0	204	1,15	6,76	13,3	36,9	25,6	844
Kompostování + rekultivace	4	9,01	1,16	2,36	7,68	56,3	433	1,66	6,67	11,6	250	29,2	1223
Jiný způsob úpravy + rekultivace	3	21,7	0,75	10,5	20,0	200	264	2,15	34,8	40,1	55,9	30,4	2062

Z grafu 21 vyplývá, že průměrné obsahy většiny vybraných rizikových prvků jsou nižší v případě kalů, které jsou určeny na přímé použití na ZPF oproti kalům používaným na rekultivaci. V případě vzorků kalů, které jsou nejprve kompostovány a pak aplikovány na ZPF, vyšly obsahy šesti z osmi rizikových prvků (Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) nižší než u vzorků kalů, které na kompostování před aplikací na ZPF určeny nebyly. Rovněž tak kaly, které byly určeny

ke kompostování a poté na rekultivaci, vykazaly rovněž šest prvků z osmi (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Zn) nižší než u kalů, které na kompostování před rekultivací určeny nebyly.

Graf 21 *Průměrné obsahy vybraných 8 rizikových prvků v kalech v jednotlivých skupinách nakládání s kaly ČOV v roce 2019 (logaritmické měřítko)*



1.4.4 Hodnocení rybníčních sedimentů

Ladislav Kubík

Sediment z vodního toku či vodní nádrže (rybníku) vzniká prostou sedimentací (usazováním) erodovaných pevných částic, které jsou přirozeně unášeny vodou. Při poklesu rychlosti proudění, a to jak rozšířením profilu, poklesem spádu toku nebo zvětšením hloubky vodoteče, dochází k přirozené sedimentaci unášených částic. Vzniklý materiál může mít povahu šterkopísků a písků v proudných úsecích toků, nebo až jílovitohlinitých až jílovitých substrátů v rybnících. Jde o přirozený děj, který je urychlován antropogenními zásahy do krajiny. Surový sediment vykazuje značný podíl zvodnění až do 80 %, může obsahovat různé látky a cizorodé předměty v závislosti na struktuře zemědělské a průmyslové výroby v povodí.

Důvodem kumulace sedimentů a zanášení dna jsou nadále přetrvávající splachy zemědělské půdy z okolí rybníků, vodních děl a toků. Nevhodné hospodaření v povodí způsobuje nadměrnou erozi, pronikání a usazování rizikových prvků a látek v rybnících a tocích. V České republice vykazuje třetina rybníků nadměrné zatížení sedimenty. Sedimenty jsou ve velkých objemech do rybníků transportovány podle charakteru a stavu říční sítě a hospodářské činnosti v povodí a způsobují velmi rychlé zanášení méně proudných úseků povrchových vod.

Důsledkem ukládání sedimentů je postupné omezování až znemožňování vodohospodářských, biologických a ekologických funkcí vodních nádrží a toků. Celkové množství sedimentů je ve vodních nádržích ČR odhadováno na 197 mil. m³, v drobných vodních tocích a závlahových kanálech na 5 mil m³ a v odvodňovacích kanálech 0,8 mil m³. Tato množství značně zmenšují objem akumulace vody a snižují i míru ochrany krajiny proti povodním.

Po novele č. 223/2015 Sb. zákona o odpadech č. 185/2001 jsou sedimenty opět odpadem. Přímé použití sedimentů na zemědělský půdní fond není zakázáno a řídí se zvláštními právními předpisy - zákonem č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů, zákonem o hnojivech č. 156/1998 Sb. ve znění pozdějších předpisů a ustanoveními vyhlášky č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě.

Rozhodujícím ukazatelem pro možnost využití sedimentů je míra kontaminace rizikovými prvky a organickými polutanty ve vztahu k vyhlášce č. 257/2009 Sb. Pro využití sedimentů k aplikaci na zemědělskou půdu je důležitá i "hnojivá" hodnota sedimentů, tzn. zrnitostní složení, podíl organické hmoty, pH a obsah živin. Zrnitostní složení sedimentů může být značně rozdílné, což vyplývá ze zákonitostí sedimentačních procesů. S variabilitou zrnitostního složení sedimentů do značné míry koreluje i jejich chemické složení. Látky organické i anorganické povahy jsou poutány především na povrchu nejjemnějších půdních částic splavených z orniční vrstvy zemědělské půdy. Jako vhodný ukazatel pro hodnocení jejich přínosu k zúrodnění půd se jeví přístupný obsah živin, který je používán pro hodnocení úrodnosti v rámci Agrochemického zkoušení zemědělských půd, proto ve vzorcích byla zjišťována výměnná půdní reakce sedimentů (pH/CaCl₂) a obsah základních živin P, K, Ca a Mg podle Mehlicha 3.

Tabulka 37 Sedimenty – základní statistické parametry – zrnitost, spalitelné látky, pH a obsahy živin (1995–2019)

	zrnitost (% částic < 0,01 mm)	spalitelné. látky (% sušiny)	pH/CaCl ₂	přístupné živiny v mg.kg ⁻¹ (Mehlich 3)			
				P	K	Mg	Ca
Průměr	31,44	9,25	5,88	38,8	212	341	4206
Medián	32,00	8,10	5,70	24,8	188	306	2570
Min.	2,00	0,50	2,80	1,00	8,70	7,10	261
Max.	73,70	97,90	7,80	287	1070	1640	38100
Poč. vz.	248	490	524	487	488	488	487

Tabulka 38 Sedimenty – základní statistické parametry – obsahy rizikových prvků (1995–2019)

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg ¹	Ni	Pb	V	Zn
	mg.kg ⁻¹ sušiny (extrakce lučavkou královskou)										
Průměr	12,3	1,24	11,5	12,8	54,1	30,5	0,13	35,0	48,5	49,9	151
Medián	8,09	1,14	0,44	12,5	47,5	24,4	0,10	32,0	26,3	47,4	113
Min.	0,75	0,15	0,05	1,03	1,75	1,20	0,01	1,15	2,50	4,00	6,32
Max.	274	7,16	1660	59,7	439	1250	1,85	452	3350	163	2010
Poč. vz.	568	425	576	522	577	575	579	574	569	420	577
Limit	30	5	1	30	200	100	0,8	80	100	180	300

¹ obsah Hg je stanoven jako celkový obsah**Tabulka 39 Sedimenty – základní statistické parametry – obsahy PCB (2002–2019), DDT, HCH, HCB (2007–2019), PAH (2009–2019) a C10-C40 (2016–2019)**

	PCB ¹	PAH ²	DDT ³	HCH ⁴	HCB	C10-C40
	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	μg.kg ⁻¹	μg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
Průměr	0,011	4,93	0,035	1,00	1,34	83,3
Medián	0,005	1,93	0,017	1,00	0,81	57,4
Min.	0,001	0,03	0,002	1,00	0,25	10,0
Max.	0,136	50,3	0,353	1,29	8,28	944
Poč. vz.	99	62	67	60,00	67,00	81
Limit	0,2	6	0,1	-	-	300

¹ suma 7 kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)² suma 12 PAH³ suma DDT včetně metabolitů⁴ suma 4 izomerů HCH (α, β, γ, δ)**Tabulka 40 Sedimenty – průměrné hodnoty sledovaných parametrů (zrnitost, spalitelné látky, pH a obsahy živin) – celkový průměr, vodní toky, polní, návesní a lesní rybníky a vodní nádrže (1995–2019)**

	zrnitost (% částic < 0,01 mm)	spalitelné. látky (% sušiny)	pH/CaCl ₂	přístupné živiny v mg.kg ⁻¹ (Mehlich 3)			
				P	K	Mg	Ca
Celkový průměr	31,4	9,25	5,88	38,7	212	341	4206
Vodní tok	23,4	8,66	6,11	68,4	209	328	4704
Polní rybník	32,1	8,40	5,88	35,4	196	350	3767
Návesní rybník	30,3	10,1	5,99	43,0	271	352	5343
Lesní rybník	35,8	11,9	5,31	26,5	154	277	3140
Vodní nádrže	41,6	5,90	6,69	48,6	168	282	4866

Tabulka 41 *Sedimenty – průměrné hodnoty sledovaných parametrů (rizikové prvky) – celkový průměr, vodní toky, polní, návesní a lesní rybníky a vodní nádrže (1995–2019)*

	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg ¹	Ni	Pb	V	Zn
	mg.kg ⁻¹ sušiny (extrakce lučavkou královskou)										
Celkový průměr	12,2	1,24	11,5	12,8	54,1	30,5	0,13	35,0	48,5	49,9	151
Vodní tok	15,5	1,08	0,86	11,3	52,5	78,5	0,18	30,0	46,3	42,6	220
Polní rybník	12,8	1,22	20,9	12,4	53,0	25,1	0,10	33,1	33,9	50,0	123
Návesní rybník	12,4	1,18	0,66	14,6	58,2	35,0	0,16	41,2	85,5	55,4	210
Lesní rybník	7,80	1,56	0,69	10,9	47,6	21,2	0,13	28,8	27,1	43,8	104
Vodní nádrže	7,15	0,97	0,32	13,4	68,9	27,9	0,14	51,3	21,7	44,9	103

¹ obsah Hg je stanoven jako celkový obsah

Tabulka 42 *Sedimenty – základní statistické parametry – obsahy PCB (2002–2019), DDT, HCH, HCB (2007–2019), PAH (2009–2019) a C10-C40 (2016–2019) – celkový průměr, vodní toky, polní, návesní a lesní rybníky a vodní nádrže*

	PCB ¹	PAH ²	DDT ³	HCH ⁴	HCB	C10-C40
	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	μg.kg ⁻¹	μg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹
Celkový průměr	0,011	4,93	0,035	1,00	1,34	83,3
Vodní toky	0,016	26,5	0,029	1,00	3,33	211
Polní rybníky	0,010	2,04	0,014	1,00	0,65	59,4
Návesní rybníky	0,010	6,60	0,064	1,01	2,03	112
Lesní rybníky	0,020	1,38	0,029	1,00	0,46	38,8
Vodní nádrže	0,003	–	–	–	–	–

¹ suma 7 kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)

² suma 12 PAH

³ suma DDT včetně metabolitů

⁴ suma 4 izomerů HCH (α, β, γ, δ)

Od roku 1995 do konce roku 2019 bylo odebráno a zanalyzováno celkem 582 vzorků sedimentů. Jednotlivé sedimenty jsou rozděleny do kategorií – z uvedeného počtu je 314 rybníků polních, 169 rybníků návesních (tato klasifikace vyplynula z postupného hodnocení výsledků, kdy návesní rybníky vykazovaly častěji vyšší hodnoty zjišťovaných živin a hlavně rizikových prvků a látek), dále je v souboru 61 rybníků lesních, 31 sedimentů z toků a 7 sedimentů z vodních nádrží.

Protože převaha rozborů byla v minulosti prováděna na základě objednávek projektantů, nebo přímo vlastníků jednotlivých nádrží, byl rozsah stanovení převážně podřizován jejich požadavkům, takže často byly prováděny pouze rozborů na obsah rizikových prvků (zhruba v polovině případů nebyla zjišťována „hnojivá hodnota“ sedimentů). Přesný počet jednotlivých stanovení je vždy uveden ve statistickém zhodnocení každé sledované hodnoty (tabulky 37, 38, 39 a přílohy 51, 52).

Tabulka 43 Sedimenty – počty a procenta vzorků překračující limitní hodnoty – celkem, vodní toky, polní, návesní, lesní rybníky a vodní nádrže (1995–2019) – vyhláška č. 257/2009 Sb.

		As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg ¹	Ni	Pb	V	Zn	PCB ²	PAH ³	DDT ⁴	C10–C40
Celkem	poč. vz.	568	425	576	522	577	575	579	574	569	420	577	99	62	67	81
	počet nadlim.	29	2	96	5	3	4	3	12	20	0	47	0	12	5	2
	% nadlim.	5,1	0,5	16,7	1,0	0,5	0,7	0,5	2,1	3,5	0,0	8,1	0,0	19,4	7,5	2,5
Vodní toky	poč. vz.	31	29	31	31	31	31	31	31	29	29	31	7	3	5	8
	počet nadlim.	3	0	9	0	0	1	0	0	1	0	5	0	2	0	1
	% nadlim.	9,7	0,0	29,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	3,4	0,0	16,1	0	66,7	0	12,5
Polní rybníky	poč. vz.	305	227	309	279	312	310	311	309	309	227	312	46	29	30	44
	počet nadlim.	15	1	43	1	2	1	0	5	10	0	17	0	2	0	0
	% nadlim.	4,9	0,4	13,9	0,4	0,6	0,3	0,0	1,6	3,2	0,0	5,4	0	6,9	0	0
Návesní rybníky	poč. vz.	165	107	169	147	166	166	169	166	164	102	166	37	24	25	18
	počet nadlim.	11	0	34	4	1	2	3	7	9	0	23	0	8	5	1
	% nadlim.	6,7	0,0	20,1	2,7	0,6	1,2	1,8	4,2	5,5	0,0	13,9	0	33,3	20,0	5,6
Lesní rybníky	poč. vz.	60	55	60	58	61	61	61	61	60	55	61	8	6	7	11
	počet nadlim.	0	1	10	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	% nadlim.	0,0	1,8	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0	0	0	0
Vodní nádrže	poč. vz.	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	1	0	0	0
	počet nadlim.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	% nadlim.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

¹ obsah Hg je stanoven jako celkový obsah

² suma 7 kongenerů PCB (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)

³ suma 12 PAH

⁴ suma DDT včetně metabolitů

Základní charakteristiky jednotlivých kategorií rybníků a obsahy rizikových prvků

Sedimenty **vodních toků** (tabulka 40) jsou hlavně hrubší zrnitosti, podle Novákovy klasifikační stupnice půdních druhů by patřily mezi písčitohlinité půdy, jejich pH je v převážně slabě kyselé. Mají nejnížší průměrný obsah spalitelných látek (organické hmoty), a nízké průměrné obsahy přístupných živin kromě Ca a P, jejichž hodnoty jsou nadprůměrné až vysoce nadprůměrné. Z rizikových prvků (tabulka 41) mají dlouhodobě nadprůměrné obsahy As, Cu, Hg a Zn.

Polní a návesní rybníky (tabulka 40) jsou převážně střední zrnitosti, podle Novákovy klasifikační stupnice půdních druhů by patřily mezi hlinité půdy, s pH většinou v oblasti kyselé a slabě kyselé. Návesní rybníky mají lehce vyšší průměrné obsahy spalitelných látek (organické hmoty), obsahy spalitelných látek u polních rybníků jsou naopak lehce nižší než celkový průměr. Obsahy přístupných živin u polních rybníků vykazují průměrné až nižší hodnoty, zatímco obsahy živin u návesních rybníků jsou průměrné až nadprůměrné (P, Ca). Sedimenty návesních rybníků mají zpravidla vyšší průměrné obsahy všech rizikových prvků než ostatní kategorie rybníků (tabulka 41), nejmarkantnější je to zejména u Pb a Zn, naopak obsahy Cd jsou hluboce pod celkovým průměrem. Sedimenty polních rybníků mají v průměru nejvyšší obsahy Cd a vyšší obsahy As. Obsahy ostatních prvků v polních rybnících se shodují s celkovými průměry nebo jsou nižší.

Sedimenty **lesních rybníků** (tabulka 40) jsou zrnitostně těžší než předchozí druhy sedimentů, podle Novákovy klasifikační stupnice půdních druhů by patřily mezi hlinité půdy. Mají vysoký podíl jemných částic zejména organického původu, dosahují také nejvyšších

průměrných obsahů spalitelných látek (organické hmoty), avšak jejich výměnné pH patří k nejnižším a stejně tak i obsahy přístupných živin (P, K, Mg, Ca) stanovených v Mehlichu 3. Z rizikových prvků (tabulka 41) v porovnání s celkovými průměry má nadprůměrné obsahy Be, ostatní rizikové prvky vykazují nižší nebo podobné hodnoty vůči celkovým průměrům.

Sedimenty **vodních nádrží** (tabulka 40) obsahují ze všech sledovaných kategorií největší procento jemných částic, podle Novákovi klasifikační stupnice půdních druhů by patřily mezi hlinité půdy. Obsahy spalitelných látek jsou v průměru nízké, hodnoty pH jsou spíše neutrální. Obsahy živin se pohybují kolem celkových průměrů až na obsahy Ca, které jsou výrazně vyšší. Vyšší průměrné obsahy z rizikových prvků (tabulka 41) mají Co, Cr, Hg, a Ni, obsahy ostatních prvků jsou nižší nebo shodné s celkovým průměrem.

Obsahy rizikových látek (PCB, PAH, DDT, HCH, HCB a uhlovodíky C10-C40)

V letech 2002–2019 byly stanoveny obsahy PCB v 95 vzorcích sedimentů, v 67 vzorcích byly stanoveny obsahy organochlorových pesticidů (HCH, HCB, látek skupiny DDT), dále pak v 62 vzorcích sedimentů stanoveny obsahy 12 PAH a v 81 vzorcích stanoveny obsahy C10-C40. Konkrétní hodnoty a grafy jednotlivých parametrů jsou uvedeny v příloze 54.

Sedimenty **vodních toků** (tabulka 42) mají průměrné obsahy PCB vyšší a průměrné obsahy PAH až výrazně vyšší, než je celkový průměr. Hodnoty PAH jsou však stanoveny pouze u tří vzorků sedimentů vodních toků, z nich dva vzorky s vysokými obsahy PAH jsou odebrány z jednoho místa (Pustějovský potok) v časovém rozestupu 6 let (příloha 54). Také průměrné hodnoty HCB jsou v porovnání s celkovým průměrem dvojnásobné. Průměrné obsahy DDT se pohybují lehce pod celkovým průměrem a hodnoty HCH jsou pod mezí stanovitelnosti. Obsahy C10-C40 jsou nejvyšší ze všech sledovaných kategorií.

Polní rybníky (tabulka 42) mají průměrné obsahy rizikových látek v porovnání s celkovými průměry většinou nižší nebo srovnatelné. U **návesních rybníků** jsou průměrné obsahy PAH, DDT, HCH, HCB a C10-C40 vyšší než celkový průměr, naopak průměrné obsahy PCB nedosahují celkového průměru.

Sedimenty **lesních rybníků** (tabulka 42) mají průměrné obsahy rizikových látek v porovnání s celkovými průměry nižší nebo srovnatelné, výjimkou jsou obsahy PCB, které jsou celkově nejvyšší ze všech kategorií sedimentů.

Vodní nádrže nejsou výrazně zastoupeny v analýzách na rizikové látky, z celkového počtu 7 vzorků pouze jeden byl analyzován na PCB (tabulka 42), obsah PCB v sedimentu byl hluboce pod průměrnou hodnotou.

Vzájemný poměr jednotlivých metabolitů skupiny DDT a 12 sledovaných PAH v sedimentech ukazují grafy 22 a 23. Z metabolitů DDT převládá DDD (47 %), následuje DDE (36 %) a poslední je DDT (17 %). U PAH je ve vzorcích sedimentů nejvíce zastoupen fluoranten (FLT – 20 %), následuje pyren (PYR – 16 %), dále pak shodně chrysen, benzo(b)fluoranten a benzo(a)pyren (CHR, BBF, BAP – 9 %). Dlouhodobě se poměry metabolitů pro obě látky mění jen nepatrně.

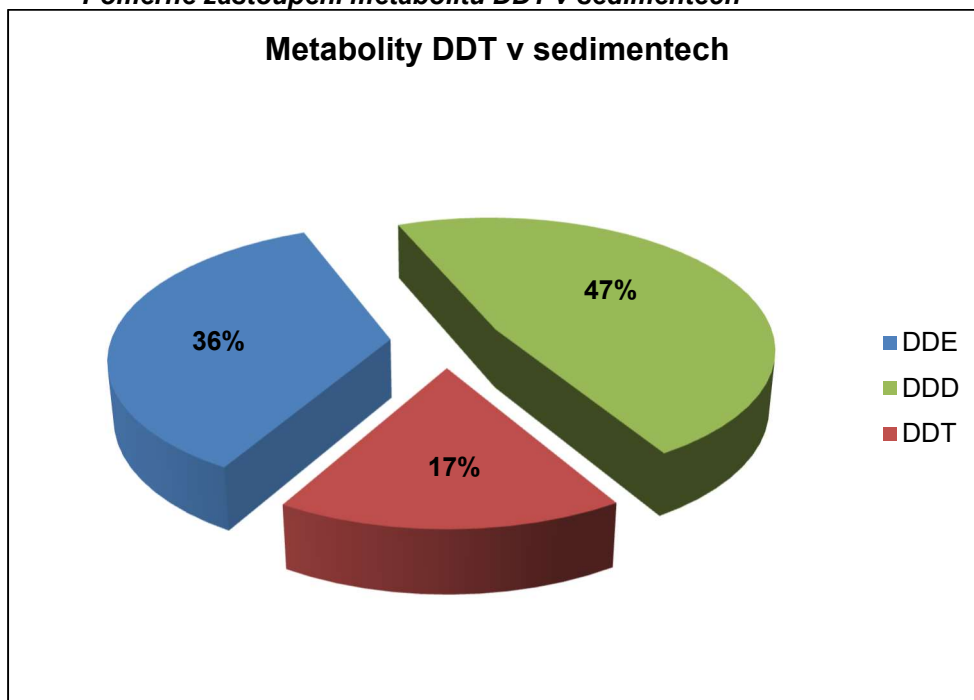
Mediány sledovaných parametrů pro všechny kategorie sedimentů jsou graficky uvedeny v přílohách 51–53.

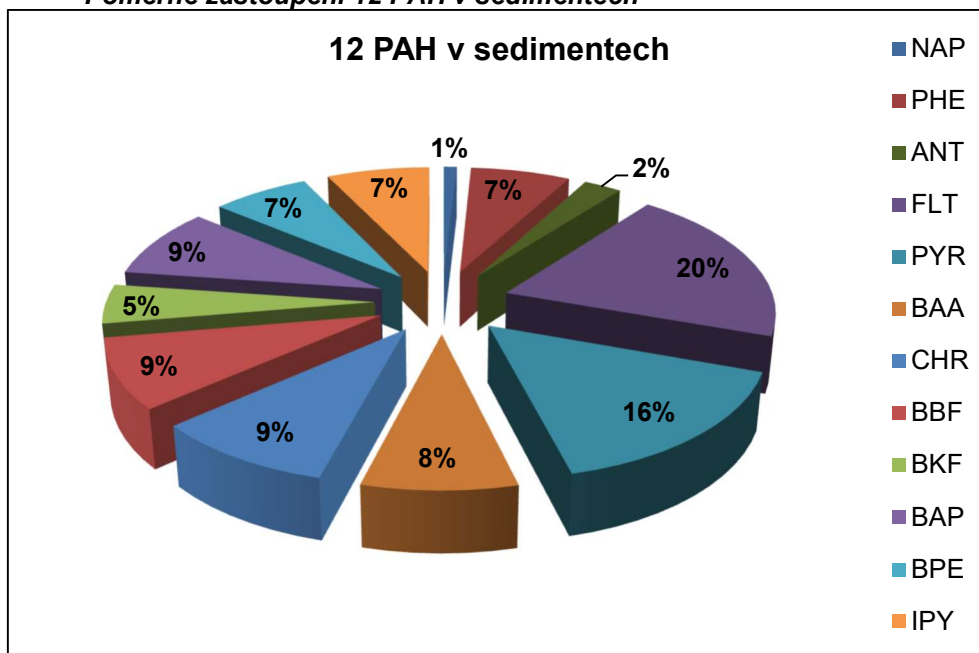
V tabulce 43 jsou prezentovány počty a procenta vzorků překračující limitní hodnoty uvedené ve vyhlášce č. 257/2009 Sb. Za celé sledované období překročilo limitní hodnoty celkem 212 vzorků sedimentů. Nejčastěji překračovaným rizikovým prvkem je Cd (16,5 %) následuje Zn (8,1 %) a As (4,2 %). Vodní nádrže zatím nemají žádný vzorek, který by překračoval limitní

hodnoty. Z ostatních kategorií lesní rybníky mají celkem nejméně vzorků (10) překračujících limitní hodnoty. Problematickými prvky pro lesní rybníky jsou Cd (14 %) a Be (1,9 %). V počtu překročených limitních hodnot pro rizikové prvky následují vodní toky (19), nejčastěji je překračována limitní hodnoty pro Cd (34,6 %), následuje Zn (19,2 %) a As (11,5 %). Polní (93) a návesní (90) rybníky mají téměř stejný počet nadlimitních vzorků. U všech sledovaných skupin rybníků, tak jako i u toků, je problematickým rizikovým prvkem Cd, dalším je Zn. Limitní hodnoty pro PCB dosud nepřekročil žádný vzorek, limitní hodnoty pro PAH překročilo celkem 12 vzorků, z toho nejvíce u návesních rybníků (8); limitní hodnoty DDT překročily 4 vzorky, všechny z kategorie návesních rybníků. Limitní hodnotu pro C10-C40 překročily 2 vzorky – jeden z vodního toku, který limitní hodnotu překročil více než trojnásobně (944 mg.kg^{-1}) a jeden z návesního rybníku.

V roce 2019 byly odběry vzorků prováděny pouze pracovníky ÚKZÚZ ze sedimentárních částí vypuštěných rybníků nebo ze složišť vytěžených sedimentů, jak rybníčních, tak i říčních. V minulých letech byly některé vzorky dodány přímo zákazníkem. V současné době jsou již vzorky odebírány podle metodického pokynu „Sledování rybníčních a říčních sedimentů“ v platném znění.

