

Česká republika - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně
organizační složka státu, se sídlem v Brně
Sekce zemědělských vstupů



Porovnání různých dávek hnojiva Rošťák

Výroční zpráva o výsledcích vegetační nádobové zkoušky za rok 2013

Zpracoval: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
Markéta Kučerová
Ing. Dušan Reiningger, Ph.D.
Ing. Lenka Prášková, Ph.D.

Schválil: **Ing. Vladimír Klement, CSc.**
vedoucí oddělení Výživy rostlin a zvířat

Předkládá: **Ing. Miroslav Florián, Ph.D.**
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Obsah

1 ÚVOD	3
2 MATERIÁL A METODY	5
2.1 Materiální zabezpečení	5
2.2 Půdní podmínky	5
2.3 Rozsah a způsob použití zkoušeného hnojiva	5
2.4 Chemické složení zkoušeného hnojiva	5
2.5 Aplikace základních živin a ověřovaného hnojiva v roce 2013	6
2.6 Technika provedení zkoušky v roce 2013:	7
2.7 Ochrana rostlin	7
2.8 Hodnocené parametry	8
2.9 Analýza hlavních komponent	8
3 VÝSLEDKY	9
3.1 Výnosy jednotlivých plodin	9
3.2 Anorganické rozbory rostlin	10
3.3 Analýza hlavních komponent – anorganické rozbory rostlin	11
3.4 Zhodnocení obsahu PAH v rostlinách	12
3.5 Analýza hlavních komponent PAH v rostlinách	14
3.6 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v rostlinách	15
3.7 Zhodnocení agrochemických rozborů půdních vzorků	16
3.8 Analýza hlavních komponent – anorganické rozbory půdy	17
3.9 Zhodnocení obsahu PAH v půdě	18
3.10 Analýza hlavních komponent PAH v půdě	19
3.11 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v půdě	20
4 ZÁVĚR	21
5 POUŽITÁ LITERATURA	22

1 ÚVOD

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) jsou sloučeniny složené z uhlovodíkových cyklů bez heterogenních atomů a substituentů. Vyskytují se především jako produkt nedokonalého spalování uhlíkatých paliv.

PAH se řadí mezi POPs. Doba setrvání různých skupin POPs v prostředí se může výrazně lišit, a to i v rámci PAH. Mnohé sloučeniny se v půdě samovolně rozkládají v rámci několika roků (naftalen, antracen), jiné sloučeniny, jako je např. BAP, jsou i v půdě relativně špatně rozložitelné, a to navzdory procesům degradace v půdním prostředí (mikrobiální činnost, fotolýza, hydrolýza atd.). Organické polutanty mohou vstupovat do rostlin několika způsoby. HOLOUBEK (2005) specifikuje příjem PAH vegetací následnými procesy:

- z půdního roztoku kořenem (závisí na vodním režimu rostliny a obsahu lipidických složek v kořenu, umožňujících snadnější sorpci do vnitřních pletiv),
- absorpcí PAH na povrch kořene,
- foliární příjem látek odpařených z půdního povrchu,
- absorpcí PAH na listovou plochu,
- některé PAH jsou syntetizovány přímo rostlinami.

Legislativně je v České republice problematika perzistentních organických polutantů (POPs) v zemědělských půdách zapracována do vyhlášky č. 13/1994 Sb. Protože hodnoty koncentrací POPs ve vyhlášce nebyly odvozeny z hodnot relevantních pro půdy ČR, nýbrž vznikly korekcí převzatých zahraničních hodnot, neprokázaly aktuální limitní hodnoty využitelnost pro hodnocení zátěže zemědělských půd. Z tohoto důvodu byly předloženy vědecky zdůvodnitelné limitní hodnoty obsahu POPs v podobě tzv. preventivního limitu, který byl odvozen z vrchní hranice požadovaných hodnot koncentrací POPs v našich zemědělských půdách (NĚMEČEK et al 1996). Tento návrh byl předložen k účelu novelizace vyhlášky č.13/1994 Sb. Vyšší úroveň limitních hodnot, zaměřená na přestup POPs ze zemědělských půd do potravního řetězce, není v současné době obecně k dispozici. K hodnocení vysokých zátěží se přistupuje prostřednictvím analýzy rizik, která je však odborně, časově a finančně náročná. Vyhláška č. 13/1994 Sb. pro PAH udává hodnotu přípustného znečištění půdy $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. (suma 7 PAH).