Graf 22 *Poměrné zastoupení metabolitů DDT v sedimentech*



Graf 23 Poměrné zastoupení 12 PAH v sedimentech

Závěry

- Z uvedených výsledků vyplývá značná variabilita sedimentů ve všech zjišťovaných parametrech, která je závislá na charakteru povodí.
- Zrnitostně sedimenty zahrnují prakticky všechny kategorie podle Novákovy klasifikační stupnice pro půdy, přičemž více než polovinu tvoří sedimenty „středně těžké“. Do určité míry je zrnitost odrazem charakteru půd v povodí jednotlivých rybníků.
- Pro zemědělskou půdu je významný obsah organické hmoty, která je základem pro tvorbu humusu. V sedimentech je obsah organické hmoty stanoven jako spalitelné látky. Jejich obsah ovšem rovněž silně kolísá v závislosti na kategorii sedimentu, nejvyšších hodnot dosahují lesní rybníky, po nich následují návesní a polní rybníky, vodní toky a nejméně spalitelných látek se nachází ve vodních nádržích. Medián obsahu spalitelných látek se dlouhodobě pohybuje kolem 8 % sušiny.
- pH sedimentů se nachází u většiny vzorků v oblasti kyselé až slabě kyselé, kyselá reakce byla zjištěna u 52 % sedimentů, neutrální u 33 % a zásaditá u 15 %. Předpokládá se, že po vytěžení a provzdušnění sedimentu může dojít k poklesu pH a k jeho následnému okyselení.
- Obsah přístupných živin podle kritérií pro hodnocení orných půd se v procesu sedimentace mění oproti obsahům v půdách v povodí; prokazují se především nižší obsahy fosforu oproti obsahům zjišťovaným v průměru u orných půd, obsahy draslíku a vápníku jsou podobné obsahům v půdách, naopak obsah hořčíku je jedenapůlkrát vyšší.
- Obsah rizikových prvků hodnocených podle vyhlášky č. 257/2009 Sb. (extrakt lučavkou královskou) ukazuje na nejčastější kontaminaci kadmíem (Cd) – 96 vzorků (16,7 %),

zinkem (Zn) – 47 vzorků (8,1 %) a arsenem – 29 vzorků (5,1 %). Nejvyšší počet nadlimitních vzorků mají rybníky návesní (108) následují polní rybníky (97), vodní toky (22), lesní rybníky (13) a vodní nádrže (0).

- Vzorky testované na PCB dosud nepřekročily limitní hodnotu danou vyhláškou. Limitní hodnota pro obsah DDT v sedimentu byla překročena u 5 vzorků a to pouze u sedimentů z návesních rybníků. Limitní hodnota pro PAH byla překročena u 12 vzorků z toho dvakrát u toku, dvakrát u polního rybníku a osmkrát u návesního rybníku. Limitní hodnota pro C10–C40 byla překročena dvakrát, jednou vzorkem z návesního rybníky a jednou vzorkem z vodního toku (944 mg.kg⁻¹), který ji trojnásobně překročil.

1.5 CITOVANÉ ZDROJE

Balík, J.; Černý, J.; Tlustoš, P.; Sýkora, K.; Štípek, K. Výživa a hnojení ozimé řepky sírou. In *Sborník z konference „Racionální použití průmyslových hnojiv“*. ČZU, Praha, **2001**.

Bielek, P. *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*; VÚPÚ, Bratislava, **1998**. ISBN 80-85361-44-2

Fecenko, J.; Ložek, O. *Výživa a hnojenie poľných plodín*; SPU, Nitra, **2000**. ISBN 80-7137-777-5

Maliszewska-Kordybach, B.; Smreczak, B.; Klimkiewicz-Pawlas, B. Effects of anthropopressure and soil properties on the accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the upper layer of soils in selected regions of Poland. *Appl. Geochem.* **2009**, 24, 1918–1926.

Nisbet, I. C.; LaGoy, P. K. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regul. Toxicol. Pharmacol.* **1992**, 3, 290–300.

Richter, R.; Hlušek, J. *Výživa a hnojení rostlin*; VŠZ, Brno, 1994.

Thiele S.; Brümmer, G. W. Bioformation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil under oxygen deficient conditions. *Soil Biol. Biochem.* **2002**, 34 (5), 733–735.

2. Výsledky analýzy krmiv odebraných v rámci cílené kontroly a monitoringu

Jiří Fiala

V roce 2019 prováděl Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský sledování cizorodých zakázaných a nežádoucích látek a produktů v krmivech na základě zjištění v předchozích letech, doporučení Komise k monitoringu a podle dalších právních předpisů. Vzorky odebírali pracovníci Odboru zemědělské inspekce a analyzovány byly v akreditovaných laboratořích ústavu nebo smluvních laboratořích.

Sledování bylo rozděleno do čtyř hlavních částí:

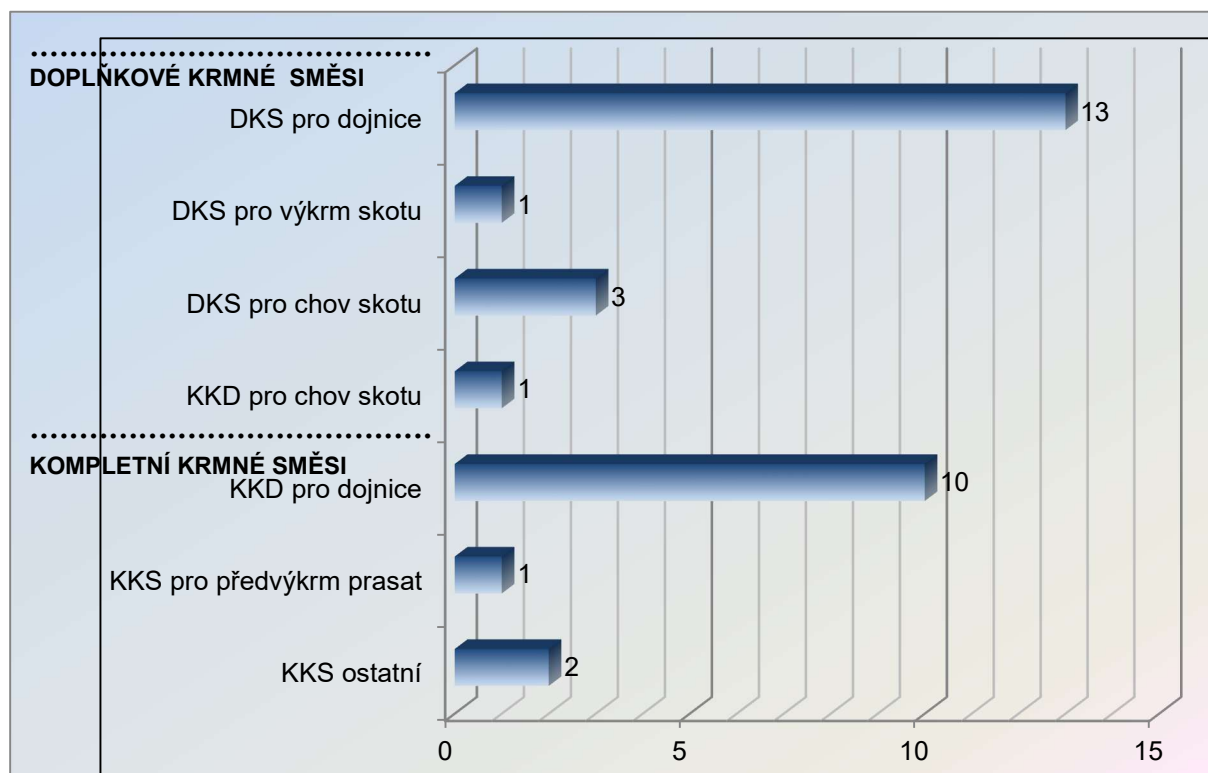
- Sledování výskytu zakázaných látek a produktů v krmivech
- Sledování výskytu nežádoucích látek a produktů v krmivech
- Sledování správného používání doplňkových látek v krmivech
- Sledování dalších problematik, týkajících se bezpečnosti a kvality krmiv

2.1 Sledování zakázaných látek

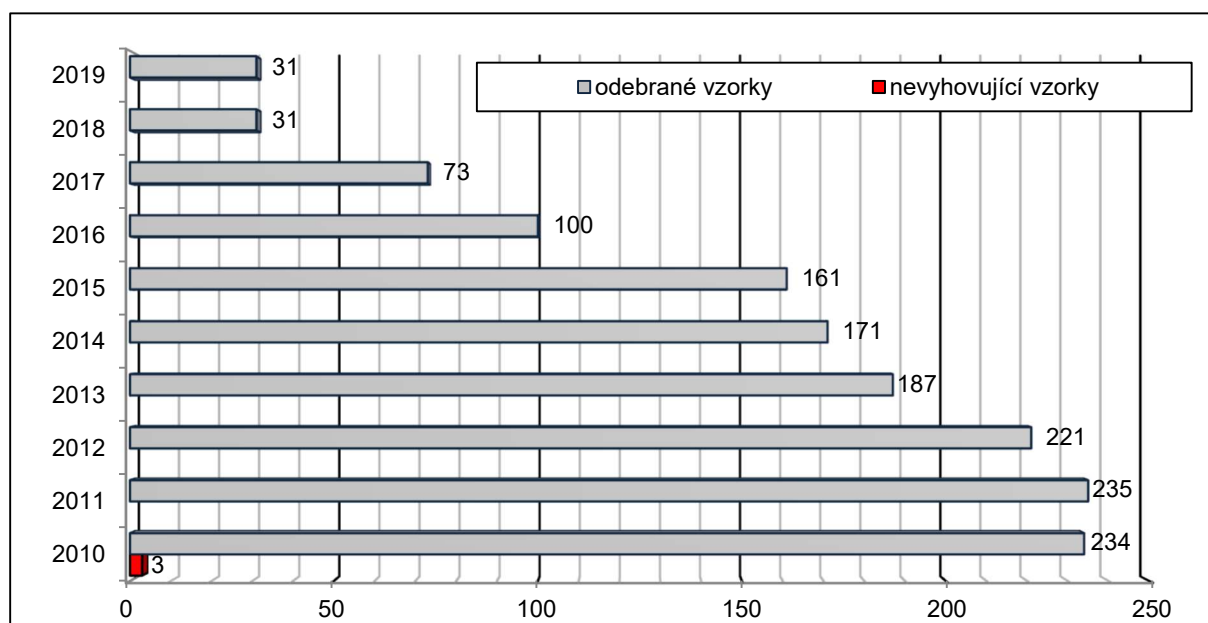
2.1.1 Cílená kontrola přítomnosti zpracovaných živočišných bílkovin v krmivech

Kontrola je zaměřená na možnou kontaminaci krmiv zpracovanými živočišnými bílkovinami (PAP). V roce 2019 bylo takto prověřeno 31 vzorků krmiv převážně pro přežvýkavce. Přítomnost nepovolených zpracovaných živočišných bílkovin nebyla v žádném vzorku zjištěna.

Graf 24 Počty krmiv analyzovaných na přítomnost zpracovaných živočišných bílkovin (PAP) v roce 2019



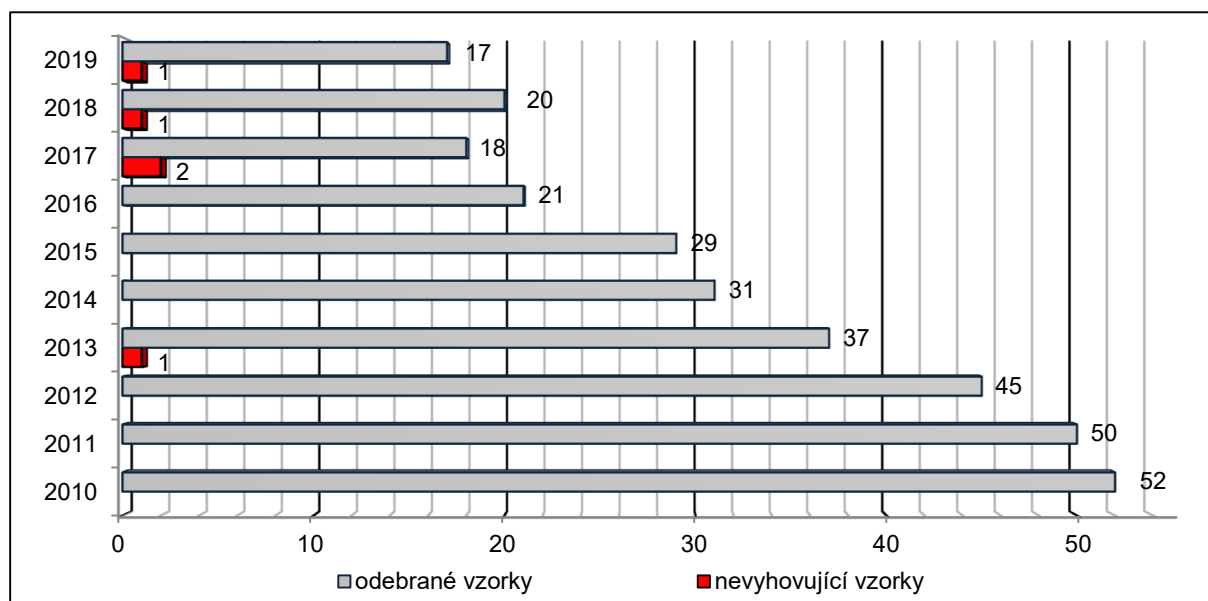
Graf 25 Počet odebraných a nevyhovujících vzorků v rámci cílené kontroly PAP v letech 2010–2019



2.1.2 Cílená kontrola rybí moučky mikroskopicky na přítomnost cizích příměsí

Cílem kontroly je zachytit přítomnost cizích příměsí nebo tkání suchozemských živočichů v rybí moučce, také v souvislosti s povolením používat rybí moučku do mléčných krmných směsí pro přežvýkavce. Pro mikroskopické posouzení bylo odebráno 17 vzorků krmiv. Jeden vzorek rybí moučky byl posouzen jako nevyhovující, s přítomností částic kostí savců. Metodou PCR byla v pozitivním vzorku potvrzena přítomnost DNA prasete.

Graf 26 Počet analyzovaných vzorků v rámci cílené kontroly tkání v rybí moučce v letech 2010–2019

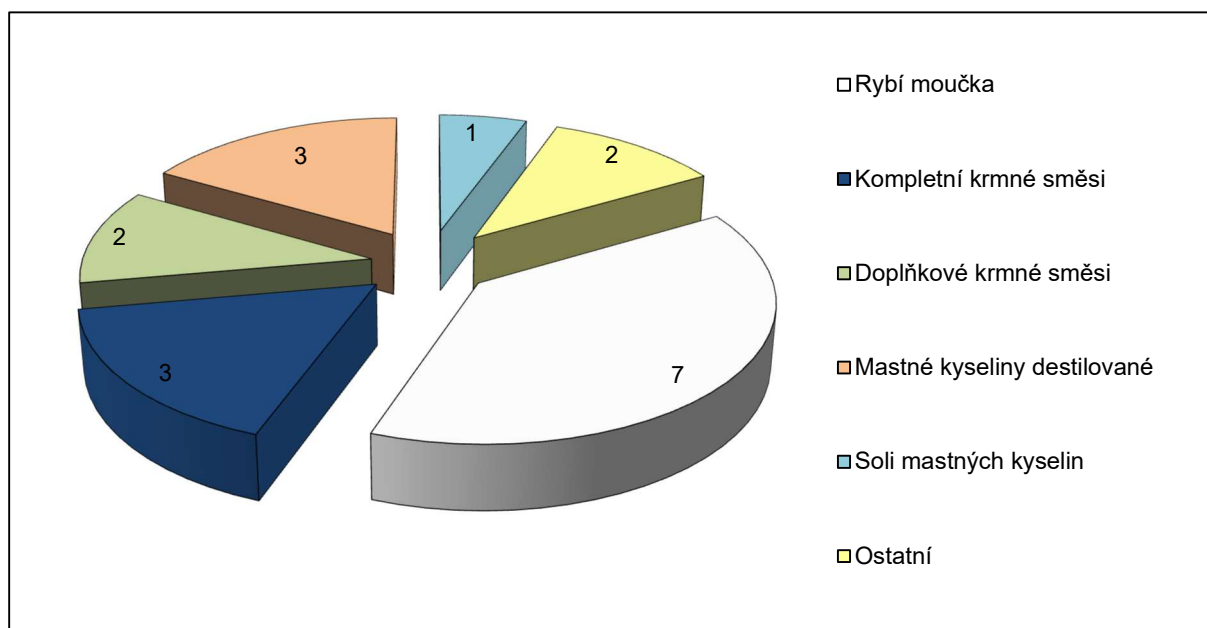


2.2 Sledování nežádoucích látek

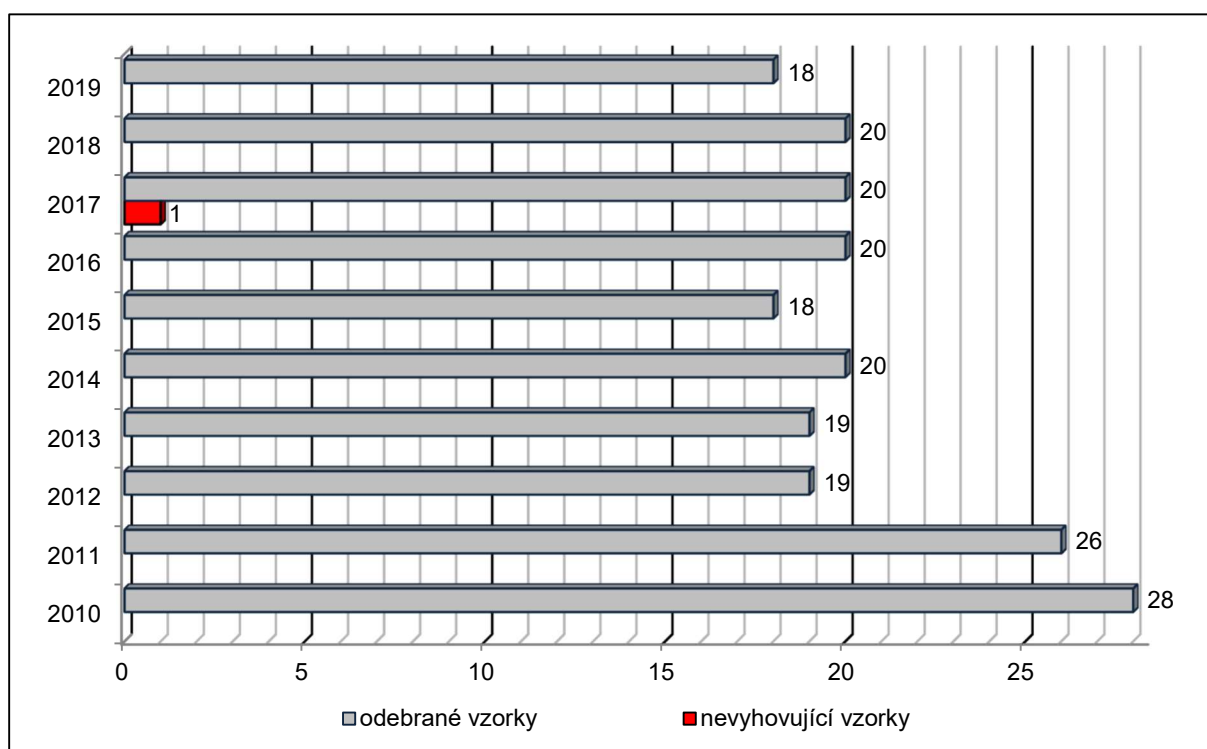
2.2.1 Monitoring vybraných perzistentních organických polutantů (POP)

V rámci kontroly bylo analyzováno 18 vzorků krmiv, krmných surovin a doplňkových látek. PCB byly sledovány zároveň s dioxiny, aby bylo možné posoudit expozici zvířete všem těmto toxinům. Naměřené hodnoty byly velmi nízké, obvykle pod mezí detekce $0,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$. Všechny vzorky byly vyhodnoceny jako vyhovující.

Graf 27 Zastoupení vzorků v rámci cílené kontroly vybraných perzistentních org. polutantů (POP)



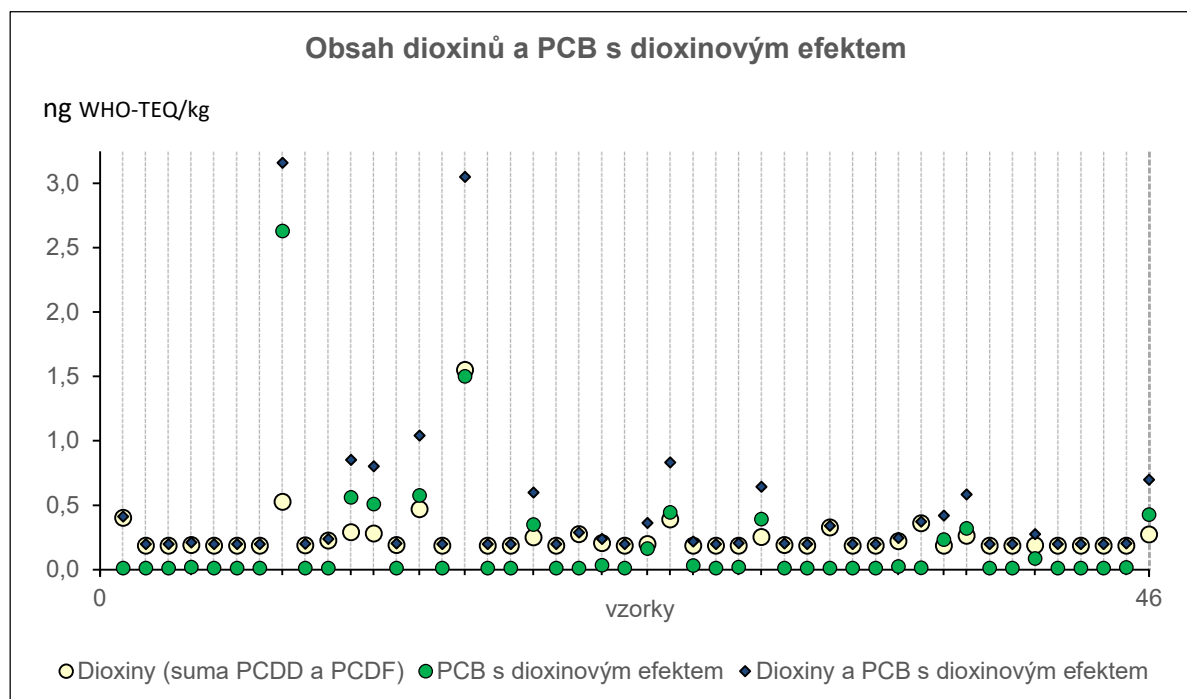
Graf 28 Počet odebraných vzorků krmiv v rámci cílené kontroly POP ve 2010–2019



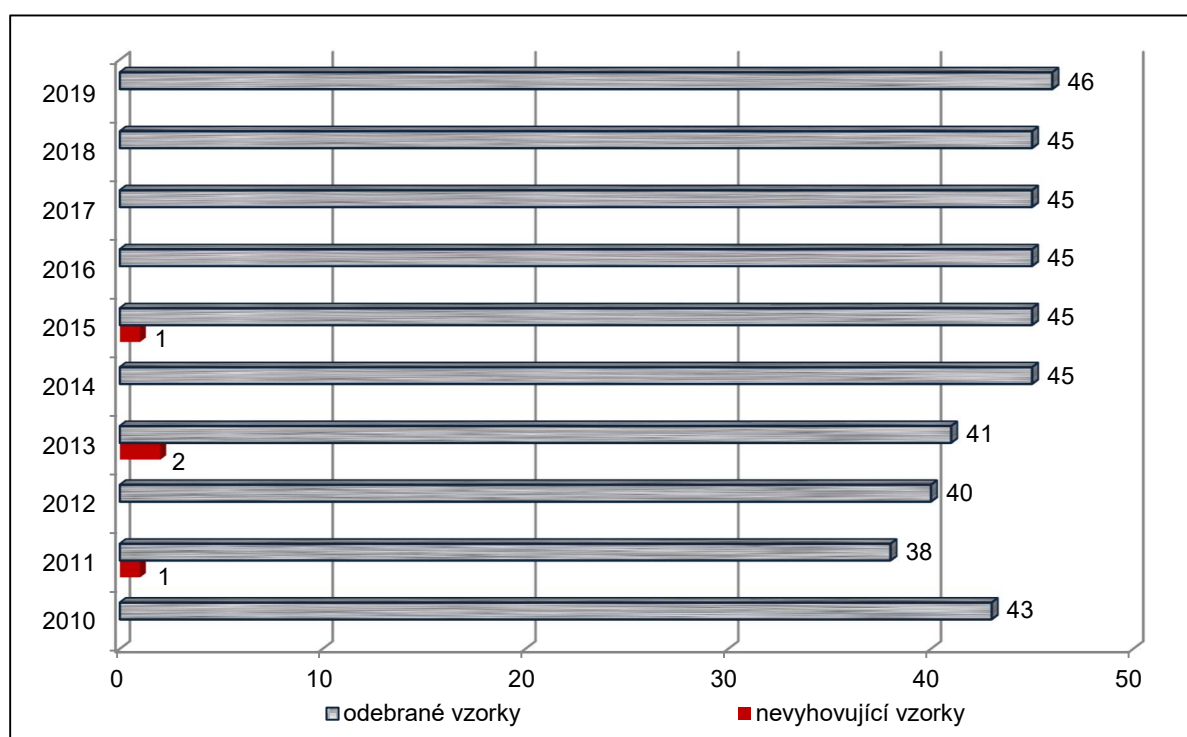
2.2.2 Cílená kontrola dioxinů, furanů a PCB dioxinového typu

V rámci cílené kontroly bylo analyzováno celkem 46 vzorků, zejména minerálních krmiv, rybí moučky, doplňkových krmných směsí a krmných surovin. Stanovené limity se pohybují od 0,75 do 6 ng WHO-TEQ.kg⁻¹ pro dioxiny a od 1,25 do 24 ng WHO-TEQ.kg⁻¹ pro sumu dioxinů a PCB. Všechny vzorky vyhověly platným limitům sledovaných látek.

Graf 29 Zjištěné obsahy dioxinů a PCB s dioxinovým efektem v krmivech



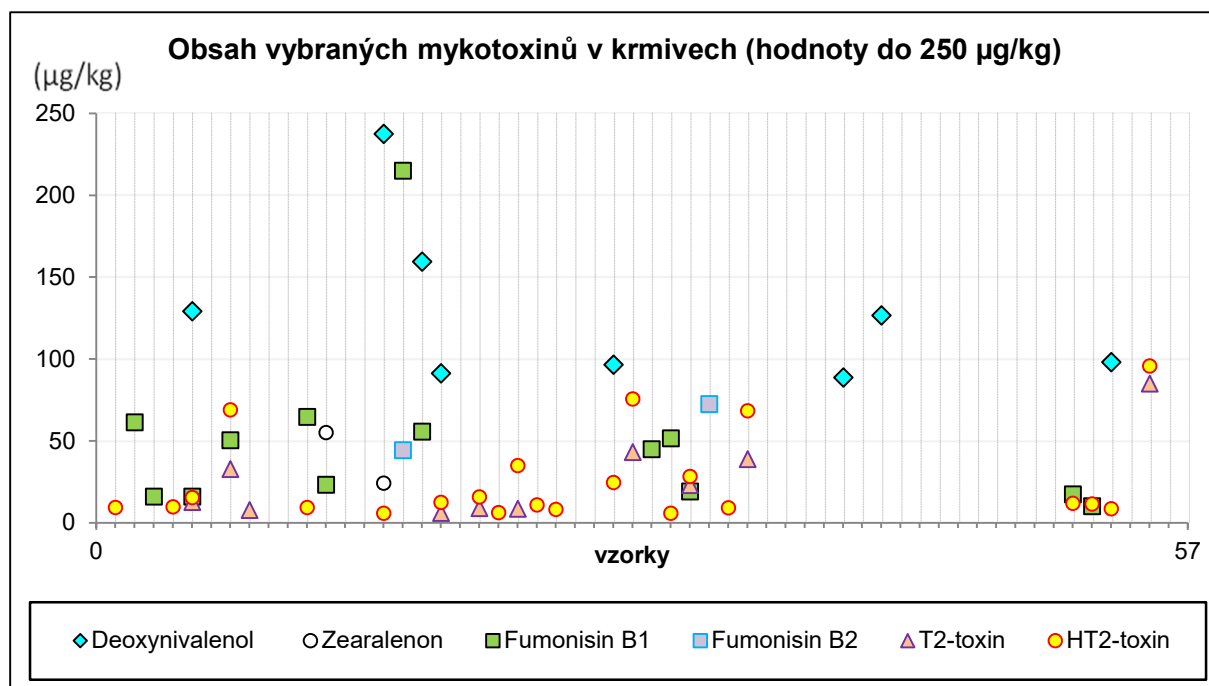
Graf 30 Počet odebraných a nevyhovujících vzorků v rámci cílené kontroly obsahu dioxinů 2010–2019



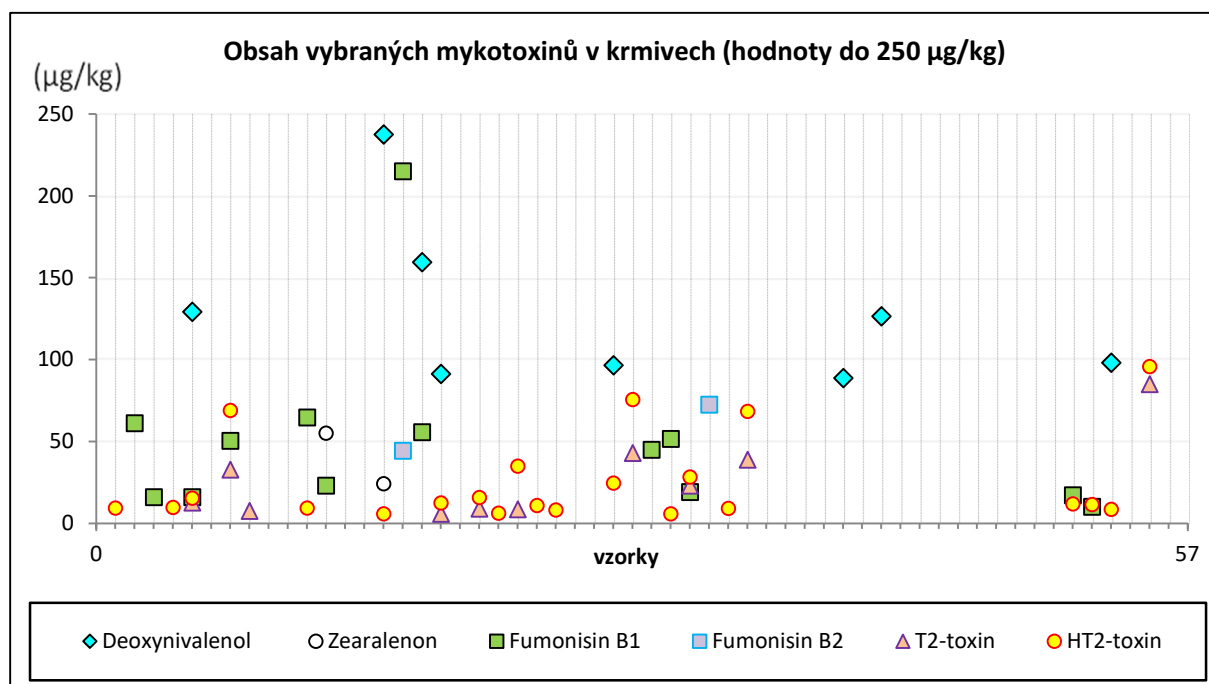
2.2.3 Monitoring mykotoxinů

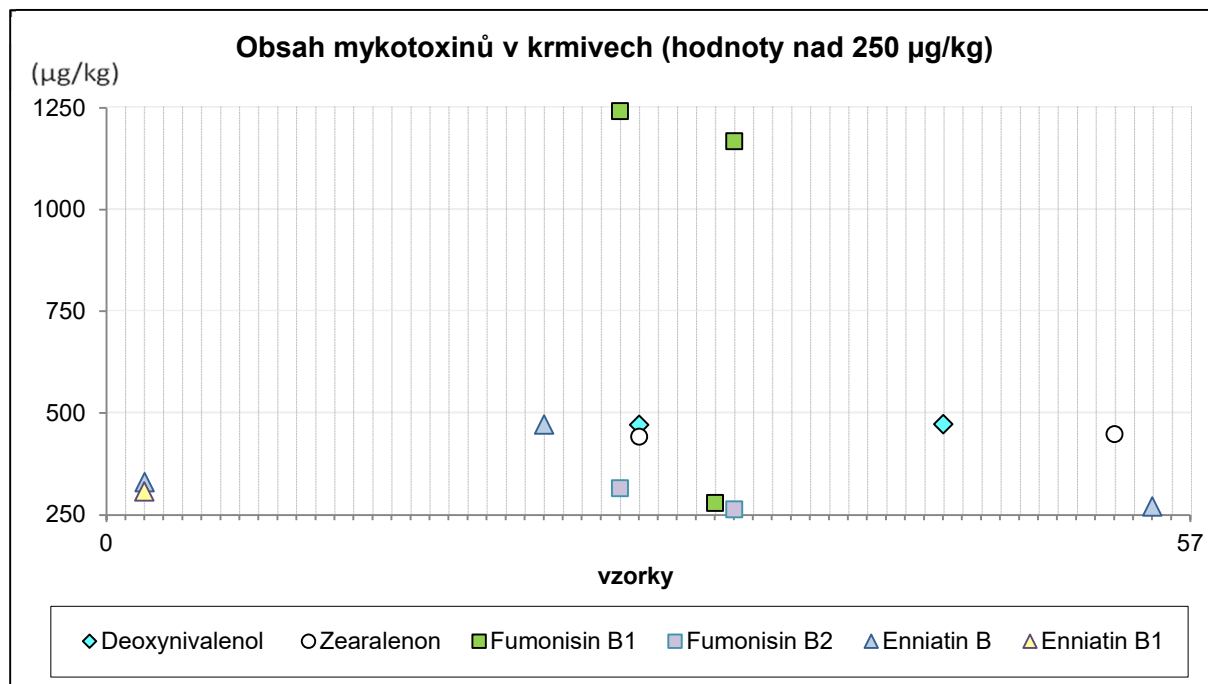
V rámci této kontroly se zjišťuje přítomnost aflatoxinů B₁, B₂, G₁ a G₂, zearalenonu, ochratoxinu A, fumonisinů B₁ a B₂, deoxynivalenolu, T-2 a HT-2 toxinu, beauvericinu, enniatinů A, A₁, B, B₁ a nivalenolu. Bylo odebráno 57 vzorků převážně krmných surovin. Překročení maximálního limitu ani doporučených směrných hodnot obsahu mykotoxinů nebylo zjištěno u žádného vzorku, 1 vzorek kukuřice však nevyhověl přítomností pachu plísně.

Graf 31 Zjištěné obsahy vybraných mykotoxinů (hodnoty nad mezí detekce) do 250 $\mu\text{g.kg}^{-1}$



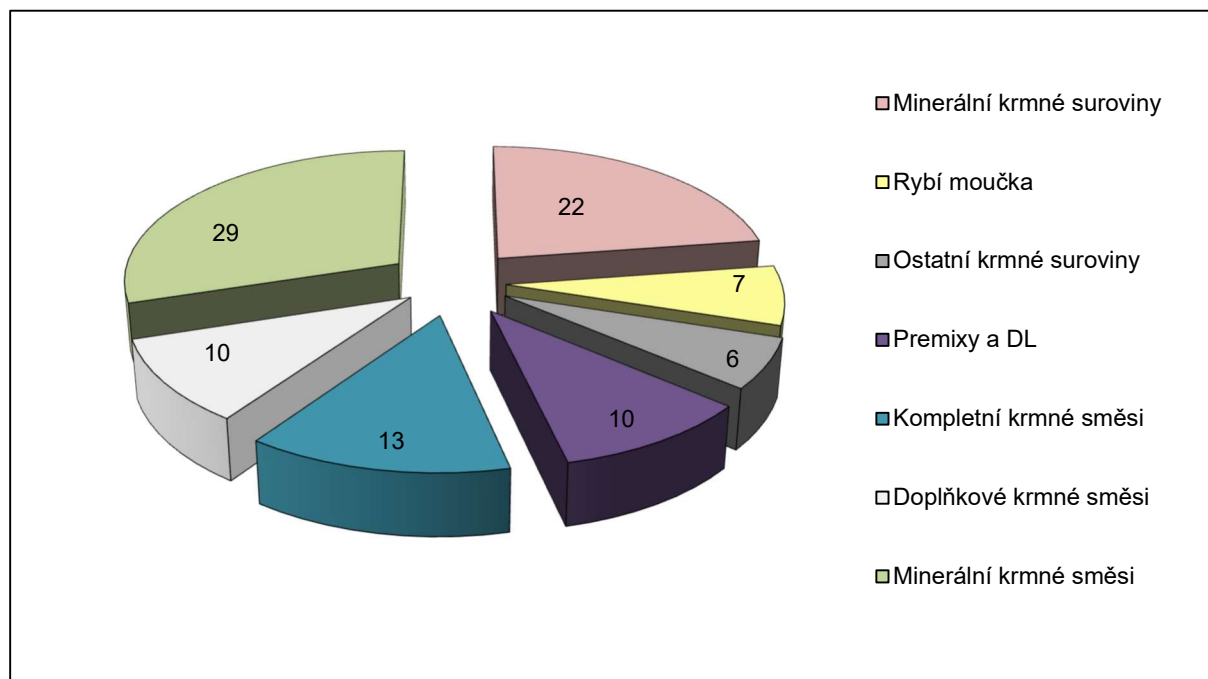
Graf 32 Zjištěné obsahy vybraných mykotoxinů (hodnoty nad mezí detekce) do 250 $\mu\text{g.kg}^{-1}$

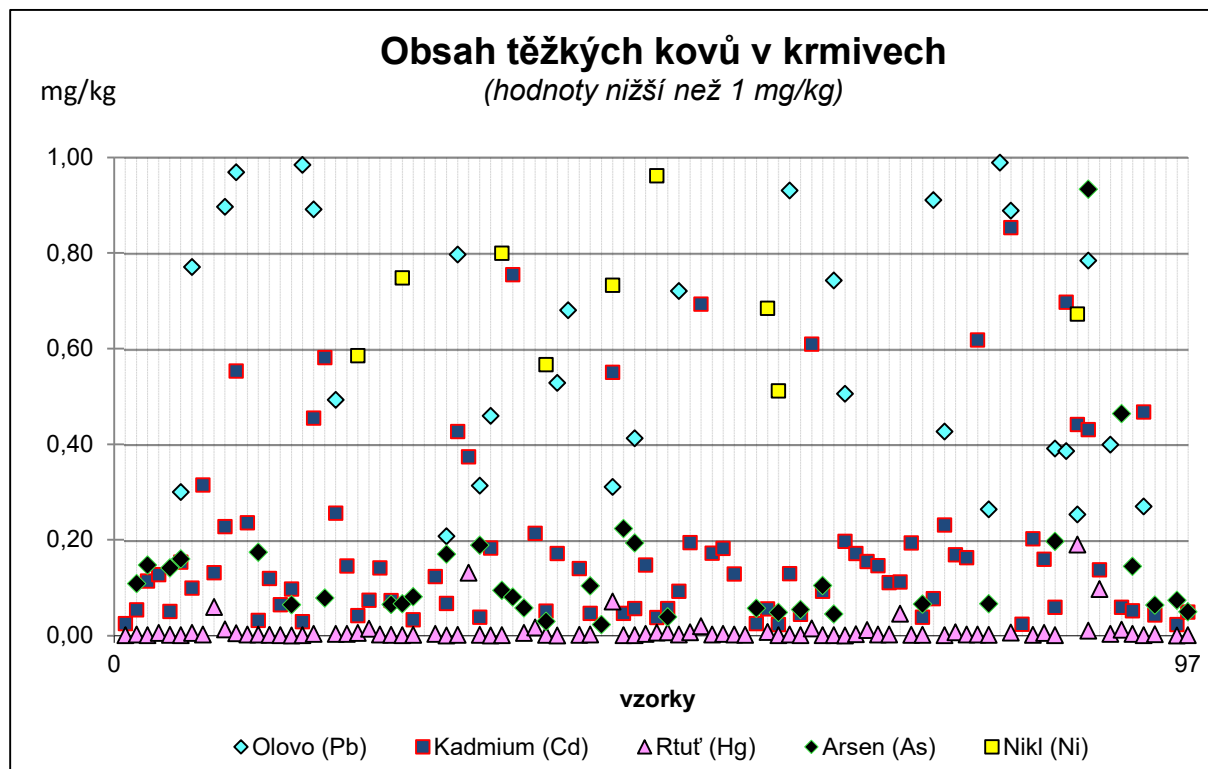
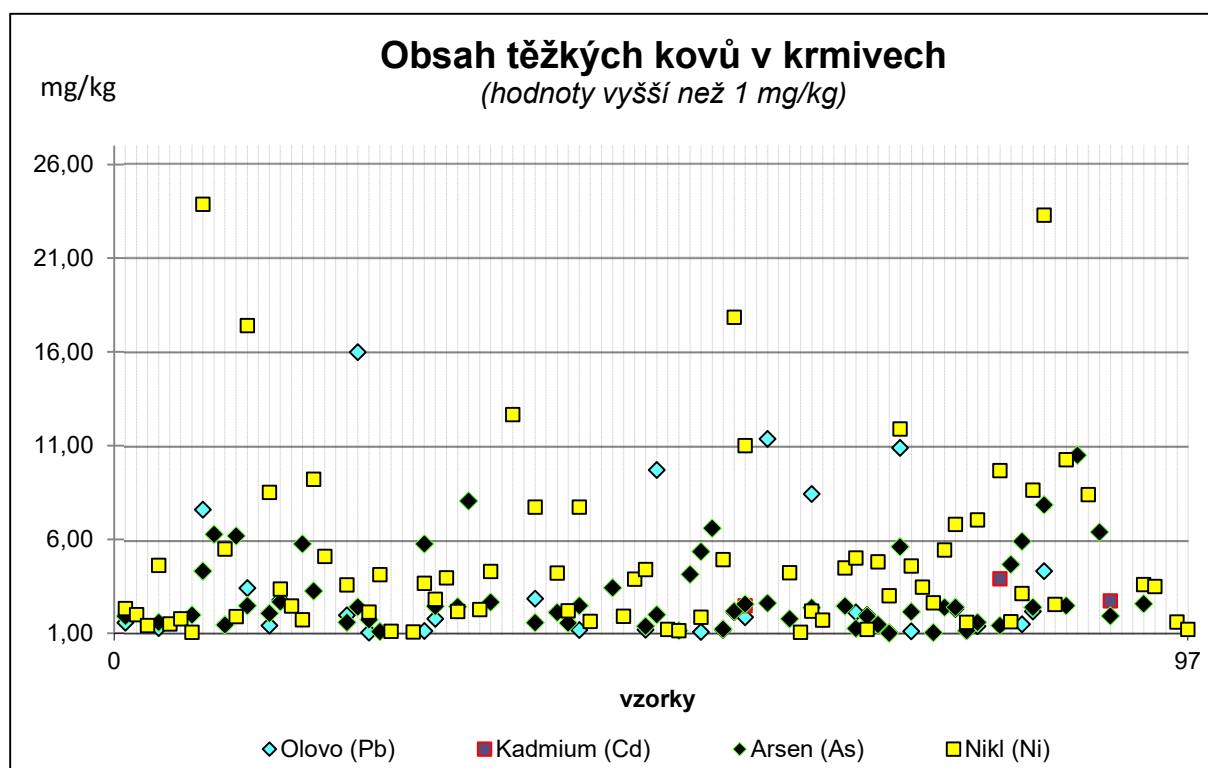


Graf 33 Zjištěné obsahy vybraných mykotoxinů nad 250 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 

2.2.4 Cílená kontrola přítomnosti těžkých kovů v krmivech

Inspektoři odebrali 97 vzorků převážně minerálních látek a minerálních směsí pro zjištění nežádoucího obsahu těžkých kovů. Byl sledován obsah olova, kadmia, arsenu, rtuti a niklu. Všechny analyzované vzorky vyhověly stanoveným maximálním limitům obsahu sledovaných těžkých kovů.

Graf 34 Zastoupení odebraných krmiv v rámci cílené kontroly obsahu těžkých kovů

Graf 35 Obsah těžkých kovů v krmivech nad detekčním limitem (hodnoty $<1 \text{ mg.kg}^{-1}$)**Graf 36** Obsah těžkých kovů v krmivech nad detekčním limitem (hodnoty $>1 \text{ mg.kg}^{-1}$)

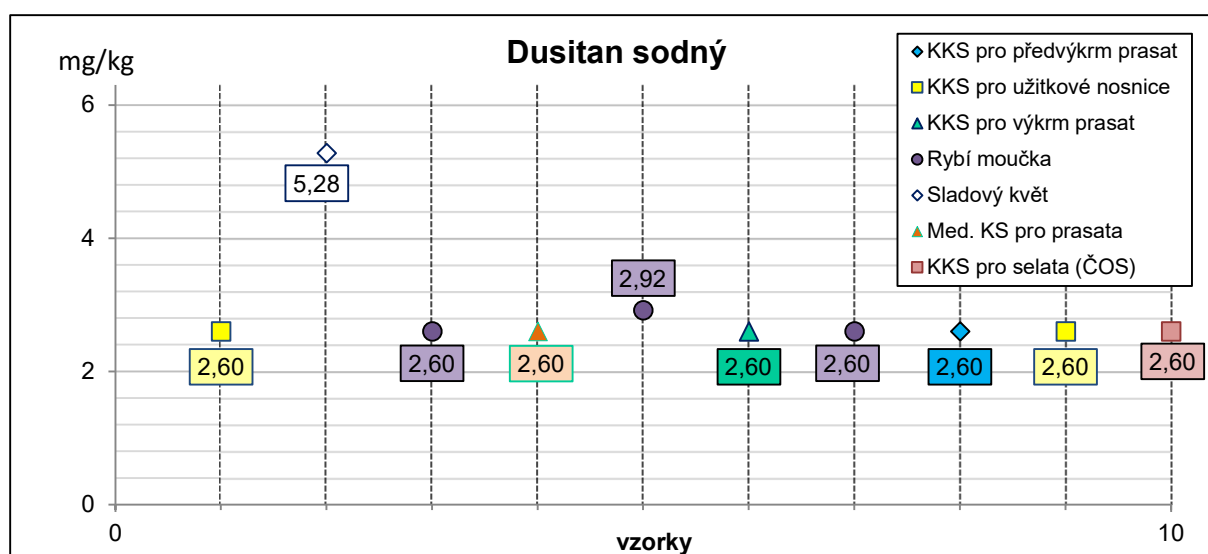
2.2.5 Cílená kontrola přítomnosti dalších nežádoucích látek v krmivech

Tato cílená kontrola zjišťuje obsah dusitanů, fluoridů, vinylthioxazolidonu, teobrominu a melaminu ve vybraných vzorcích krmiv.

Dusitany

V rámci cílené kontroly bylo odebráno 10 vzorků krmiv pro stanovení obsahu dusitanů. Sleduje se, zda nebylo použito konzervování krmiv dusitany. Všechny vzorky byly vyhodnoceny jako vyhovující. Limit pro dusitany je 15 mg.kg^{-1} u krmných směsí nebo 30 mg.kg^{-1} pro rybí moučku.

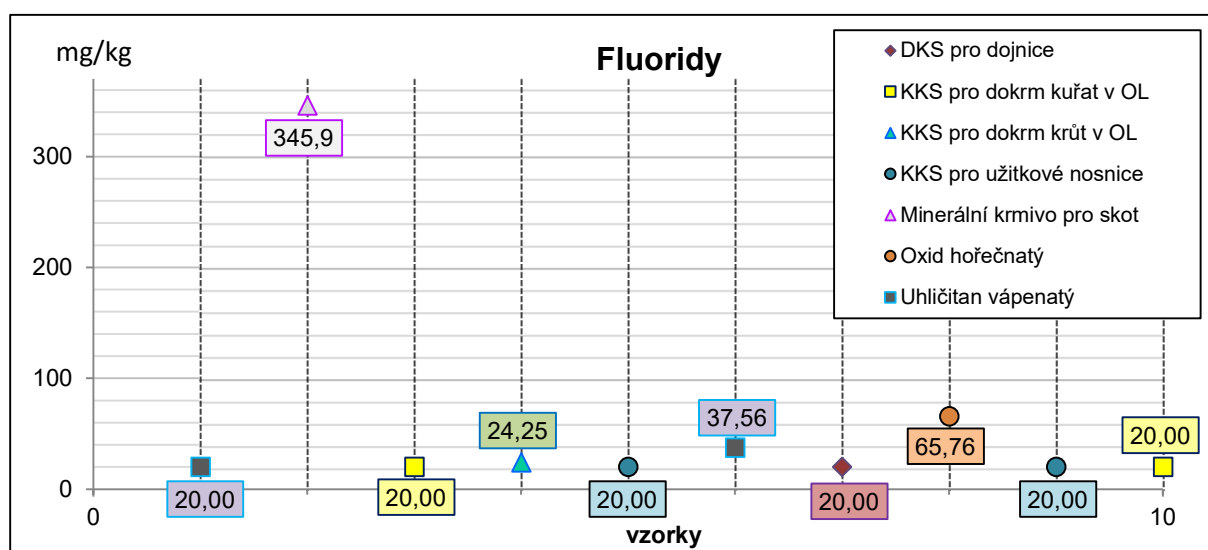
Graf 37 Obsah dusitanu sodného v odebraných vzorcích krmiv



Fluoridy

Bylo odebráno 10 vzorků krmných surovin nebo krmných směsí pro různé druhy hospodářských zvířat za účelem stanovení obsahu fluoridů. Z odebrané skupiny 7 vzorků nepřekročilo detekční mez analýzy, žádný analyzovaný vzorek neporušil maximální povolený limit obsahu fluoridů.

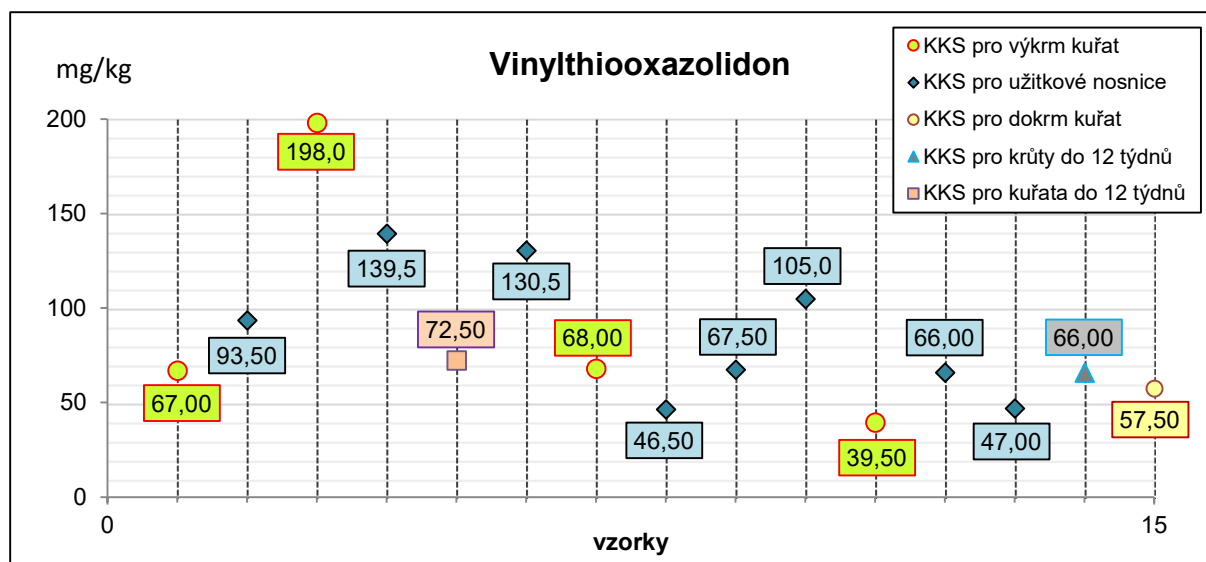
Graf 38 Obsah fluoridů v odebraných vzorcích krmiv



Vinylthiooxazolidon

Vinylthiooxazolidon se vyskytuje v krmivech s obsahem řepky. V 15 vzorcích kompletních směsí pro drůbež nebylo zjištěno překročení maximálního povoleného limitu nežádoucí látky.