Hodnocení obsahu PAH ve vzorcích plodin je vzhledem k hygienickým normám problematické, a to z důvodu absence limitních hodnot pro PAH v české legislativě. V rámci EU byl zaveden limit pro obsah benzo(a)pyrenu v některých potravinách (nařízení 208/2005/ES).

Při hodnocení sumárních koncentrací skupiny látek vzhledem k rozdílným úrovním toxicity jednotlivých sloučenin byl zaveden princip tzv. ekvivalentů toxicity, který přiřazuje toxický ekvivalent jednotlivým sloučeninám. Toxické ekvivalenty byly odvozeny od humantoxikologických studií, zohledňujících karcinogenní riziko. Sčítáním součinů těchto ekvivalentů v oblasti zátěže PAHs jednotlivých sloučenin je získána výsledná sumární hodnota. Nejtoxičtějšími sloučeninami (toxický ekvivalent=1) jsou benzo(a)pyren (BAP) a ibenzo(a,h)antracen (DBA). Toxicita směsi se pak vyjadřuje jako suma toxických ekvivalentových faktorů (suma TEF) detailně popsáno v kap.3.6.

Účelem pokusu bylo posoudit, do jaké míry se případná zvýšená zátěž PAH a těžkých kovů z hnojiva Rošťák může projevit na zátěži pěstovaných rostlin.

Účel zkoušky: účelem postregistrační nádobové zkoušky je porovnání stupňovaných dávek hnojiva ROŠŤÁK na růst, výnos a kvalitativní vlastnosti plodin.

Druh zkoušky: vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2011 jako postregistrační ve vegetační hale ÚKZÚZ, Oddělení biologických testací v Brně.

Trvání zkoušky: vegetační rok 2011 - 2013

Kombinace hnojení:

1. Kontrola
2. Rošťák 1 t/ha
3. Rošťák 2 t/ha
4. Rošťák 5 t/ha

Zkoušené plodiny v roce 2013

Zkoušené plodiny:

- A. Paprika roční:** odrůda Amy F1
- B. Pšenice jarní:** odrůda Tercie
- C. Ječmen jarní:** odrůda Sladar
- D. Kozlíček polníček:** odrůda Larged Leaved

Rozsah zkoušky: 152 nádob

- A. Paprika roční:** opakování 12 x tj. $12 \times 4 = 48$
- B. Pšenice jarní:** opakování 10 x tj. $10 \times 4 = 40$
- C. Ječmen jarní:** opakování 8 x tj. $8 \times 4 = 32$
- D. Kozlíček polníček:** opakování 8 x tj. $8 \times 4 = 32$

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Materiální zabezpečení

Vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2011 jako přesná ve vegetační hale ÚKZÚZ, Odboru bezpečnosti krmiv a půdy v Brně.

2.2 Půdní podmínky

K založení zkoušky byla použita ručně odebraná svrchní vrstva ornice z lokality Stará Pošta u Rajhradu

Tab.2.1: Základní agrochemické vlastnosti - stav půdy před založením zkoušky

Půdní reakce (pH/CaCl ₂)	Obsah živin ve výluhu Mehlich III [mg.kg ⁻¹] a kritéria hodnocení			
	P	K	Mg	Ca
7,4	11	130	346	5030
neutrální	nízký	vyhovující	velmi vysoký	velmi vysoký

2.3 Rozsah a způsob použití zkoušeného hnojiva

ROŠŤÁK je hnojivo na bázi rostlinného popele, má charakter organominerálního draselno-vápenatého hnojiva. Je ve formě sypkého hygroskopického prášku charakteristické barvy s případnou příměsí karbonizované biomasy. Kromě významného množství draslíku a vápníku obsahuje též menší množství hořčíku a fosforu a zbytky dusíku. Hnojivo se získává z podroštového popele ze spalování biomasy a z popílku zachyceného při spalování biomasy ve filtrech.