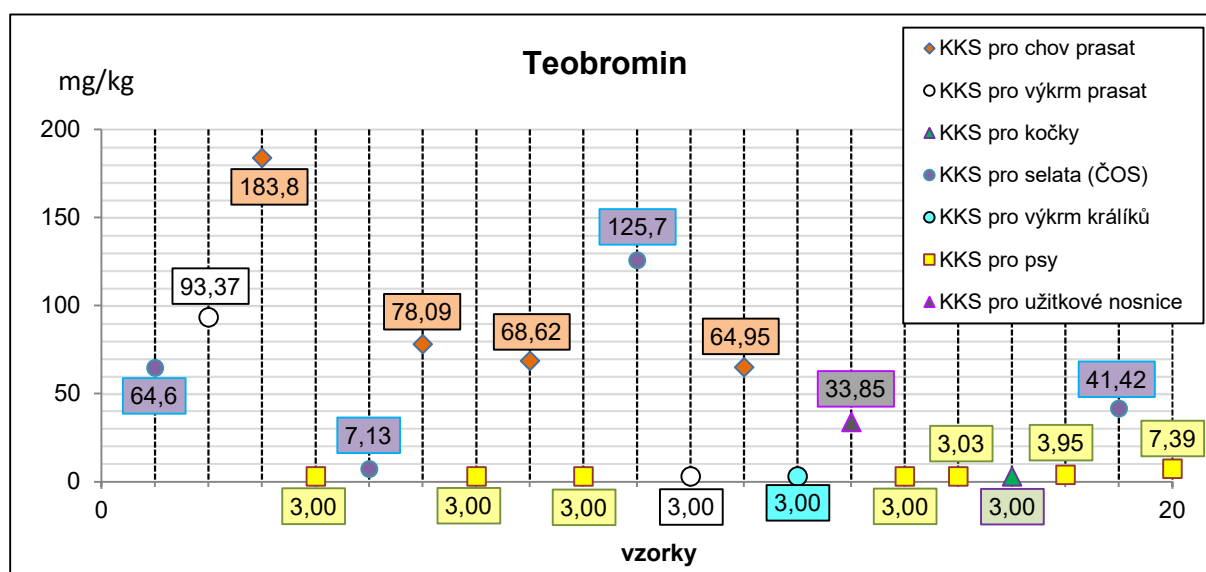
Graf 39 Obsah vinylthiooxazolidonu v odebraných vzorcích krmiv



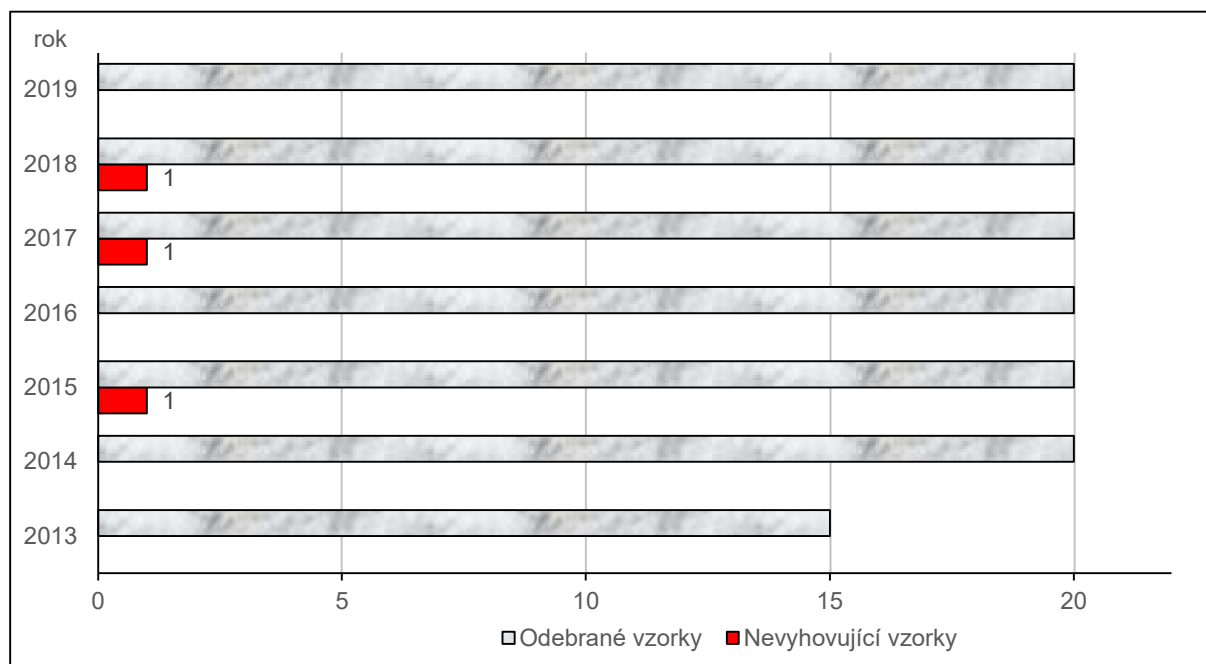
Teobromin

Sleduje se v krmivech s obsahem kakaových slupek, kakaa, čokolády a dalších výrobků z cukrovinek. Bylo odebráno 20 vzorků kompletních a doplňkových krmných směsí. Žádný vzorek nepřekročil maximální povolený limit obsahu teobrominu 200 mg.kg⁻¹.

Graf 40 Obsah teobrominu v odebraných krmivech (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)



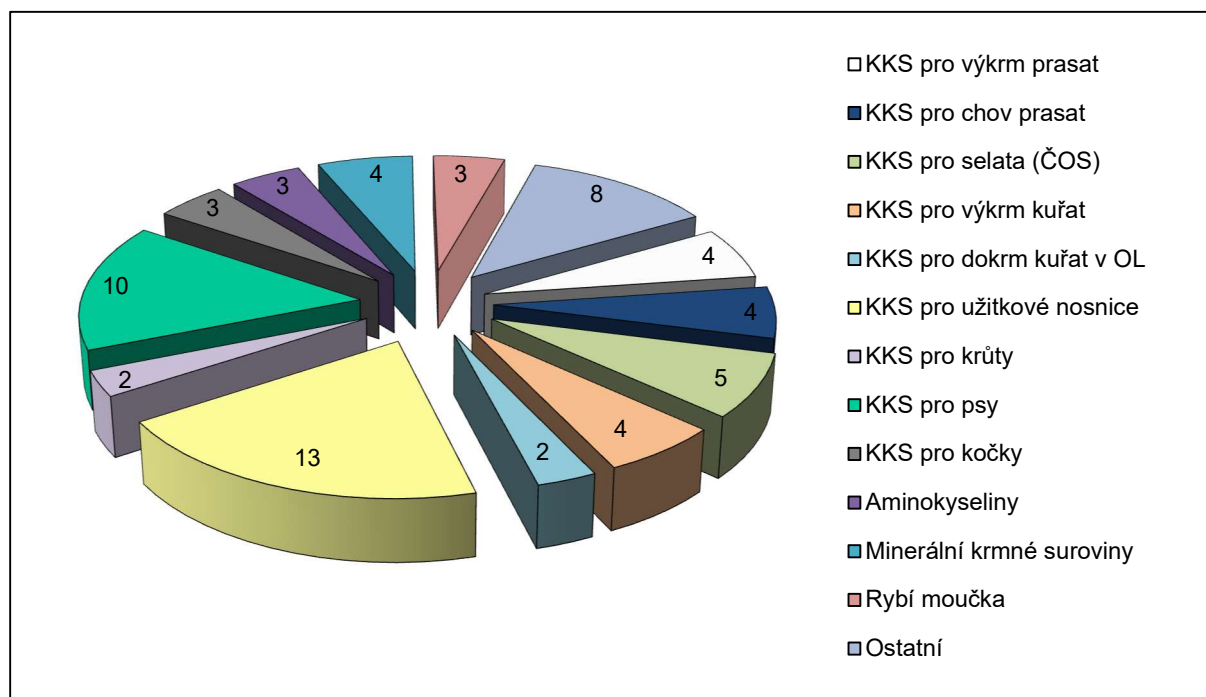
Graf 41 Počty odebraných a nevyhovujících vzorků na kontrolu obsahu teobrominu 2013–2019



Melamin a kyselina kyanurová

Bylo odebráno 10 vzorků převážně aminokyselin nebo kompletních krmných směsí pro zvířata určená k produkci potravin za účelem stanovení obsahu melaminu a kyseliny kyanurové. Výsledky většiny analyzovaných vzorků se pohybovaly na úrovni detekčního limitu analytických přístrojů $0,5 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Graf 42 Zastoupení krmiv v rámci cílené kontroly přítomnosti dalších nežádoucích látek v krmivech



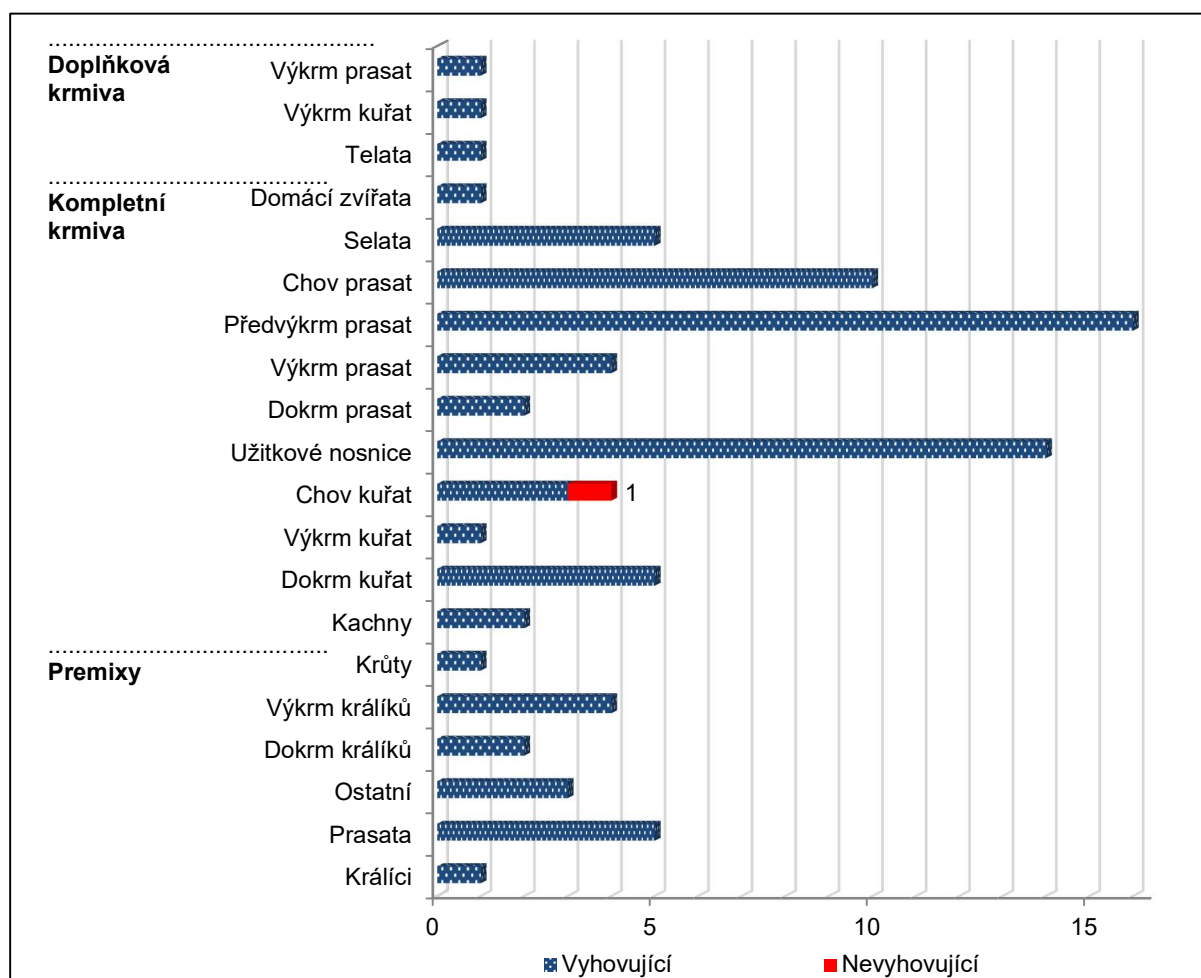
2.3 Sledování správného používání doplňkových látek

2.3.1 Cílená kontrola používání kokcidiosatik

Cílená kontrola ověřuje dodržování deklarovaného obsahu kokcidiosatika a dodržování maximálního povoleného limitu nevyhnutelné křížové kontaminace, případně zda se doplňkové látky nevyskytují v krmivech pro druhy či kategorie zvířat, pro které nejsou povoleny. V rámci kontroly bylo odebráno celkem 82 vzorků kompletních nebo doplňkových krmných směsí a premixů.

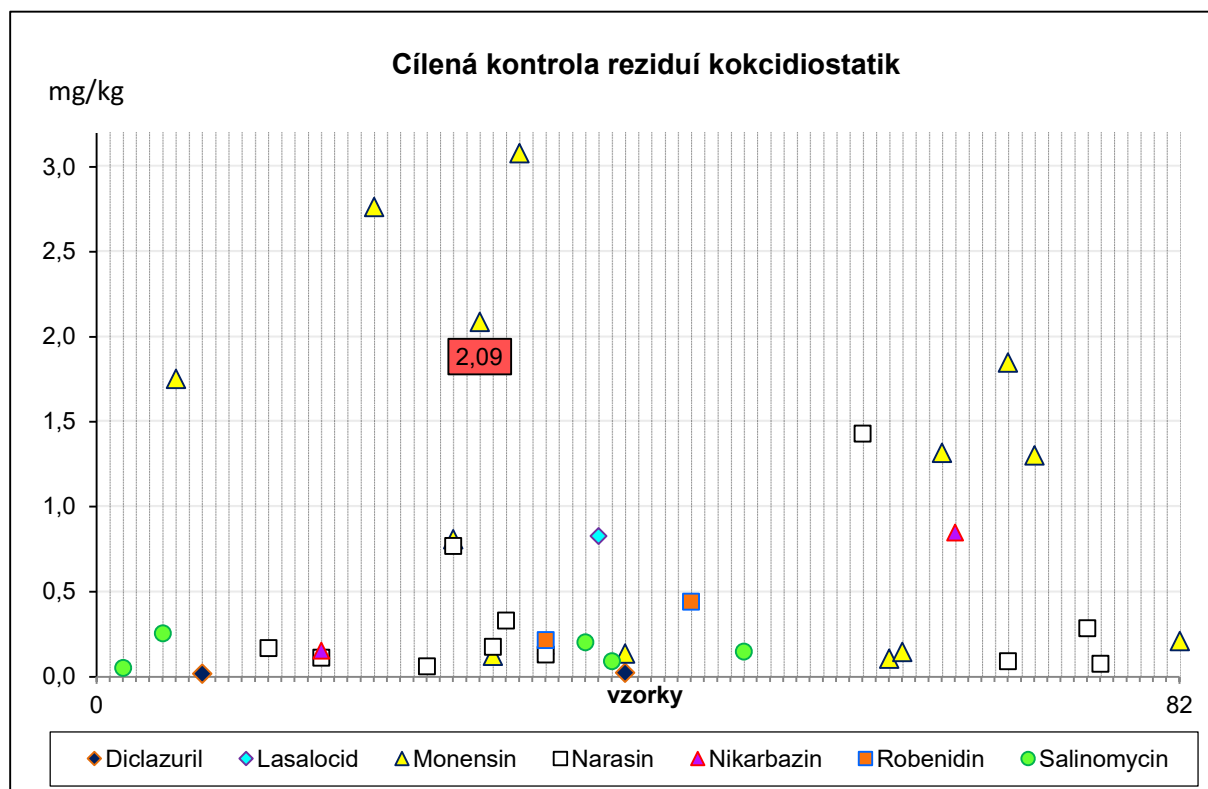
Byl zjištěn pouze 1 případ porušení maximálního limitu rezidua monensinu u krmné směsi určené pro odchov kuřat a kuřic. Kontrola dodržování deklarovaného obsahu kokcidiosatik vyhodnotila všechny analyzované vzorky krmných směsí i premixů jako vyhovující.

Graf 43 Odebrané vzorky v rámci cílené kontroly křížové kontaminace krmiv kokcidiosatiky

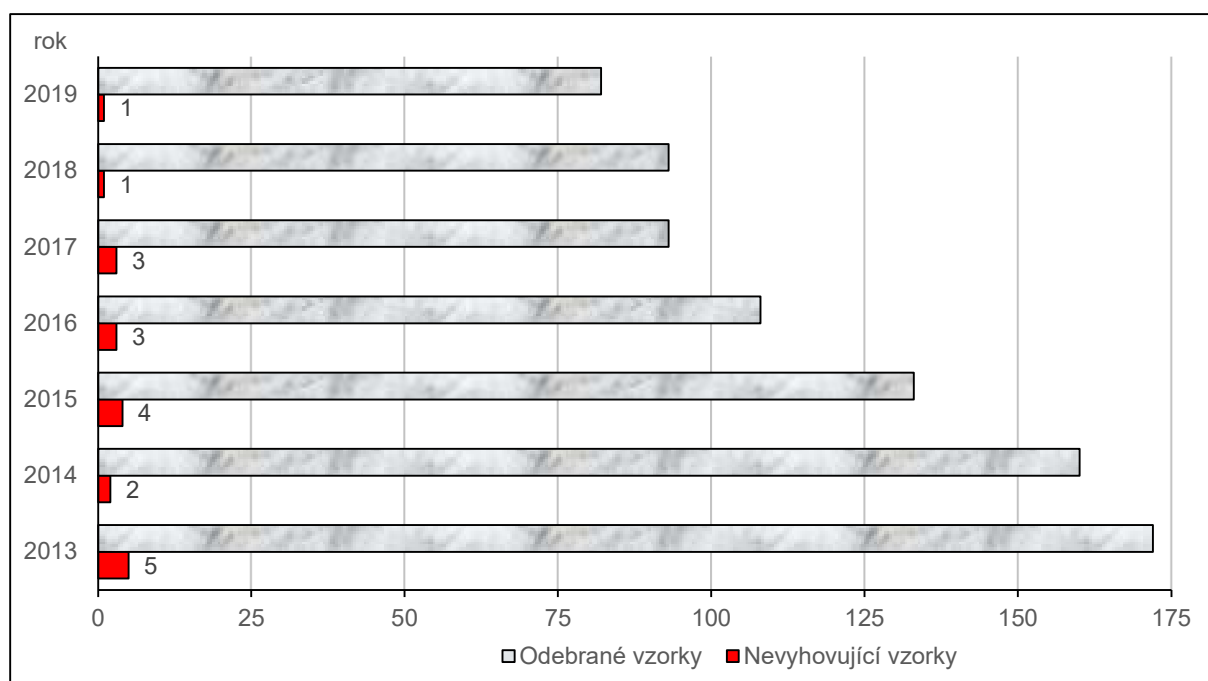


Nejčastěji byly odebírány kompletní krmné směsi (72 vzorků) s převahou krmných směsí pro výkrm prasat, směsí pro užitkové nosnice a krmiv pro chov prasat

Graf 44 *Křížová kontaminace krmiv kokcidiostatiky nad mezí detekce analýzy (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)*



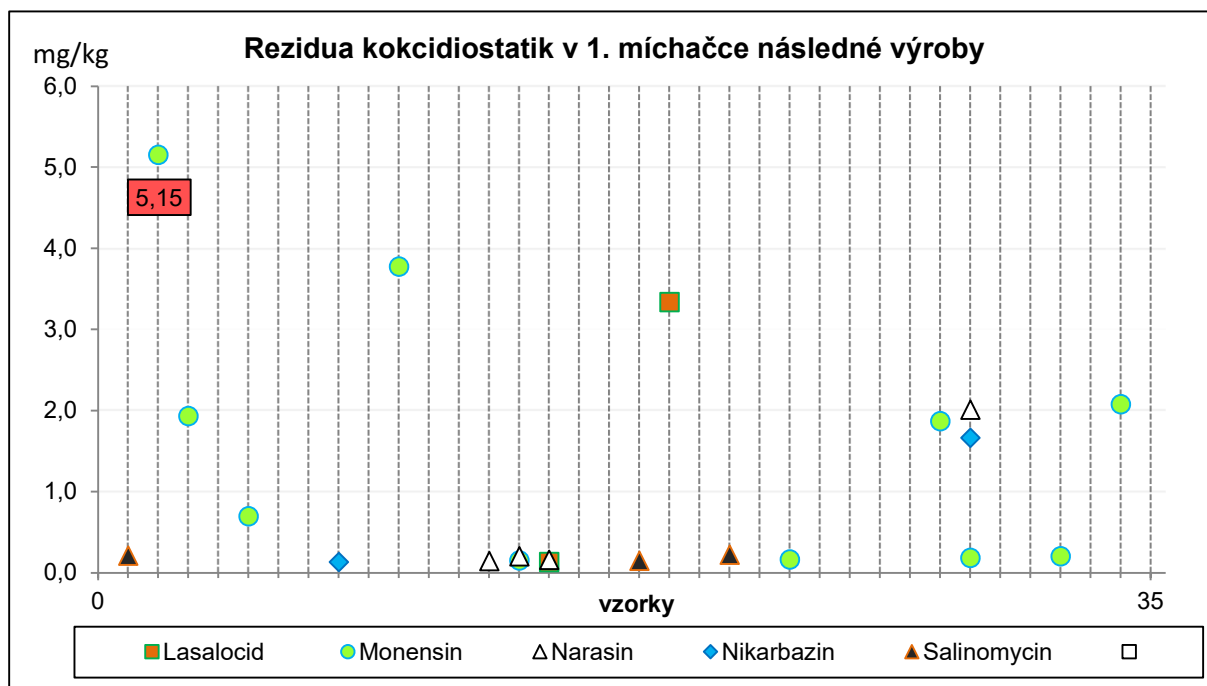
Graf 45 *Počty odebraných a nevyhovujících vzorků křížové kontaminace kokcidiostatik 2010–2019*



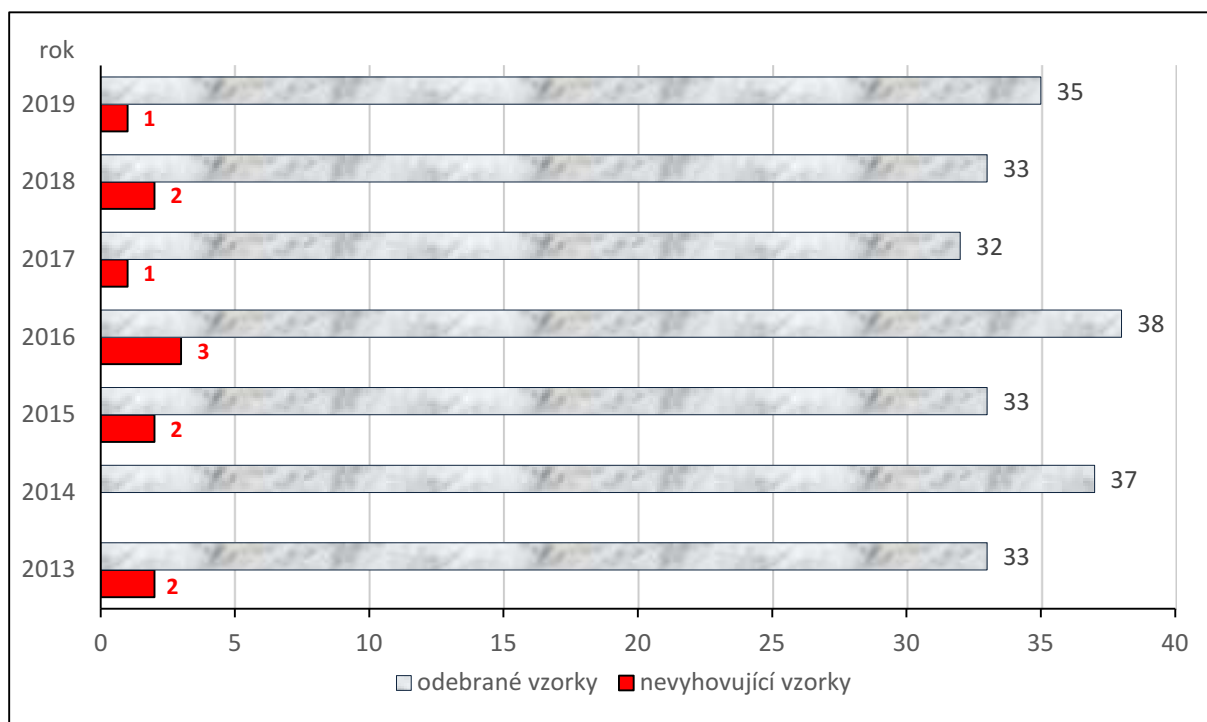
V rámci cílené kontroly byly rovněž sledovány reziduální stopy kokcidiostatik v krmivu, které bylo zpracováno míchacím zařízením výrobce bezprostředně po použití kokcidiostatik. Bylo

prověřeno 35 vzorků z nejrizikovější první míchačky následně vyráběných krmiv. Stanovený limit byl překročen u 1 vzorku krmiva pro předvýkrm prasat (A1) obsahem reziduí monensinu. Výrobce krmiva neprodleně zavedl účinnější postupy dekontaminace výrobní linky pro zabránění přenosů křížové kontaminace do následné výroby.

Graf 46 *Rezidua kokcidiostatik v 1. míchačce následné výroby, hodnoty nad mezí detekce stanovení (v červených polích uvedeny hodnoty nevyhovujících vzorků)*



Graf 47 *Počty odebraných a nevyhovujících vzorků křížové kontaminace kokcidiostatik v 1. míchačce následné výroby v letech 2013-2019*

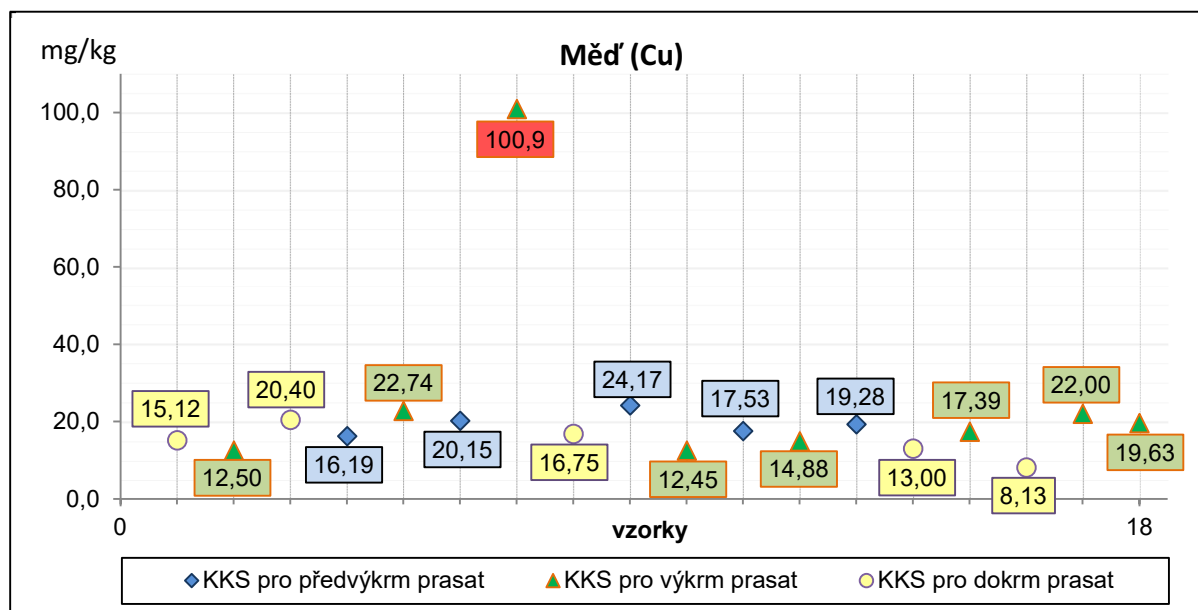


2.3.2 Cílená kontrola dodržování limitů doplňkových látek

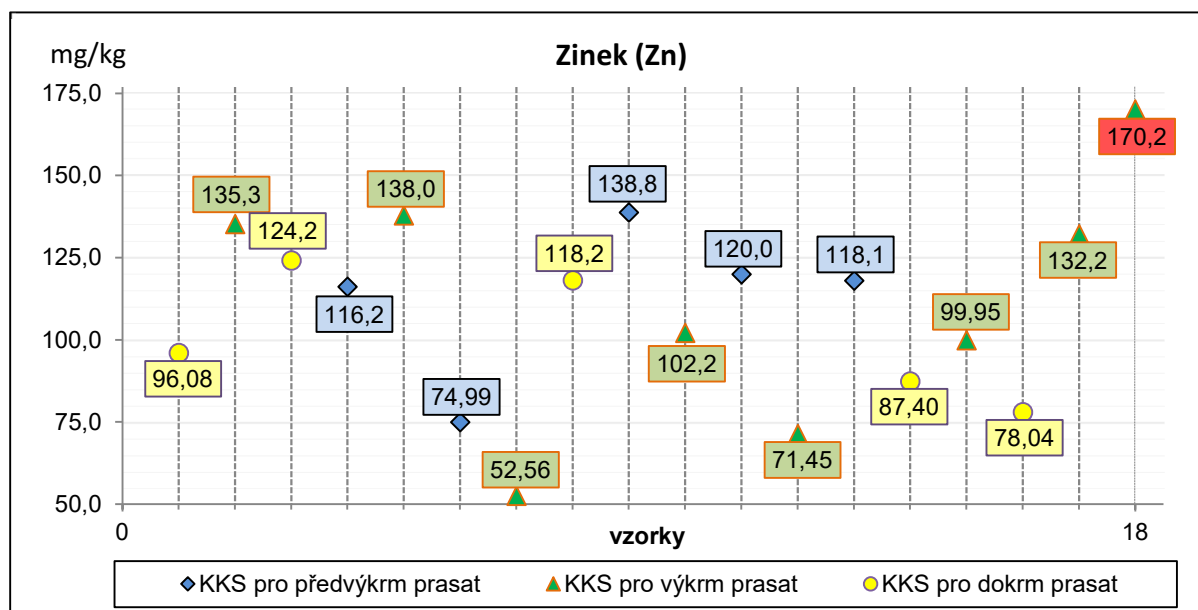
Při této kontrole se sledovalo dodržování maximálních limitů mědi, zinku, manganu, železa, selenu, jódu, vitamínu A a vitamínu D₃. Odebráno bylo 52 vzorků krmných směsí. Převažovala kompletní krmiva pro různé fáze výkrmu prasat a pro drůbež. Překročení limitu sledovaných doplňkových látek bylo zjištěno u 8 vzorků kompletních krmných směsí (3 vzorky KKS pro výkrm prasat A2, 2 vzorky kompletních směsí pro selata ČOS, 1 vzorek KKS pro výkrm kuřat a 1 vzorek kompletního krmiva pro krůty do věku 16 týdnů). Mimo tyto sériově prováděné analýzy 1 vzorek KKS pro selata nevyhověl překročením limitu obsahu kyseliny benzoové.

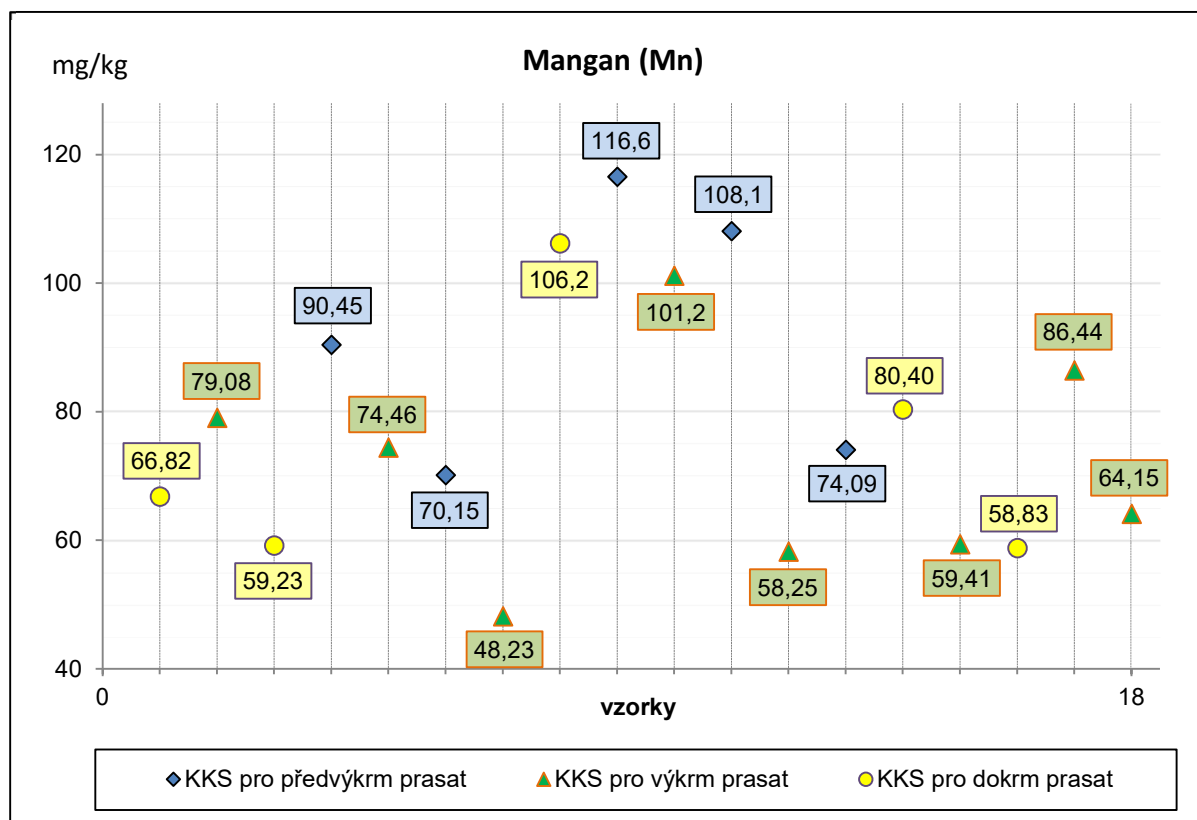
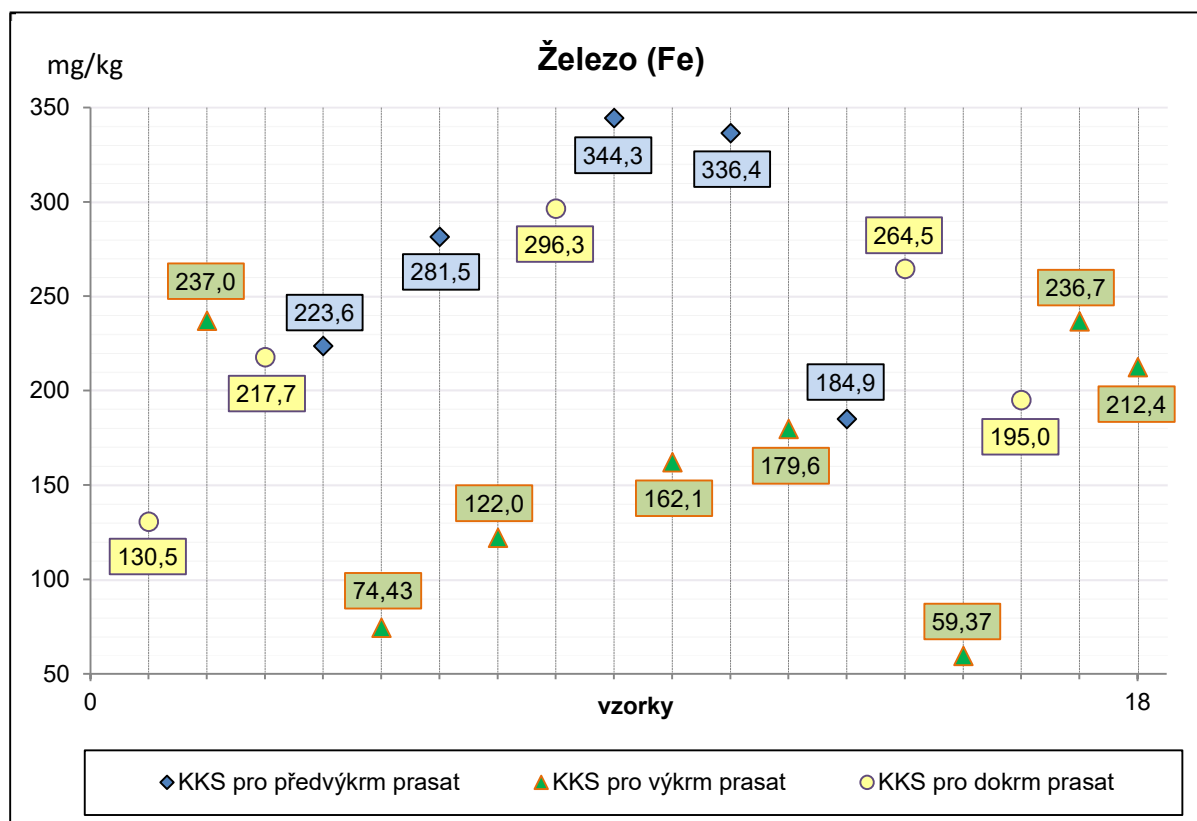
KRMIVA PRO VÝKRM PRASAT

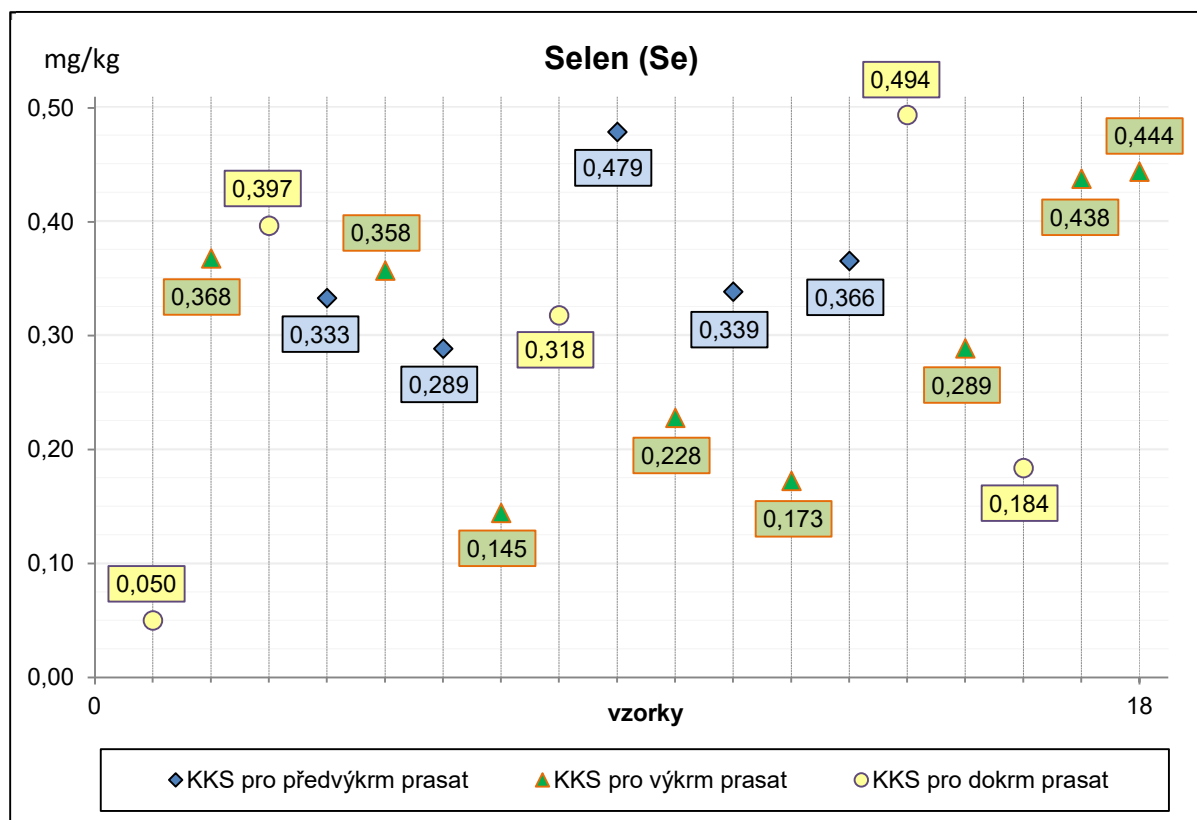
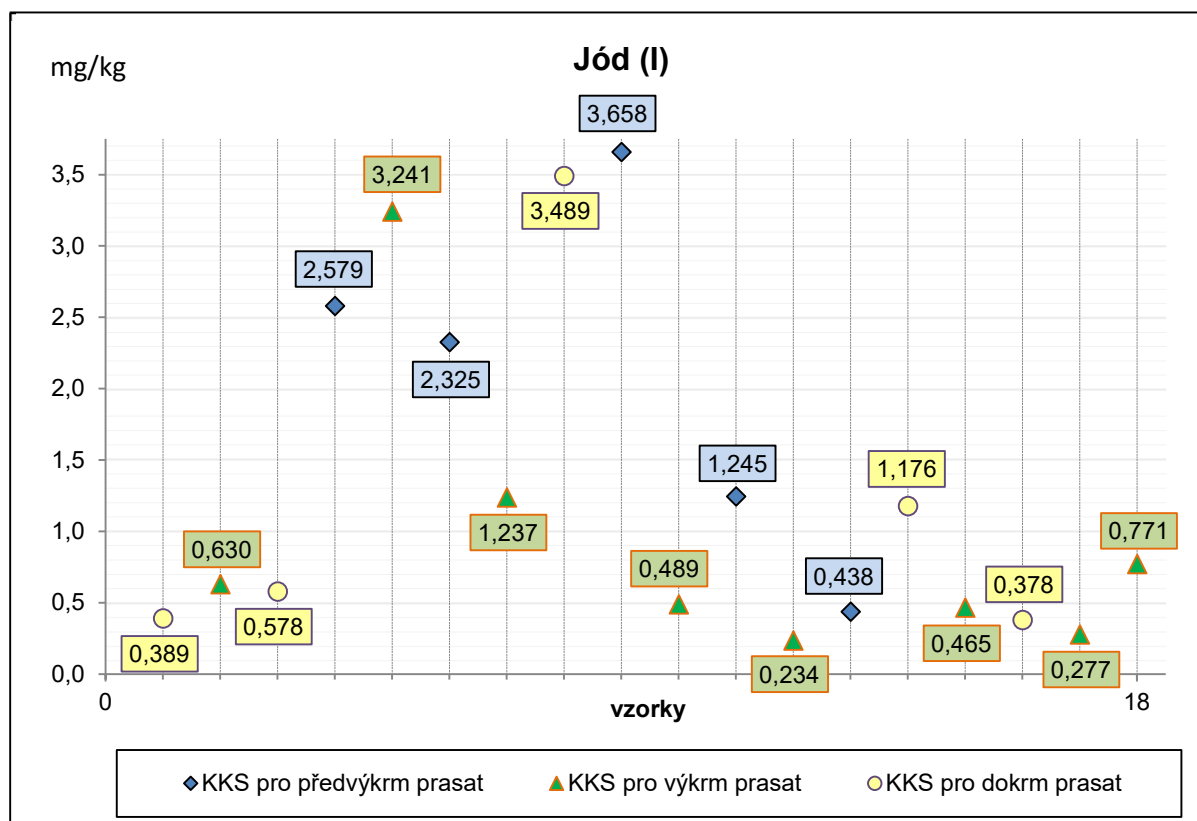
Graf 48 Obsah mědi v krmivech pro výkrm prasat (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)

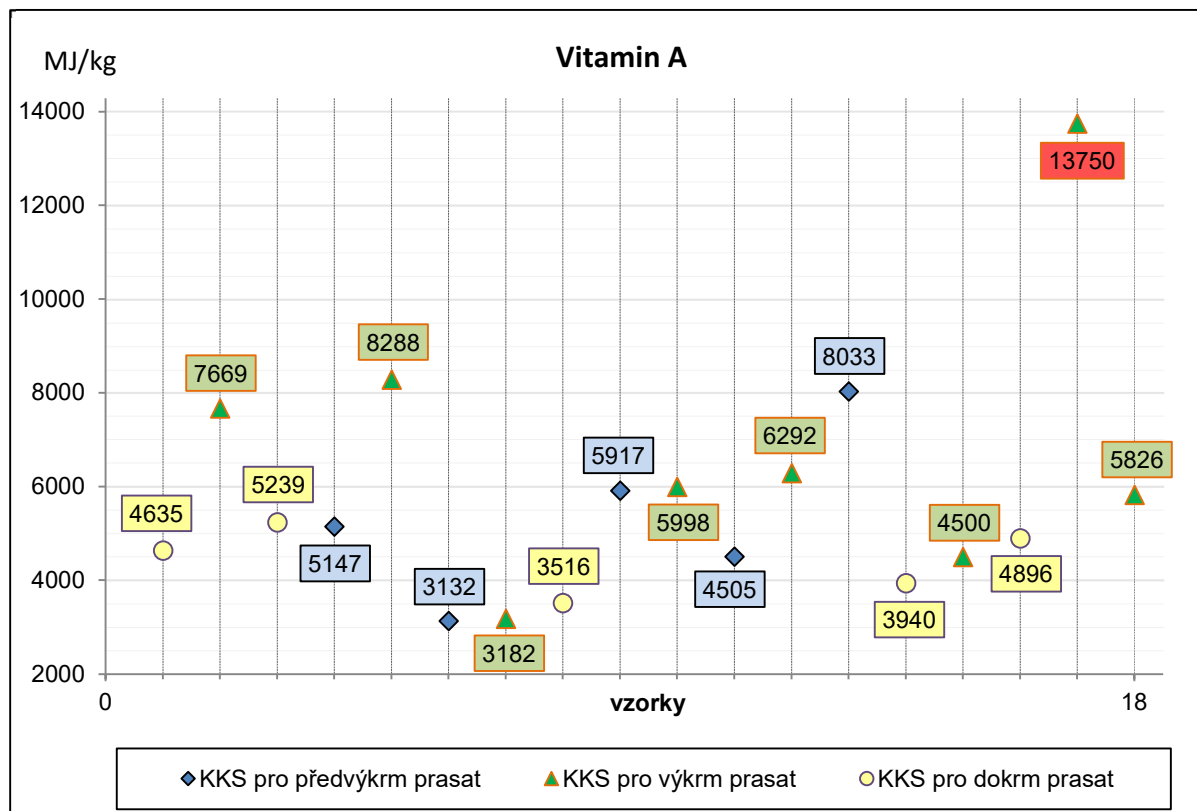
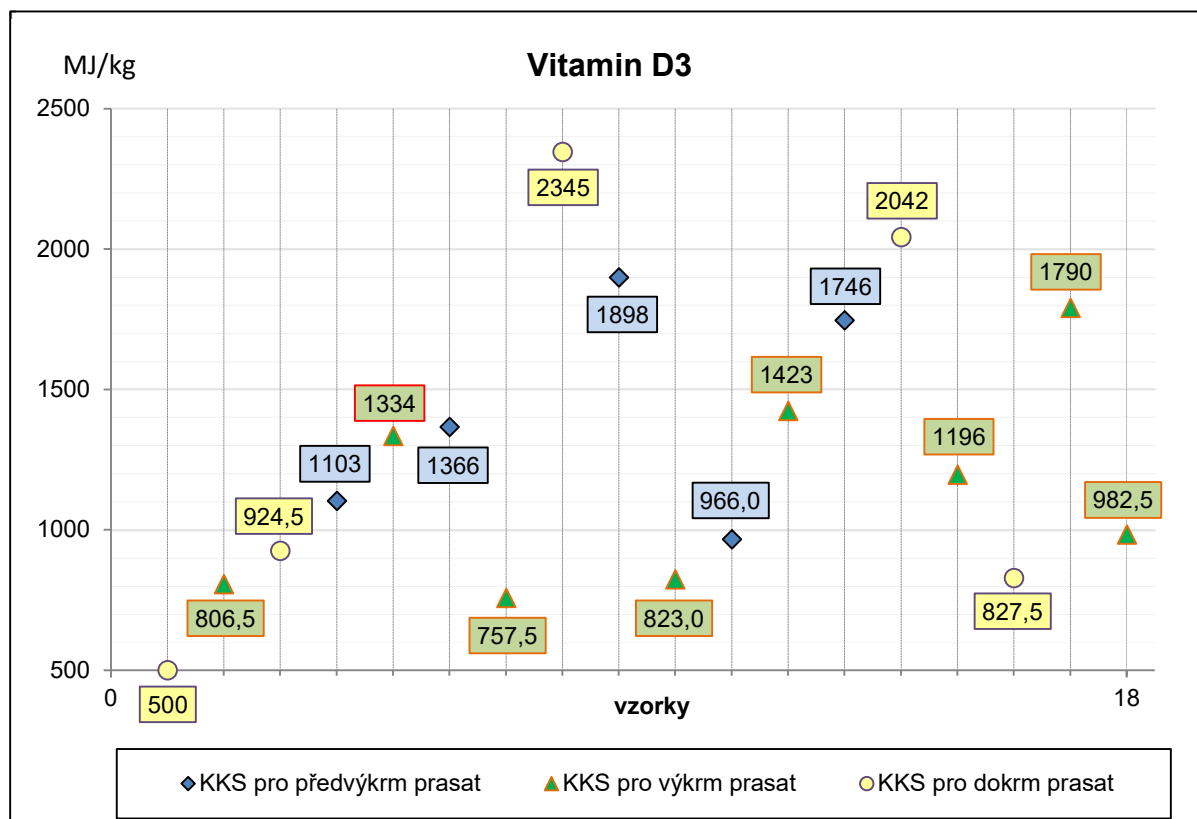


Graf 49 Obsah zinku v krmivech pro výkrm prasat (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)