Hnojivo vyrobené na bázi rostlinného popele umožňuje návrat rostlinných živin obsažených v energeticky využívané biomase zpět do půdy. Hnojivo se používá na pozvolnější úpravu půdní reakce a k zlepšení fyzikálně chemických vlastností půdy. Část obsahu draslíku, asi 50 %, je pomalu rozpustná. Přítomnost částečně zkarbonizované rostlinné hmoty zvyšuje agronomickou účinnost hnojiva.

2.4 Chemické složení zkoušeného hnojiva

Chemické složení hnojiva ROŠŤÁK (hnojivo na bázi rostlinného popele)

Výrobce: Energetické centrum s.r.o., Otín č.p. 3, 37701 Jindřichův Hradec

Chemické a fyzikální vlastnosti:

Vlastnost:	Hodnota:
Vlhkost v %	max. 25,0
Spalitelné látky v % ¹⁾	max. 20,0
Celkový draslík jako K ₂ O v % ¹⁾	min 10,0
Vápník jako CaO v % ¹⁾	min 5,0
Obsah částic pod 0,5 mm ¹⁾	min 30,0
Obsah částic nad 5 mm ¹⁾	max. 30,0
Hodnota pH	9,5 až 11,5

¹⁾ ve vysušeném vzorku

Obsah těžkých kovů v hnojivu podle nového ještě neschváleného návrhu vyhlášky 474/2000 Sb. **splňuje** zákonem stanovené limity v mg.kg⁻¹ sušiny popele ze samostatného spalování biomasy u Cd (5), Pb (50), Hg (0,5), Cr (50). Obsah sumy 12 PAH (suma antracenu, benzo(a)antracenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(k)fluoranthenu, benzo(a)pyrenu, benzo(ghi)perylenu, fenantrenu, fluoranthenu, chryseny, indeno (1,2,3-cd)pyrenu, naftalenu a pyrenu) **byl překročen** o **253,5** mg/kg. Limitní hodnota je 20 mg/kg.

Tab.2.2: Analýzy PAH v hnojivu Rošťák [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]

Analyt	Hodnota	Analyt	Hodnota
SUSINPRP	92,5 %	CHR_UG_Q	5710
NAP_UG_Q	48400	CHR_UG_P	5280
NAP_UG_P	44800	BBF_UG_Q	6680
ANY_UG_Q	36800	BBF_UG_P	6180
ANY_UG_P	34000	BKF_UG_Q	2530
ANA_UG_Q	402	BKF_UG_P	2340
ANA_UG_P	372	BAP_UG_Q	9700
FLU_UG_Q	500	BAP_UG_P	8970
FLU_UG_P	462	DBA_UG_Q	168
PHE_UG_Q	46800	DBA_UG_P	155
PHE_UG_P	43300	BPE_UG_Q	15800
ANT_UG_Q	6220	BPE_UG_P	14600
ANT_UG_P	5750	IPY_UG_Q	6700
FLT_UG_Q	59100	IPY_UG_P	6200
FLT_UG_P	54700	Σ dle vyhl. č. 13/1994 Sb.	179 920 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
PYR_UG_Q	61900	Σ zbývajících	419 579 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
PYR_UG_P	57300	Σ všech PAH	599 499 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
BAA_UG_Q	3990	Σ dle návrhu vyhl. č. 474/2000 Sb.	273 530 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
BAA_UG_P	3690		

Analýzy provedla NRL Opava v červnu 2011.