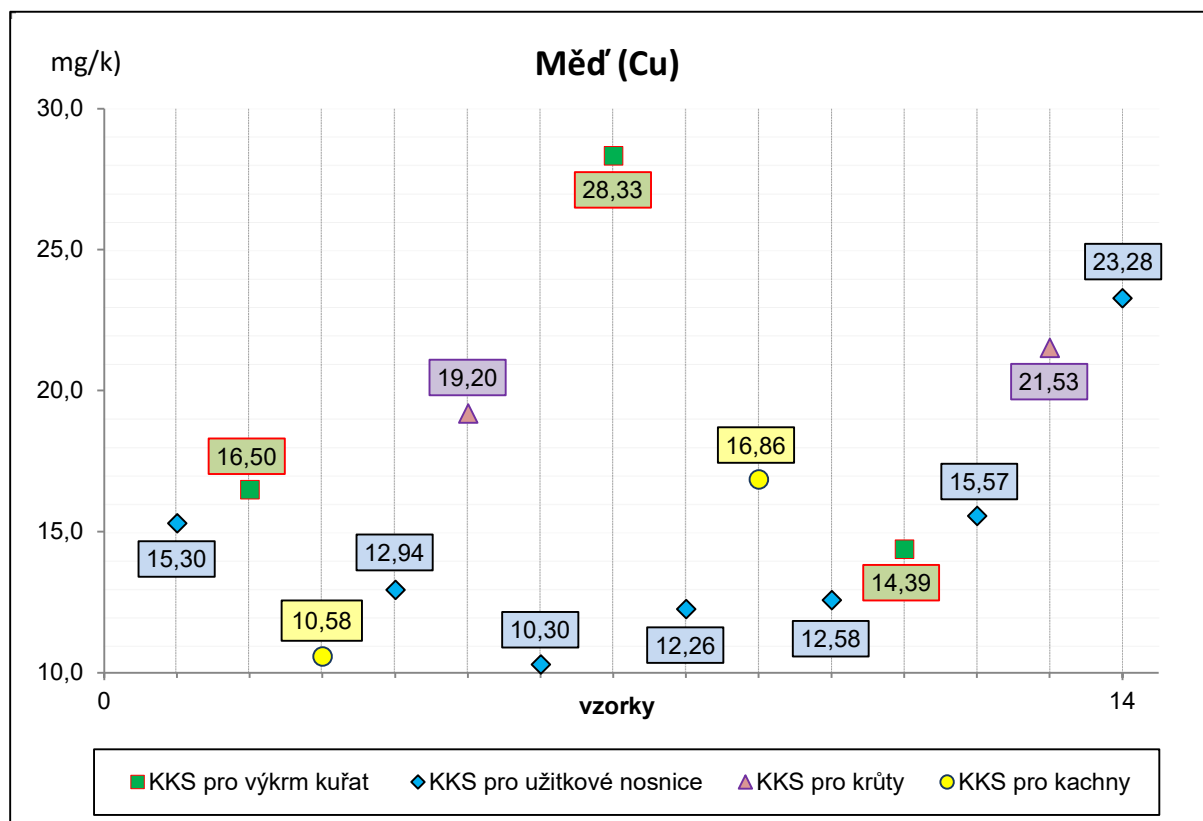
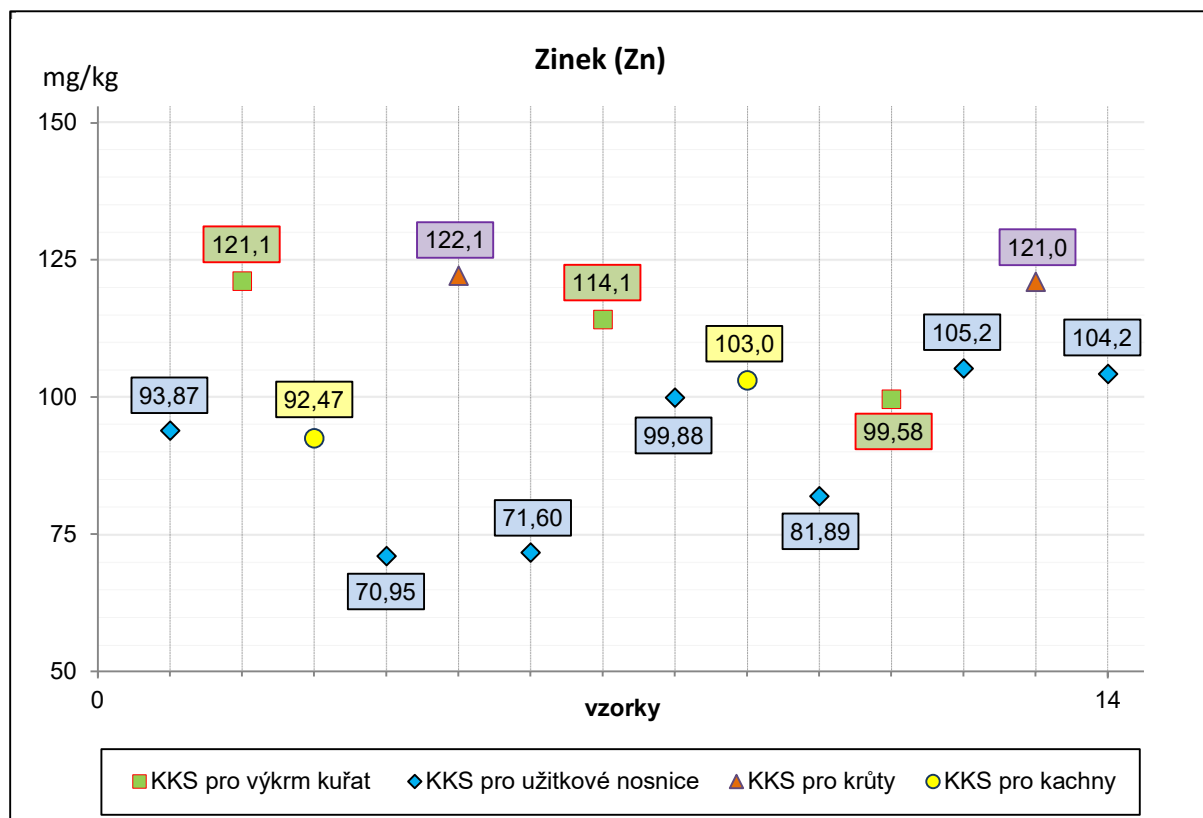


Graf 50 **Obsah manganu v kompletních krmných směsích pro výkrm prasat****Graf 51** **Obsah železa v kompletních krmných směsích pro výkrm prasat**

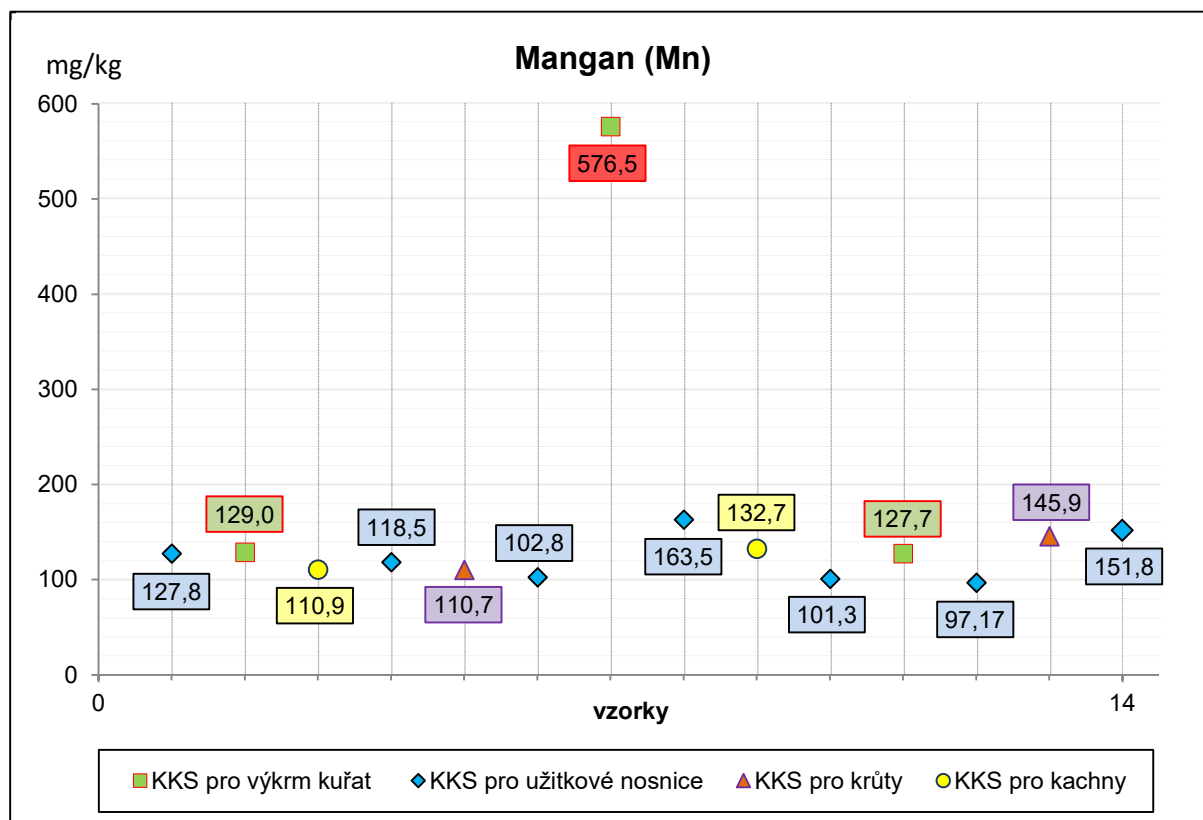
Graf 52 *Obsah selenu v kompletních krmných směsích pro výkrm prasat***Graf 53** *Obsah jódu v kompletních krmných směsích pro výkrm prasat*

Graf 54 *Obsah vitamínu A v kompletních krmných směsích pro výkrm prasat***Graf 55** *Obsah vitamínu D3 v kompletních krmných směsích pro výkrm prasat*

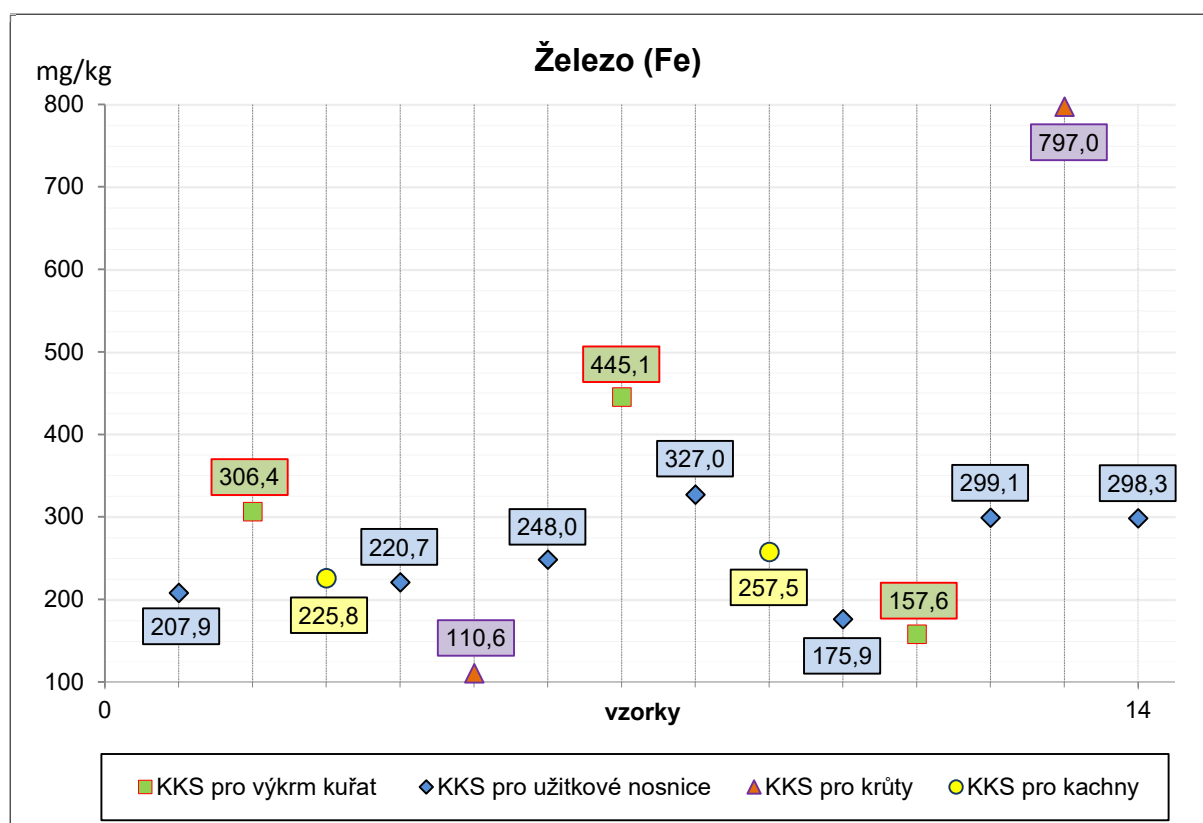
KRMIVA PRO DRŮBEŽ

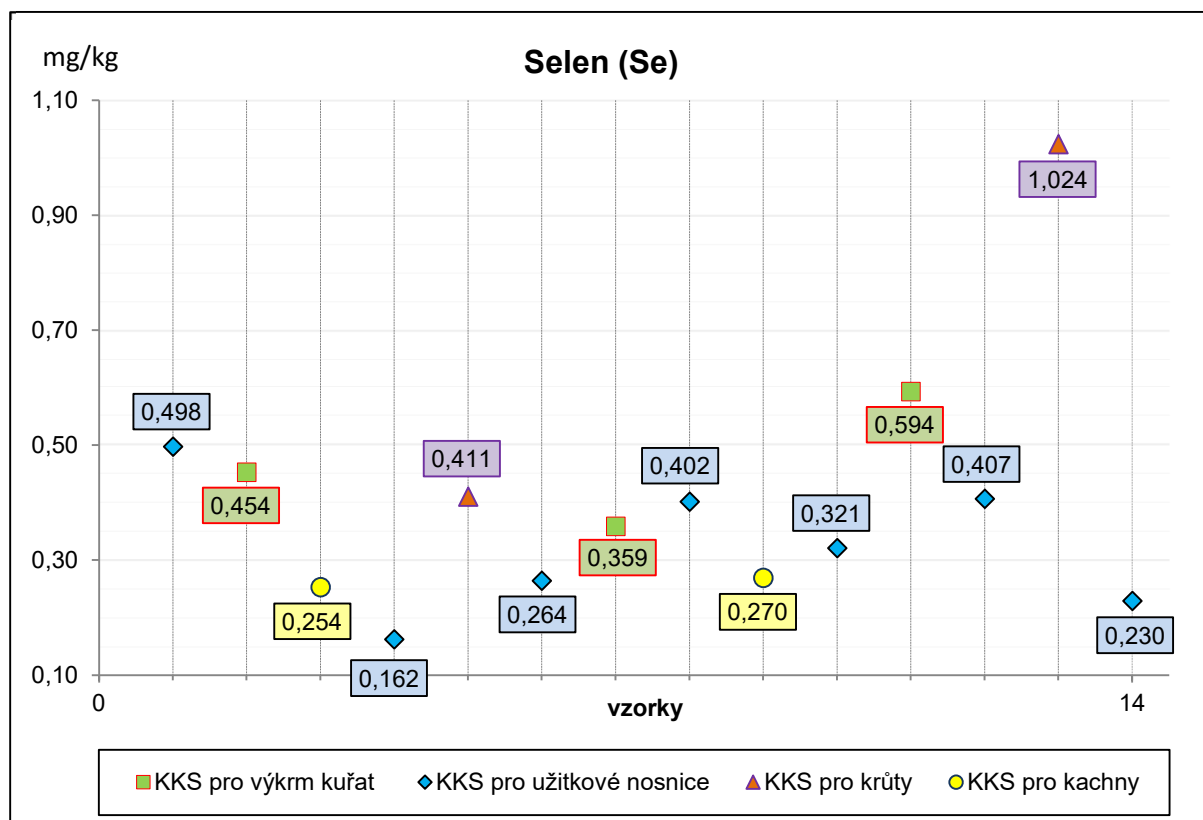
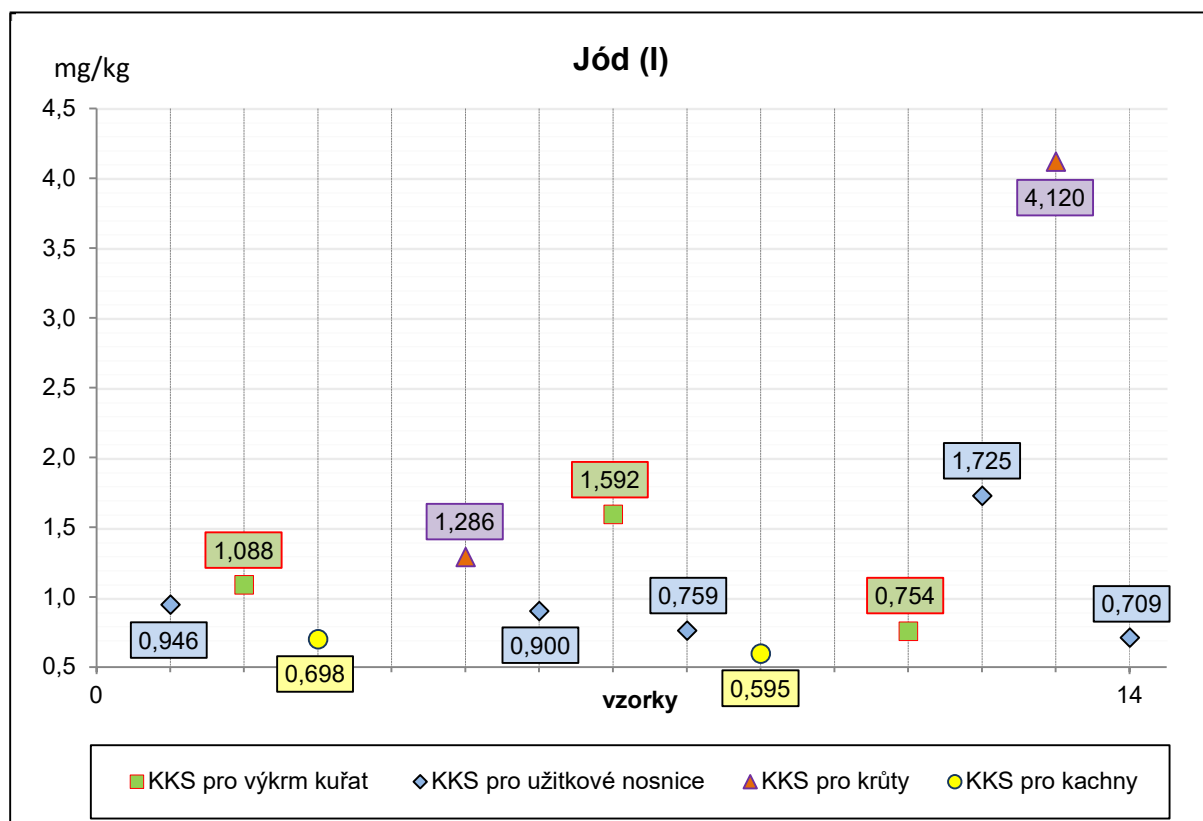
Graf 56 Obsah mědi v kompletních krmných směsích určených pro drůbež**Graf 57** Obsah zinku v kompletních krmných směsích určených pro drůbež

Graf 58 *Obsah manganu v krmivech určených pro drůbež (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)*

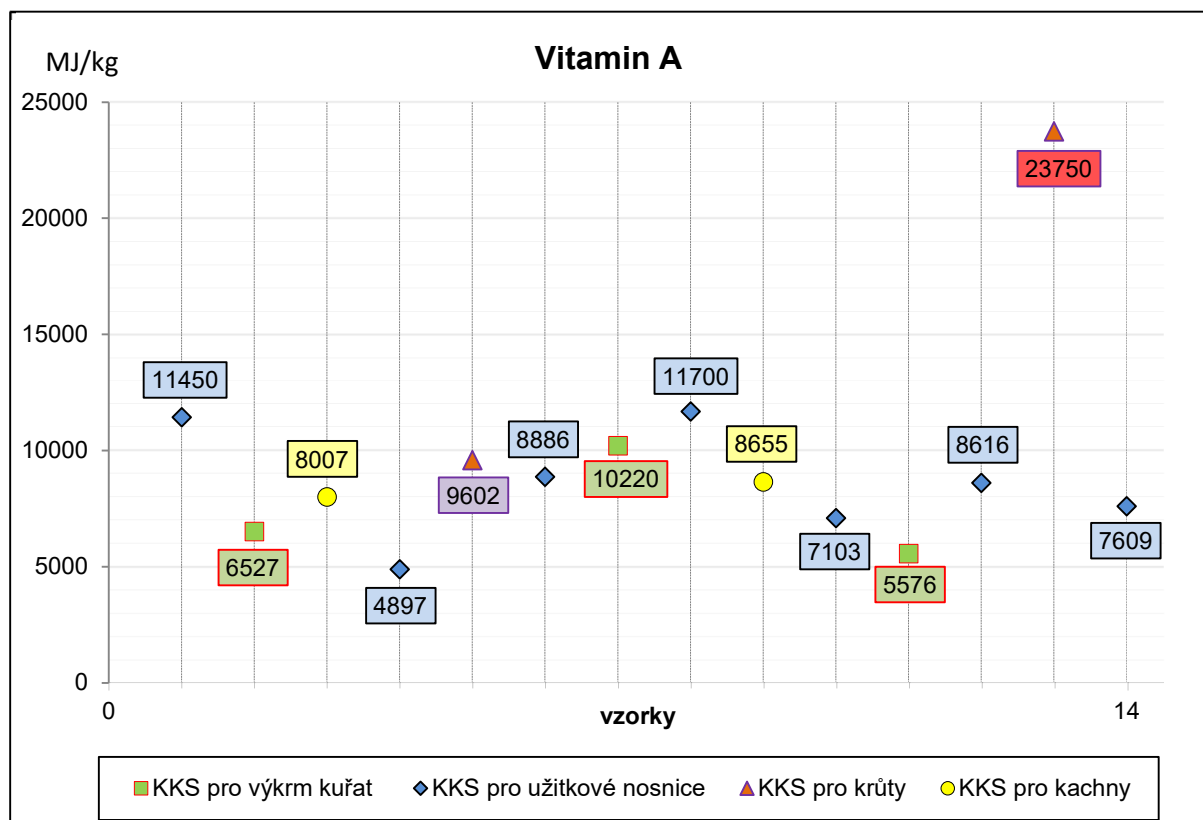


Graf 59 *Obsah železa v krmivech určených pro drůbež*

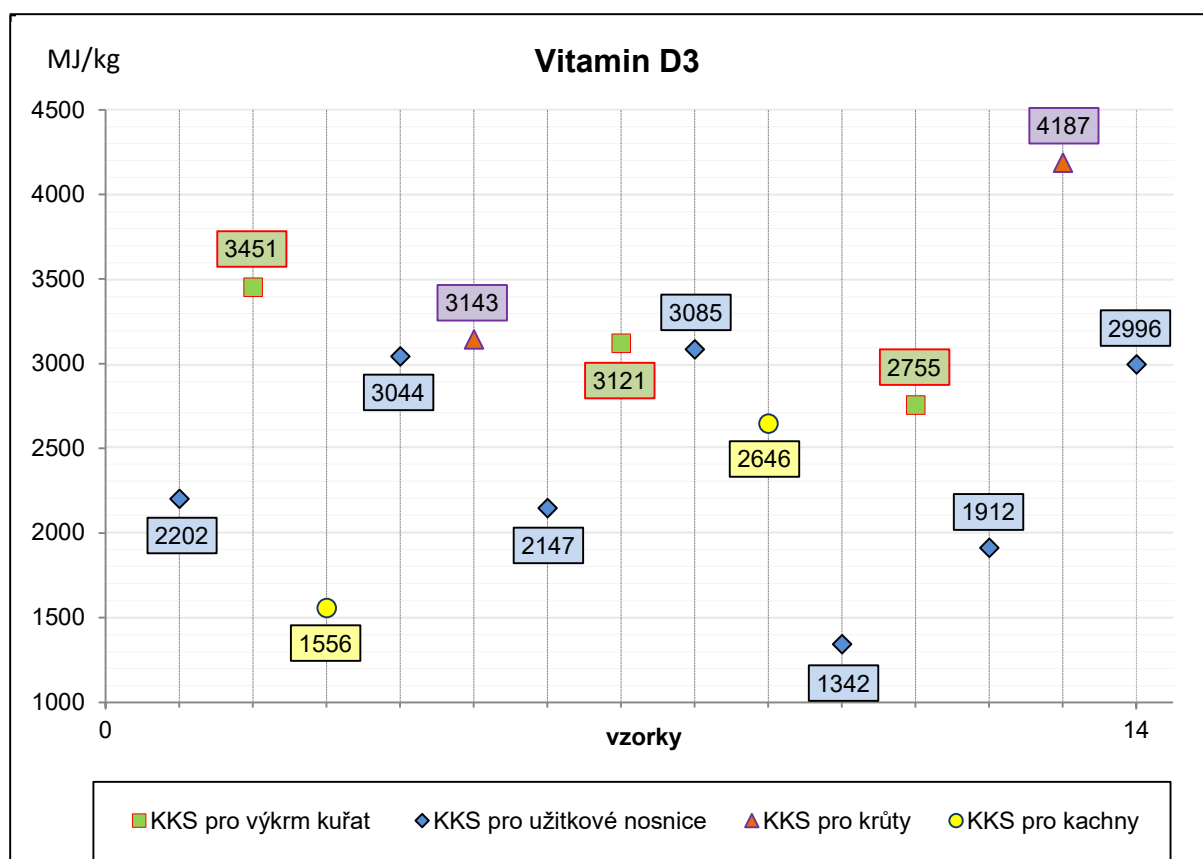


Graf 60 **Obsah selenu v kompletních krmných směsích určených pro drůbež****Graf 61** **Obsah jódu v kompletních krmných směsích určených pro drůbež**