2.5 Aplikace základních živin a ověřovaného hnojiva v roce 2013

Tab.2.3: Dávky základních živin a hnojiva Rošťák v roce 2013

Kombinace hnojení	Počet opakování	Dávky základních živin (g)			Rošťákem dodáno K_2O g	ROŠŤÁK g
		N/MO	$\text{P}_2\text{O}_5/\text{SP}$	$\text{K}_2\text{O}/\text{KCl}$		
A. Paprika roční						
1. Kontrola	12	2,6	2	2,00	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	12	2,6	2	1,56	0,44	4,90
3. Rošťák 2 t/ha	12	2,6	2	1,12	0,88	9,80
4. Rošťák 5 t/ha	12	2,6	2	0	2,21	24,5
B. Ječmen jarní						
1. Kontrola	10	1,2	1	1	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	10	1,2	1	1	0,31	3,46
3. Rošťák 2 t/ha	10	1,2	1	1	0,62	6,92
4. Rošťák 5 t/ha	10	1,2	1	1	1,30	17,3
C. Pšenice jarní						
1. Kontrola	8	1,2	1	1	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	4	1,2	1	1	0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	4	1,2	1	1	0,31	3,46
3. Rošťák 2 t/ha	4	1,2	1	1	0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	4	1,2	1	1	0,62	6,92
4. Rošťák 5 t/ha	4	1,2	1	1	0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	4	1,2	1	1	1,30	17,3
D. Kozlíček polníček						
1. Kontrola	8	0,3	0,4	0,4	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0,28	3,14
3. Rošťák 2 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0,56	6,28
4. Rošťák 5 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	1,43	15,7

Základní hnojení NPK bylo provedeno před výsevem s dostatečným časovým předstihem. Dusík byl aplikován ve formě močoviny, fosfor byl aplikován ve trojitěm superfosfátu, dohnojení draslíkem bylo v KCl.

Podle obsahu živin je Rošťák draselné hnojivo s 10 % K₂O. Obsah draslíku je kritériem pro výpočet dávky hnojiva. Minerální hnojení K je u kontroly navrženo jako optimální dávka (liši se nároky plodiny). U dalších kombinací (2-4) je odečteno množství draslíku dodané hnojivem Rošťák.

Aplikace hnojiva Rošťák byla provedena před výsevem plodin v 1. a ve 3. pokusném roce. Ve 2. a 3. pokusném roce u pšenice a kozlíčku byly kombinace rozděleny, přičemž u poloviny se hnojivo Rošťák neaplikovalo a hodnotilo se jeho následné působení (kombinace 2, 3, 4). U druhé poloviny nádob (kombinace 2a, 3a, 4a) bylo použito hnojivo Rošťák opakovaně, čímž se uměle simulována zátěž jeho každoroční aplikace.

2.6 Technika provedení zkoušky v roce 2013:

a) založení: pro papriku byly použity plastové nádoby (ø 25 cm) s navázkou 10 kg zeminy, pro pšenici a ječmen plastové nádoby (ø 21 cm) s navázkou 5 kg zeminy, pro kozlíček klasické Mitscherlichovy nádoby s náplní zeminy 6 kg (ø 20 cm).

b) aplikace: hnojivo Rošťák bylo naaplikováno dne 27.3.2013 podle výše uvedeného schématu zapravením do 2/3 zemin v nádobě a důkladně promícháno se zeminou.

c) výsev: do každé nádoby bylo vyseto dne 11.4. 28 zrn ječmene a pšenice, 12.4. 18 semen kozlíčku do nádoby. Paprika byla vyseta 20.2. do výsevového substrátu a výsevy umístěny v teplém skleníku.

d) jednocení: pšenice a ječmen byly vyjednoceny 23.4. na 21 stejných rostlin v každé nádobě, polníček 6.5. na 10 rostlin v nádobě. Papriky byly vysázeny do nádob 15.5.

e) sklizeň: ječmene proběhla 23.7., pšenice 25.7. a kozlíčku 17.6. Papriky se sklízely postupně ve 4 termínech : 30.7., 9.8., 27.8. a 2.9.

f) závlivka: vlhkost zeminy v nádobách byla udržována pravidelnou závlivkou demineralizovanou vodou na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity. Voda byla upravena reverzní osmózou MID 50 K (Pharmapur řady Aqua Complet).

2.7 Ochrana rostlin

V průběhu vegetace bylo provedeno ošetření povolenými přípravky na ochranu rostlin

Tab.2.4: Přehled použitých přípravků na ochranu rostlin

Plodina	datum	přípravek	koncentrace	škůdce, choroba
A. Paprika roční	22.6. 28.6.	Vertimec 1,8 vc	0,1%	třásněnka
	6.7.	Mospilan 20 SP	0,02%	molice
	14.7.	Vertimec 1,8 vc	0,1%	třásněnka
	23.8.	Chess 50 WG	0,07%	molice
D. Kozlíček polníček	6.6.	Falcon 460 EC	0,06%	prevence

2.8 Hodnocené parametry

V ověřovaném hnojivu bylo stanoveno:

Těžké kovy rozkladem lučavkou královskou, PAH (laboratoř ÚKZÚZ). Obsahy daných těžkých kovů a PAH byly stanovovány v hnojivu před založením zkoušky v roce 2011 a jsou uvedeny v kapitole 2.4 Chemické složení zkoušeného hnojiva.

Agrochemické vlastnosti půdy:

Po sklizni každé plodiny byl odebrán průměrný vzorek půdy z každé kombinace hnojení. *Technika provedení odběru:* půda z každé nádoby byla vysypána, důkladně promíchána a z ní odebrán vzorek. Individuální vzorky dohromady vytvořily jeden směsný vzorek z kombinace na stanovení:

pH/CaCl₂, zásoba přístupného P, K, Ca, Mg (Mehlich III) + těžkých kovů rozkladem lučavkou královskou, PAH.

Po odebrání vzorku byla zemina vrácena zpět do nádoby. Posklizňové zbytky byly uloženy na dno nádoby. Nádoby zůstaly přes zimu na původním stanovišti, přikryté miskami.

Hodnocení výnosů: ihned po sklizni byly zjištěny výnosy čerstvé hmoty z každé vegetační nádoby. Poté byly vzorky upraveny a volně usušeny ve skleníku. Zjištěna byla hmotnost vzorků v suchém stavu.

Anorganické rozborů rostlin: sušina, N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Hg.

2.9 Analýza hlavních komponent

Analýza hlavních komponent (PCA) Principal component analysis se zabývá možností redukce počtu proměnných pomocí tzv. hlavních komponent, kterými se popisuje variabilita všech proměnných a vztahy mezi nimi. Všechny proměnné mají stejný status. Hlavní komponenty vznikají jako lineární kombinace původních proměnných. Zkoumání hodnot nových proměnných (hlavních komponent) místo původních hodnot nám mnohdy umožňuje snadněji porozumět posuzovaným datům. Při analýze hlavních komponent, doufáme, že pouze několik z nich má nezanedbatelný rozptyl. Ostatní pak můžeme při analýze zanedbat. Tím dosáhneme úspornější popis chování původních proměnných pomocí menšího počtu nových proměnných. V datech však musí být pro tuto redukci předpoklady, tedy, že musí být mezi sebou silně korelována (Hendl, 2004).

Před vlastní analýzou hlavních komponent jsou data předupravena standardizací. Standardizace znamená odstranění závislosti na jednotkách a na parametru polohy respektive i rozptýlení. Po provedené standardizaci můžeme pomocí vah přiřadit znakům různou důležitost (Meloun, 2011).

Vedení nádobové zkoušky a zpracování výsledků bylo prováděno v souladu s Metodickým pokynem č. 5/OBKP Základní metodika přesných polních a nádobových zkoušek.