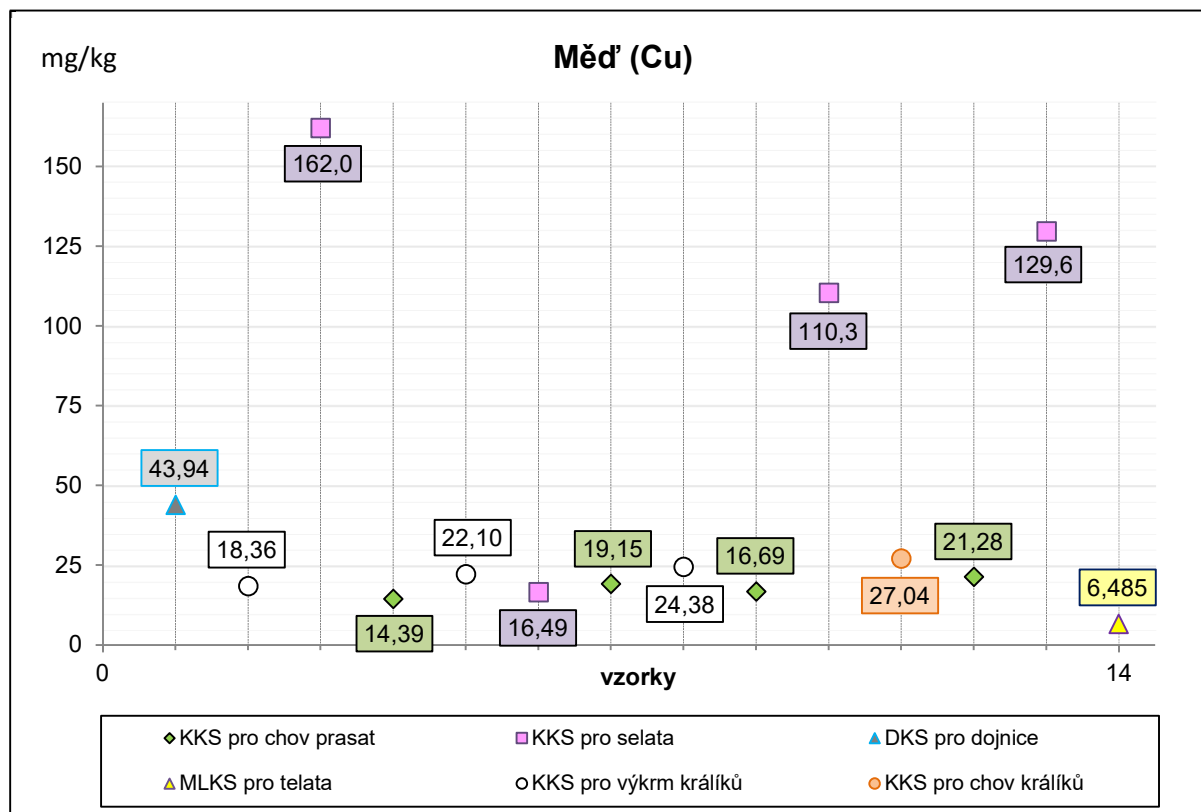
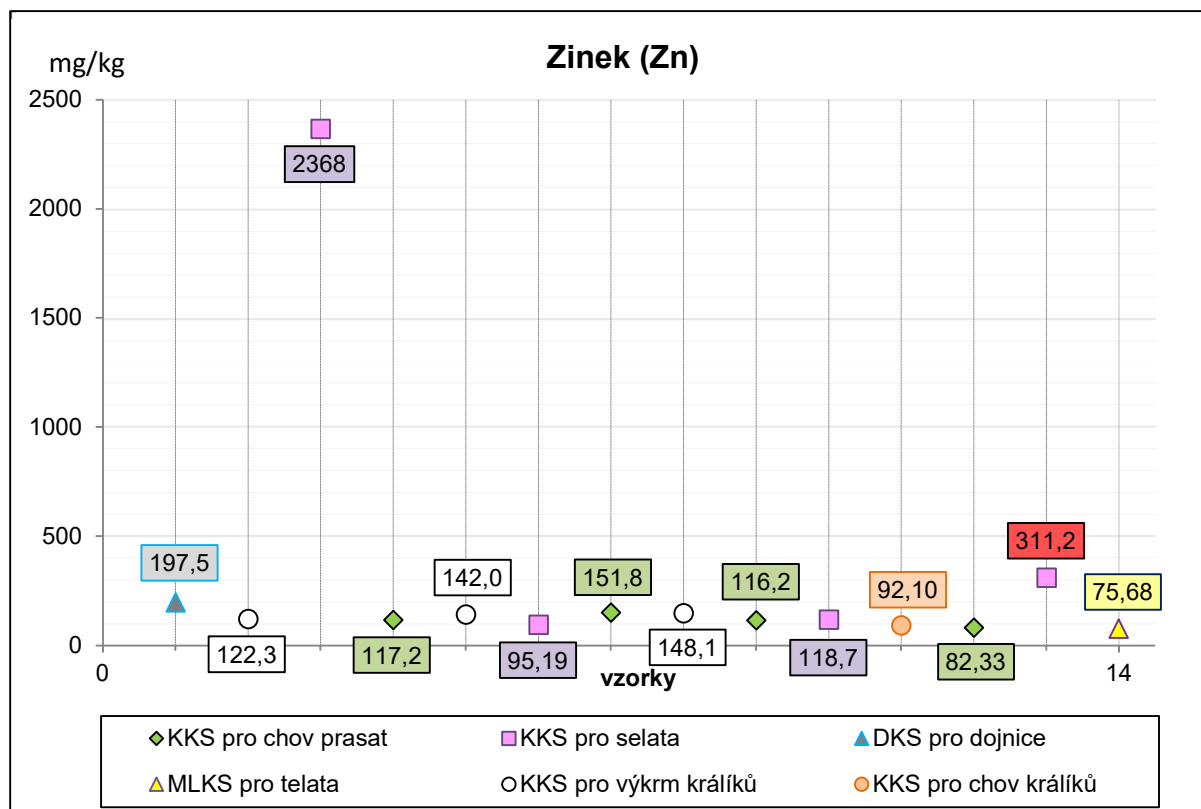
Graf 62 *Obsah vitamínu A v krmivech určených pro drůbež (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)*



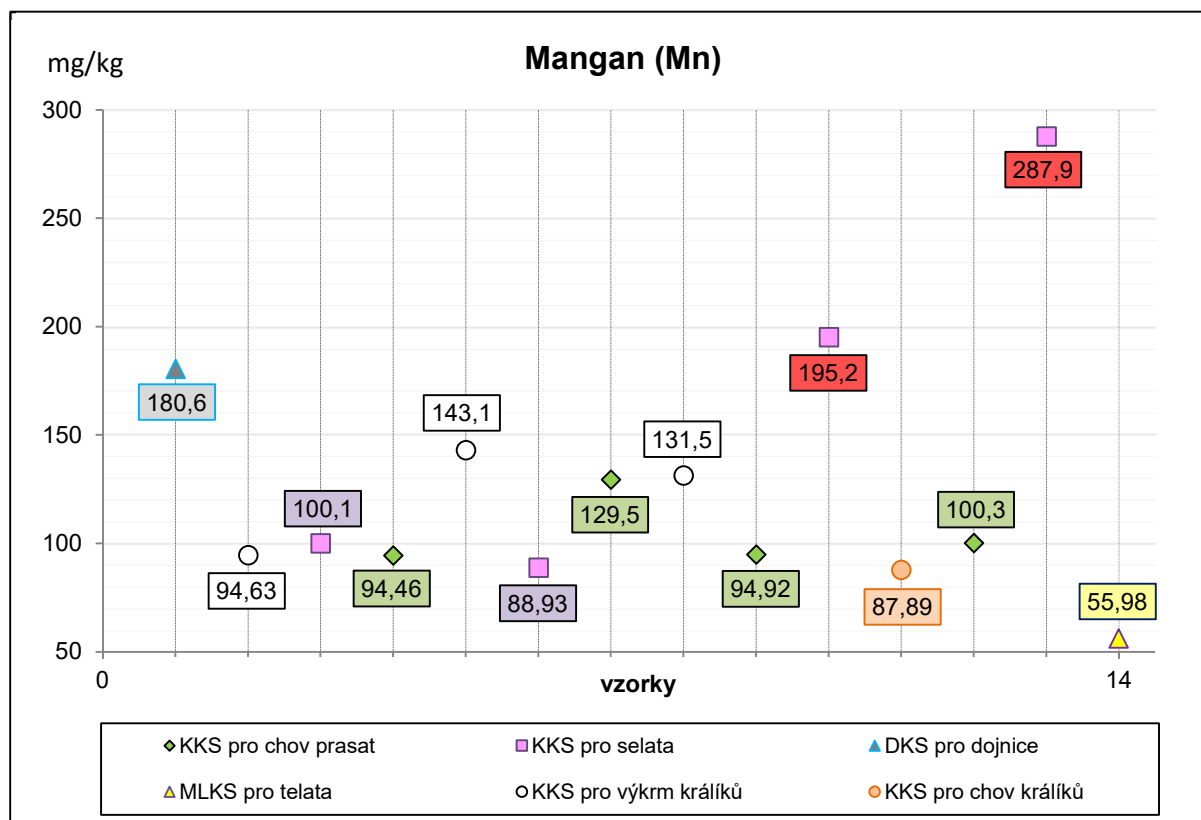
Graf 63 *Obsah vitamínu D₃ v krmivech určených pro drůbež*



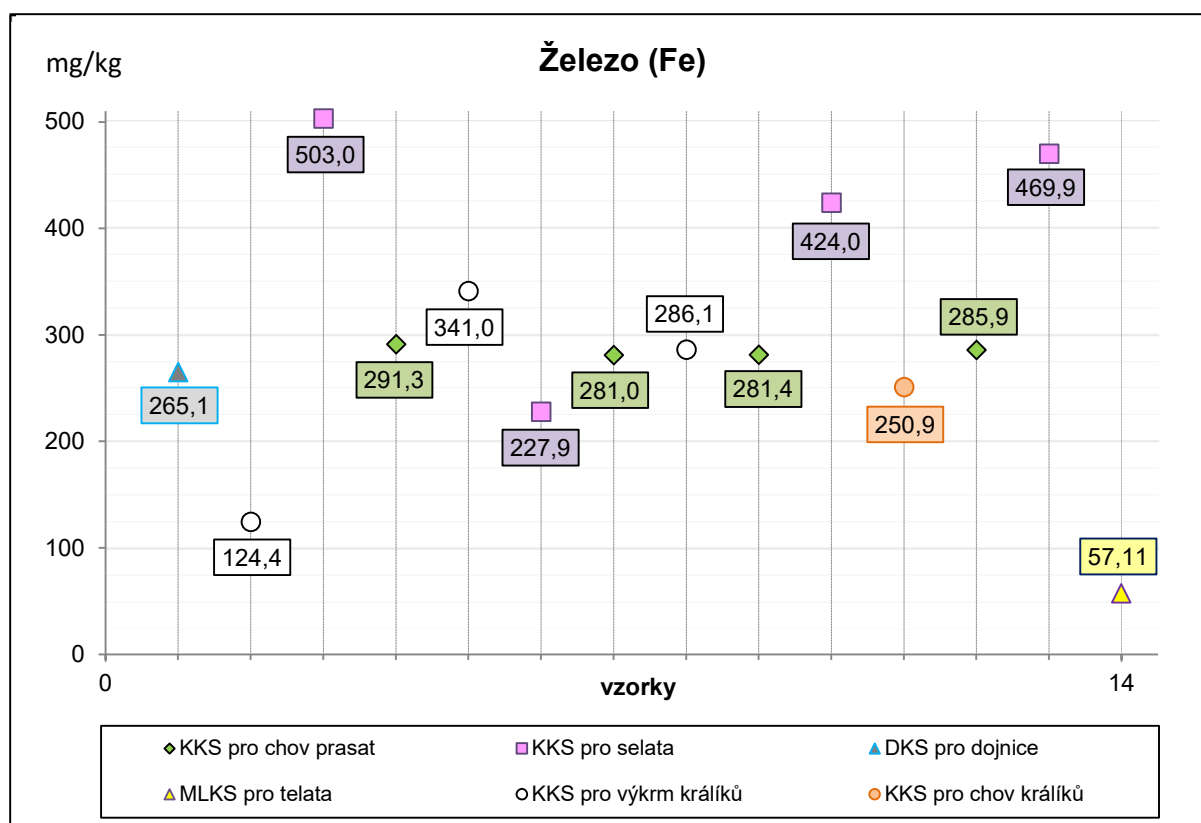
OSTATNÍ KRMNÉ SMĚSI

Graf 64 *Obsah mědi v ostatních krmných směsích***Graf 65** *Obsah zinku v ostatních krmných směsích (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)*

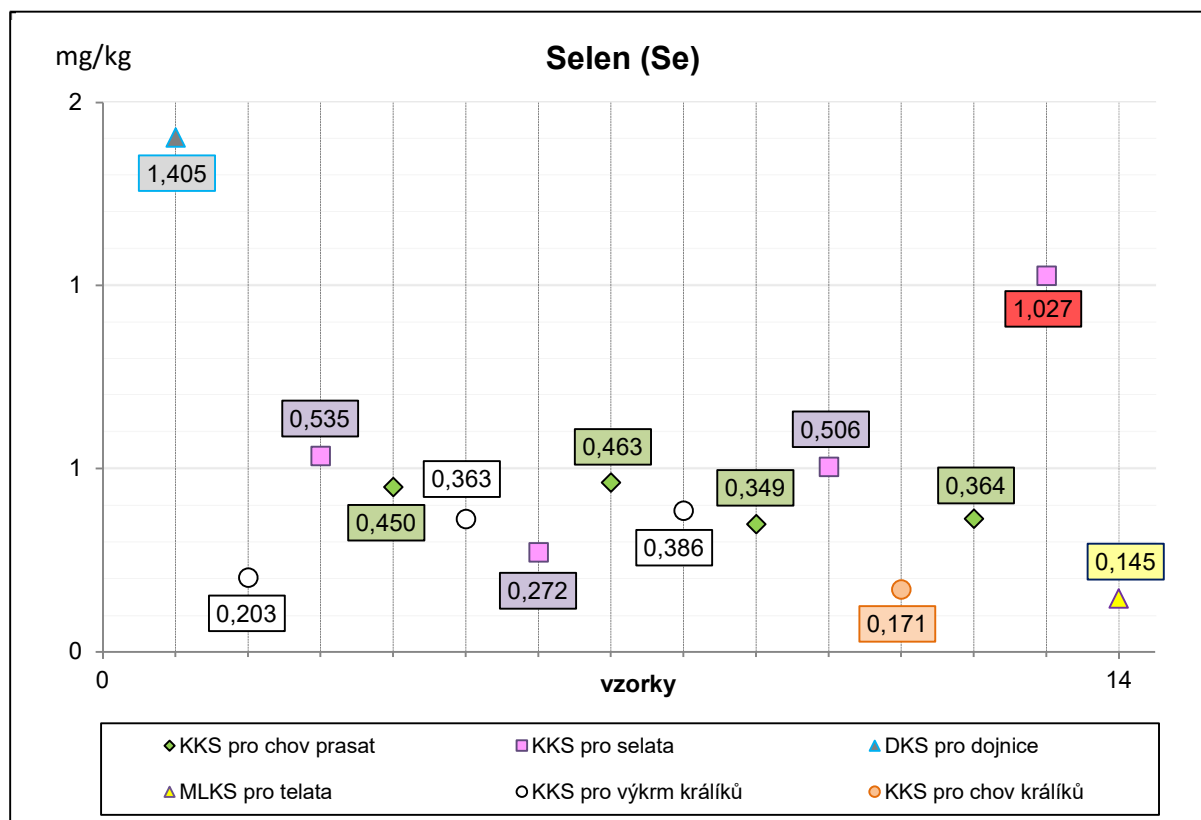
Graf 66 **Obsah manganu v ostatních krmných směsích (v červených polích hodnoty nevyhovujících vzorků)**



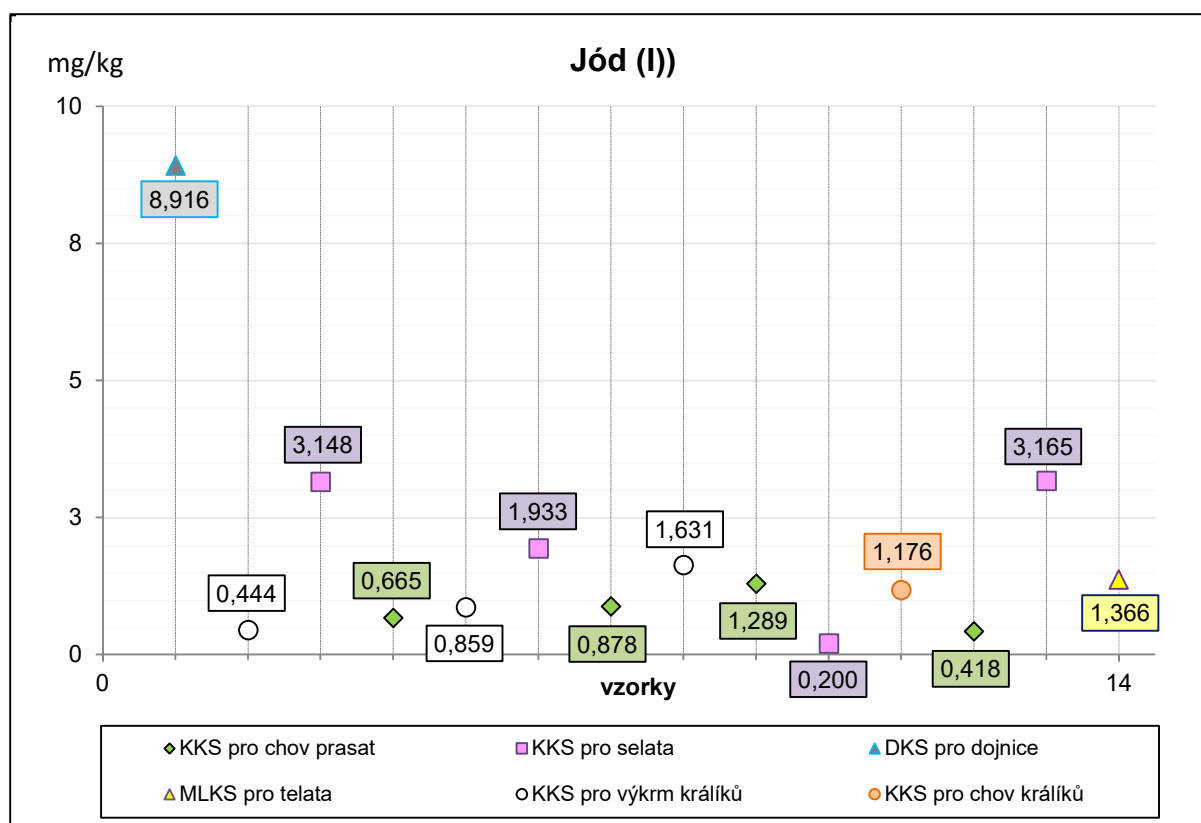
Graf 67 **Obsah železa v ostatních krmných směsích**

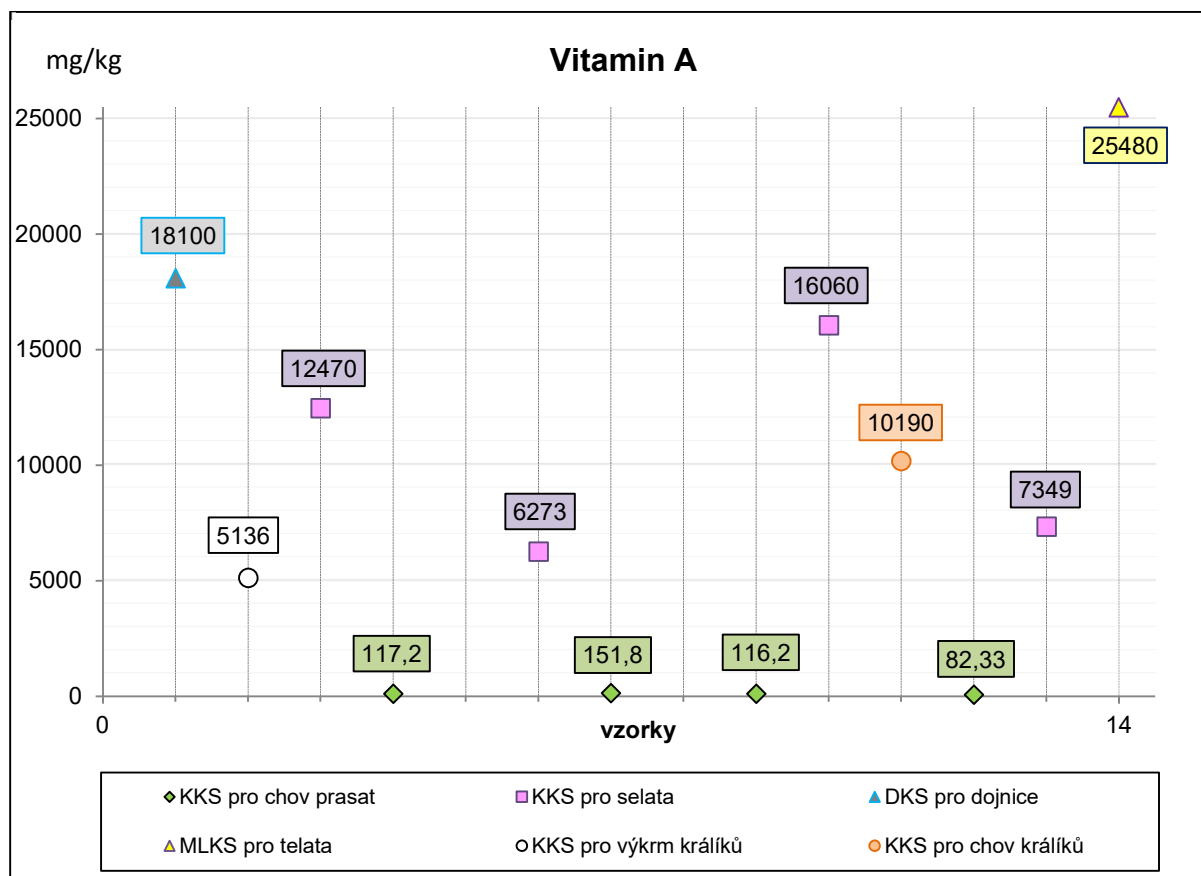
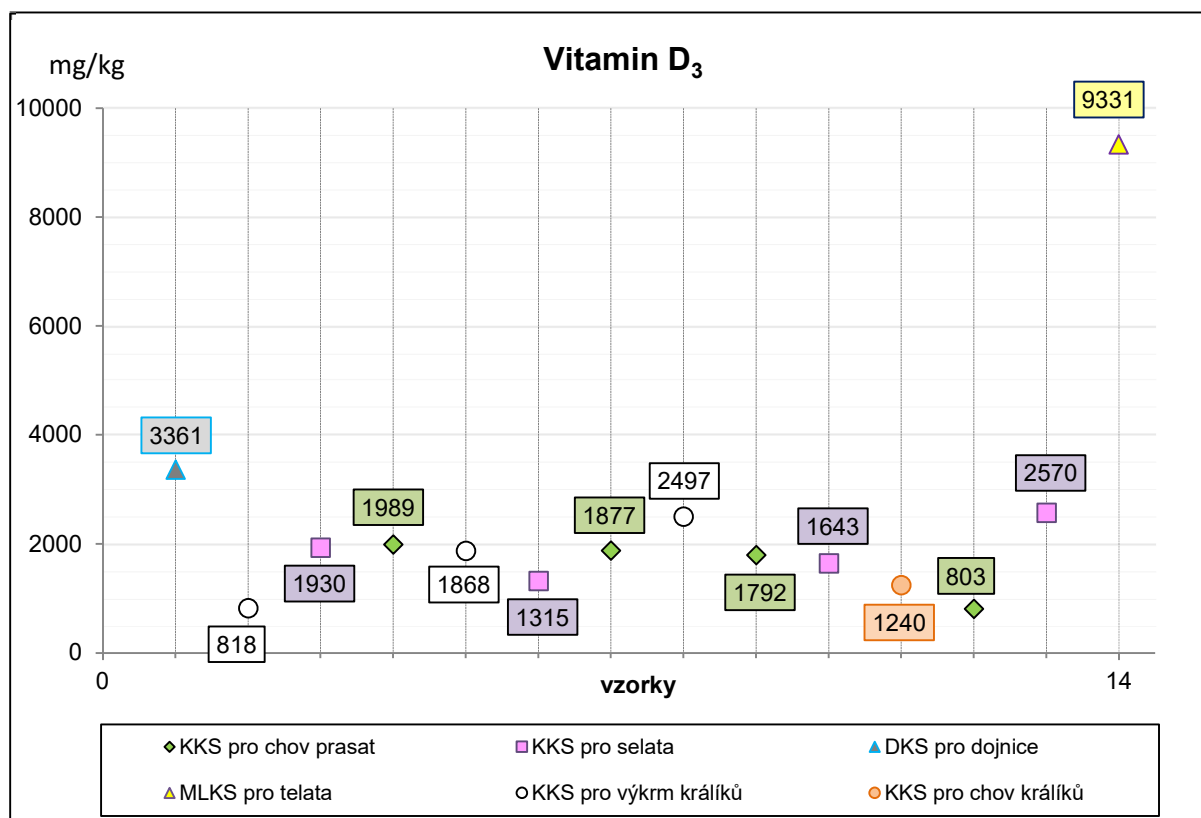


Graf 68 *Obsah selenu v ostatních krmných směsích (v červeném poli hodnota nevyhovujícího vzorku)*



Graf 69 *Obsah jódu v ostatních krmných směsích*

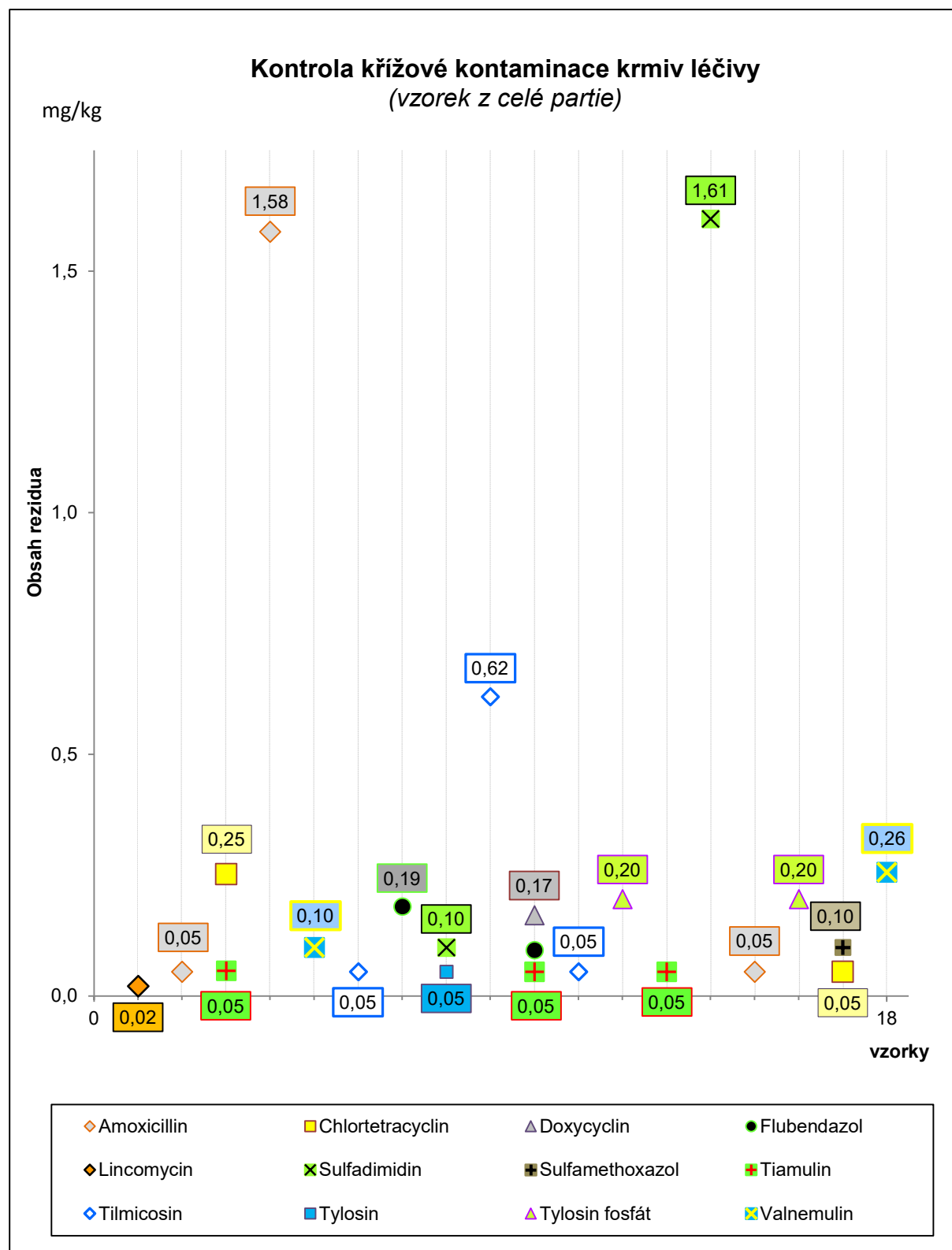


Graf 70 **Obsah vitamínu A v ostatních krmných směsích****Graf 71** **Obsah vitamínu D₃ v ostatních krmných směsích**

2.3.3 Cílená kontrola kontaminace krmiv léčivy

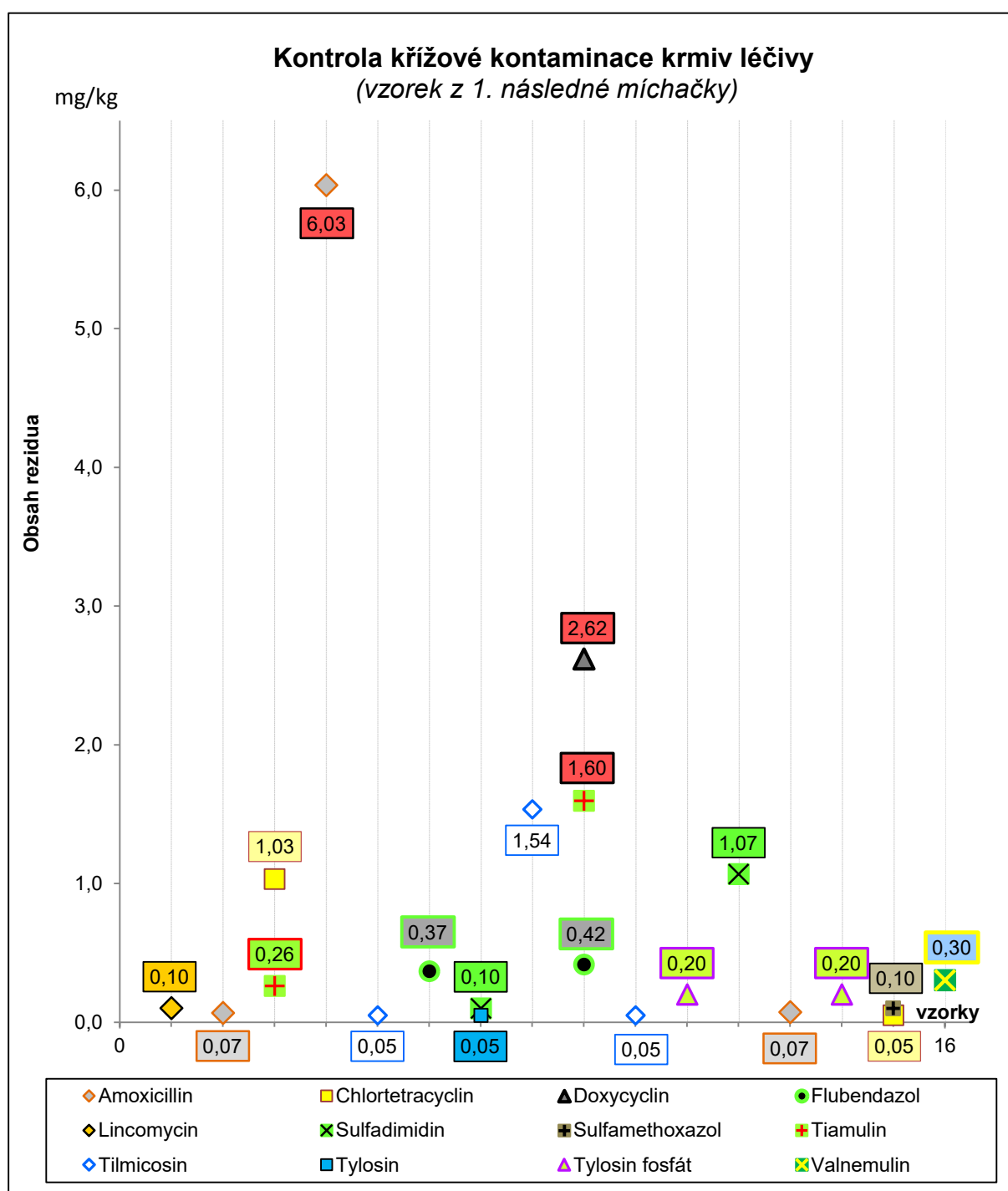
V rámci kontroly bylo odebráno 18 vzorků z celých partií krmných směsí, vyrobených ihned po medikovaných krmivech. Všechny vzorky vyhověly požadavku max. obsahu rezidua 1 %.

Graf 72 Křížová kontaminace léčivy u vzorků krmiv z celé partie



Rovněž byla sledována úroveň reziduí léčiva v první dávce krmiva, vyrobené bezprostředně po medikované krmné směsi. Kontrola je zaměřena na posouzení účinnosti dekontaminačního programu výrobní linky. Jako maximální vyhovující hladina byla po dohodě s ÚSKVBL stanovena přítomnost 1 % obsahu rezidua medikační látky, aplikované v předchozí výrobě. Bylo analyzováno 16 vzorků krmiv. Závadné byly 2 vzorky – doplňková směs pro telata ČOT překročením obsahu reziduí doxycyclinu a tiamulinu a kompletní směs pro selata ČOS nevyhověla obsahem amoxicilinu. Výrobcům krmiv byl uloženo opatření zvýšit účinnost dekontaminačního programu pro zabránění křížové kontaminace krmiv.

Graf 73 Křížová kontaminace léčivy u vzorků krmiv z 1. míchačky (v červených polích nevyhovující hodnoty)

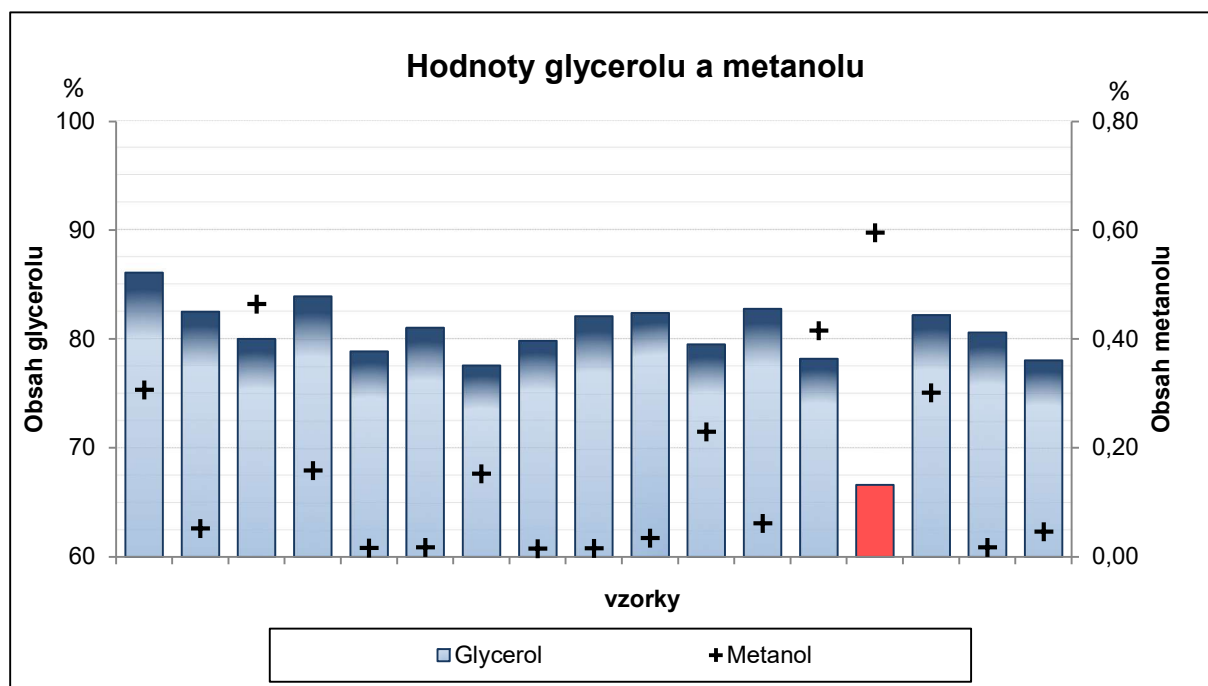


2.4 Sledování dalších bezpečnostních a jakostních ukazatelů

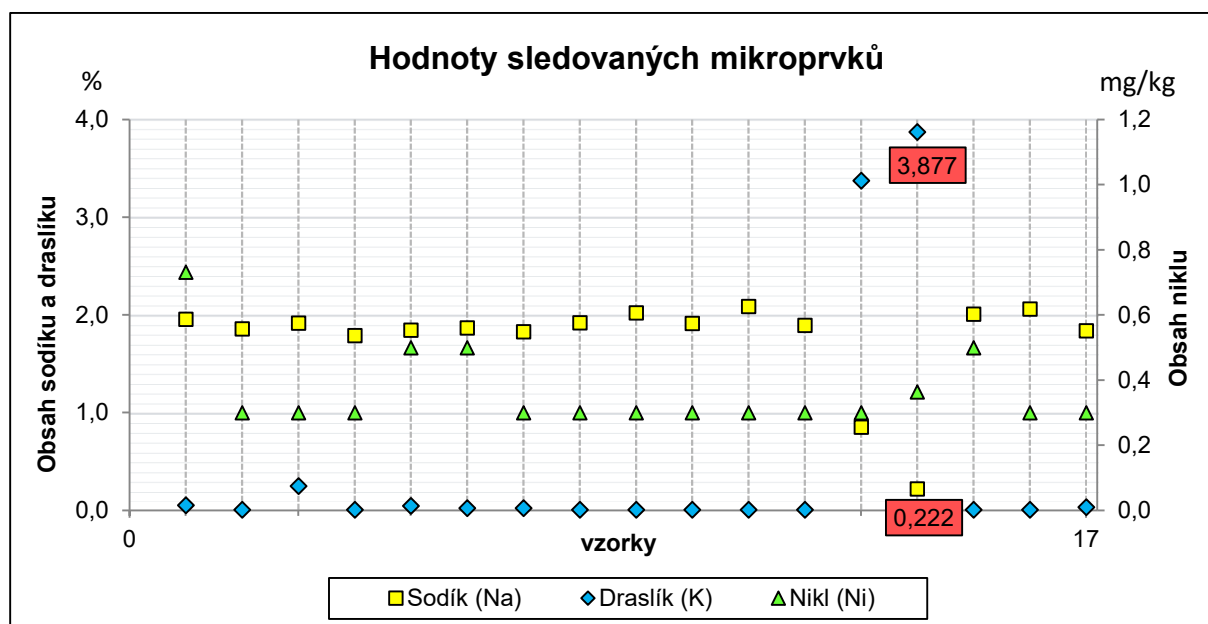
2.4.1 Cílená kontrola parametrů glycerolu, používaného jako krmná surovina

Bylo odebráno 17 vzorků surového glycerínu, u kterých byl sledován obsah metanolu a dodržení deklarovaného obsahu glycerolu, MONG (organické hmoty bez glycerolu), sodíku, draslíku, niklu a popela. Nevyhovující byl pouze 1 vzorek, u kterého nebyla dodržena deklarace glycerolu, sodíku i draslíku.

Graf 74 Zjištěný podíl glycerolu a metanolu v krmném glycerínu (červeně vyznačen nevyhovující vzorek)



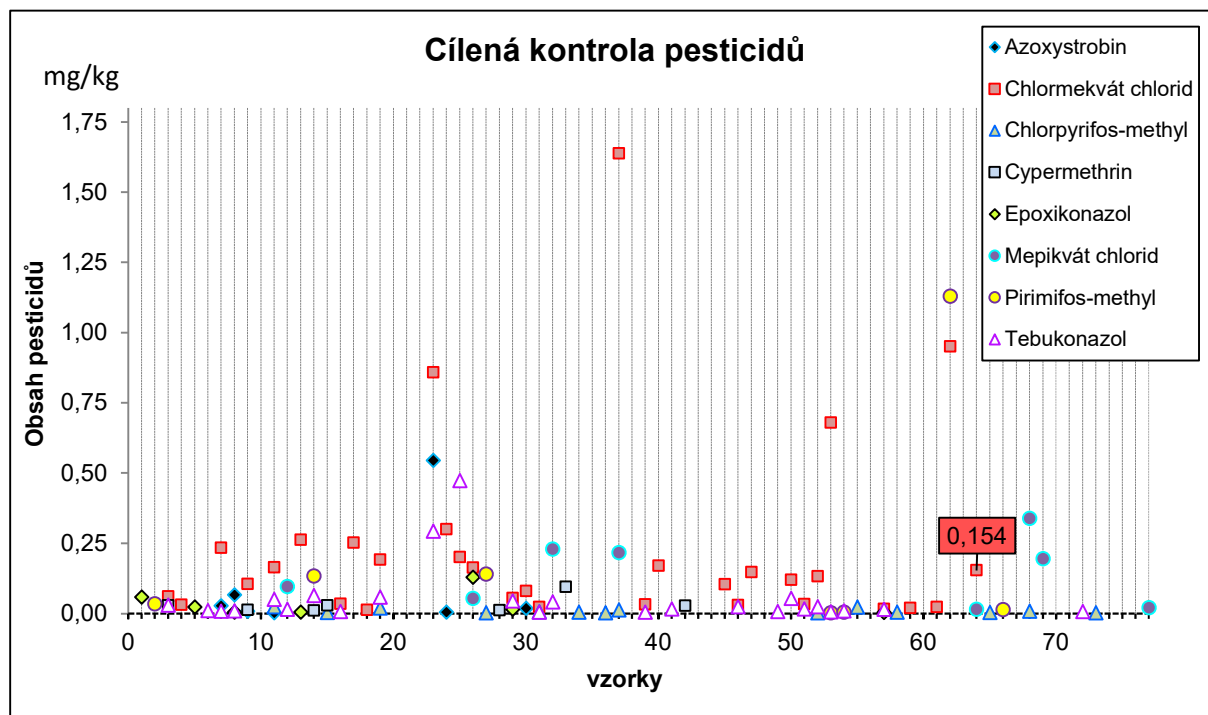
Graf 75 Zjištěné hodnoty sledovaných prvků v krmné surovině glycerínu (v červených polích nevyhovující deklarace)



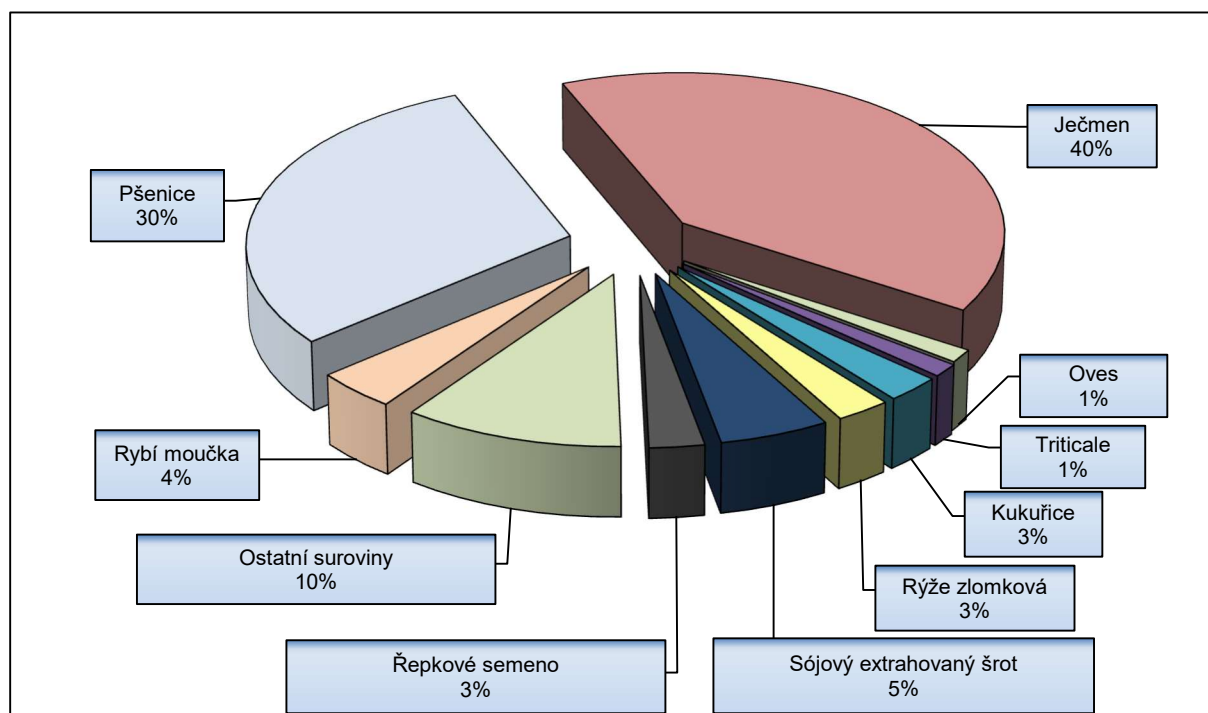
2.4.2 Cílená kontrola pesticidů

Přítomnost pesticidů byla ověřena u 77 vzorků, zejména obilovin. Byl zachycen 1 nevyhovující vzorku sójového extrahovaného šrotu s nadlimitním obsahem rezidua chlormekvát-chloridu. Závadná krmná surovina byla stažena z trhu.

Graf 76 Zjištěný obsah pesticidů v krmivech nad hranicí detekce přístrojů (v červeném poli nevyhovující hodnota)



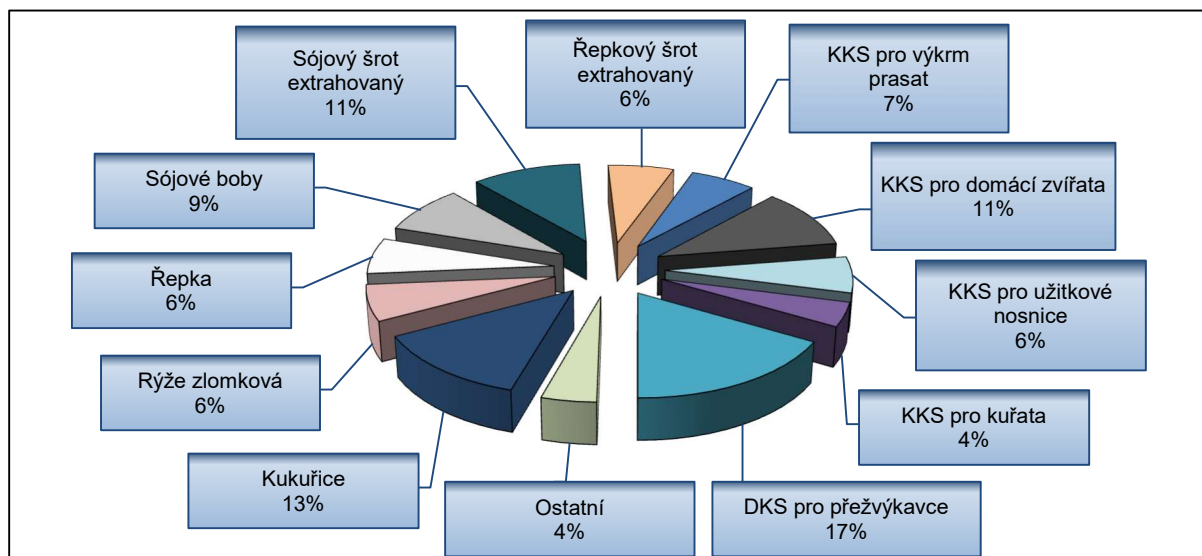
Graf 77 Zastoupení odebraných krmiv v rámci cílené kontroly reziduí pesticidů



2.4.3 Cílená kontrola přítomnosti a označování genetických modifikací v krmivech

V rámci kontroly se sleduje přítomnost povolených modifikací, náležité označení krmiv obsahujících GM složky a rovněž nepřítomnost modifikací nepovolených. Vzorkuje se zejména kukuřice, rýže, sója, řepka a kompletní i doplňkové krmné směsi. Pro kontrolu bylo odebráno 47 krmiv. Část vzorků byla analyzována v laboratoři VÚRV Ruzyně. Jako nevyhovující byly posouzeny 2 krmiva, vzorek sójového extrahovaného šrotu a vzorek KKS pro dokrm prasat, v obou případech byl zjištěn a nedeklarovaný obsah geneticky modifikované sóji

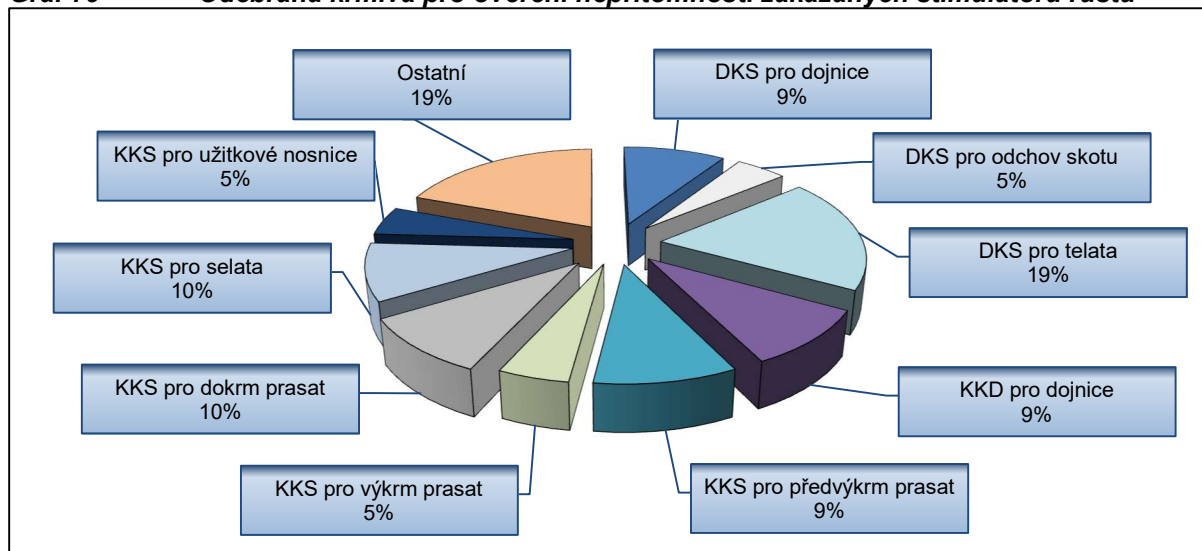
Graf 78 Zastoupení krmiv odebraných v rámci cílené kontroly přítomnosti GMO



2.4.4 Cílená kontrola výskytu zakázaných stimulátorů nebo inhibitorů růstu

Bylo prověřeno 21 vzorků převážně krmných směsí pro prasata a přežvýkavce, zda neobsahují nepovolené antibiotické stimulátory. Rovněž se kontrolují vedlejší výrobky procesů kvašení, zdali neobsahují antimikrobiální látky, které se používají při zpracování k regulaci kvasných procesů. Všechny vzorky byly vyhovující a obsah analytů se pohybovaly pod hranicí detekce.

Graf 79 Odebraná krmiva pro ověření nepřítomnosti zakázaných stimulátorů růstu



2.5 Závěr

V roce 2019 ÚKZÚZ v rámci cílené kontroly a monitoringu krmiv posoudil celkem 696 vzorků krmiv. Jako nevyhovující bylo vyhodnoceno 18 vzorků (2,6 %). Z tohoto počtu byla 3 krmiva se závažnou nejakostí více deklarovaných parametrů, 3 krmiva falšovaná, 1 krmivo nevhodné pro určený účel použití, 3 krmiva s nevyhovujícím obsahem reziduí, vyžadující nutnost úpravy systému dekontaminace výrobního zařízení po medikacích a rovněž bylo zjištěno 8 vzorků krmiv s ohroženou bezpečností, které byly neprodleně staženy z trhu. V předcházejícím roce 2018 cílené kontrole a monitoringu nevyhověl totožný podíl 2,6 % vzorků krmiv. Lze konstatovat, že v uplynulém roce 2019 byl zaznamenán setrvalý trend četnosti zjištění nevyhovujících vzorků a současně došlo ke zvýšení počtu nejzávažnějších případů krmiv s ohroženou bezpečností. V rámci analytických činností bylo provedeno celkem 22390 stanovení sledovaných parametrů, z toho nevyhovujících bylo 72 výsledků stanovení analytů.

V příštích letech bude ÚKZÚZ v kontrole výskytu zakázaných a nežádoucích látek u krmiv pokračovat. Zvýšená pozornost bude stále zaměřena na eliminaci rizika křížové kontaminace krmiv vyrobených po použití kokcidostatik a léčiv, zjišťování případů záměrného falšování krmiv a dodržování pravidel označování GMO krmiv.