3 VÝSLEDKY

3.1 Výnosy jednotlivých plodin

Tab.3.1: Hmotnost papriky, ječmene, pšenice a kozlíčku na nádobu

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos [g]	Pořadí výnosů	Relativní srovnání [%]
A. Paprika			
1.Kontrola	827	2	100
2.Rošťák 1t/ha	960	1	116
3.Rošťák 2t/ha	769	4	93
4.Rošťák 5t/ha	812	3	98
B.Ječmen - zrno			
1.Kontrola	29,4	4	100
2.Rošťák 1t/ha	34,9	3	119
3.Rošťák 2t/ha	36,5	2	124
4.Rošťák 5t/ha	38,2	1	130
B.Ječmen - sláma			
1.Kontrola	37,2	4	100
2.Rošťák 1t/ha	38,6	3	104
3.Rošťák 2t/ha	40,5	2	109
4.Rošťák 5t/ha	42,0	1	113
C.Pšenice zrno			
1. Kontrola	10,8	7	100
2. Rošťák 1 t/ha	15,9	6	147
2a. Rošťák 1 t/ha	18,9	4	175
3. Rošťák 2 t/ha	18,6	5	172
3a. Rošťák 2 t/ha	21,4	2	198
4. Rošťák 5 t/ha	20,7	3	191
4a. Rošťák 5 t/ha	22,3	1	206
C.Pšenice sláma			
1. Kontrola	15,0	7	100
2. Rošťák 1 t/ha	17,0	6	113
2a. Rošťák 1 t/ha	20,4	4	136
3. Rošťák 2 t/ha	19,5	5	130
3a. Rošťák 2 t/ha	22,1	2	147
4. Rošťák 5 t/ha	21,0	3	140
4a. Rošťák 5 t/ha	25,8	1	172
D.Kozlíček polníček			
1. Kontrola	8,17	7	100
2. Rošťák 1 t/ha	9,90	2	121
2a. Rošťák 1 t/ha	10,1	1	124
3. Rošťák 2 t/ha	9,37	4	115
3a. Rošťák 2 t/ha	9,25	5	113
4. Rošťák 5 t/ha	8,81	6	108
4a. Rošťák 5 t/ha	9,65	3	118

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávce 1, 2, 5 t/ha
2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák ve **druhém i ve třetím roce** pokusu v dávce 1, 2, 5 t/ha

Aplikace hnojiva Rošťák se pozitivně projevila na vyšším výnosu pěstovaných plodin. Dávka 1 t/ha zvýšila výnos u papriky o 16 %. Dávka 5t/ha navýšila výnos zrna ječmene (o 30%) a slámy ječmene (o 13 %). Opakovaná aplikace hnojiva Rošťák ve 3. pokusném roce (kombinace

hnojení 2a, 3a, 4a) podpořila výnos zrna i slámy pšenice (u zrna komb.4a o 106%). Také u kozlíčku byl zvýšen výnos u všech kombinací oproti kontrole.

3.2 Anorganické rozborů rostlin

Pro analýzu rostlin byly odebrány reprezentativní vzorky z každé kombinace hnojení.

Tab.3.2: Zhodnocení obsahu makroelementů a těžkých kovů (TK) v rostlinné hmotě

Kombinace hnojení		sušina [%]	Makroelementy v sušině [%]					TK v sušině [mg.kg ⁻¹]		
			N	P	K	Mg	Ca	Cd	Pb	Zn
Paprika										
1.Kontrola	P-K	93,2	3,08	0,28	4,47	0,64	1,92	0,24	<0,1	19,2
2.Rošťák 1t/ha	P-1	93,0	2,94	0,30	3,86	0,59	1,94	0,23	0,12	21,0
3.Rošťák 2t/ha	P-2	93,7	2,57	0,27	3,76	0,53	1,85	0,24	0,23	20,3
4.Rošťák 5t/ha	P-5	93,6	2,61	0,33	4,98	0,44	1,61	0,16	<0,1	18,3
Ječmen - zrno										
1.Kontrola	J-zr-K	89,0	2,61	0,43	0,69	0,14	0,04	0,06	<0,5	36,0
2.Rošťák 1t/ha	J-zr-1	88,8	2,56	0,43	0,67	0,14	0,05	0,07	<0,5	35,9
3.Rošťák 2t/ha	J-zr-2	88,7	2,29	0,39	0,64	0,13	0,03	<0,05	<0,5	33,8
4.Rošťák 5t/ha	J-zr-5	88,9	2,31	0,42	0,67	0,13	0,04	<0,05	<0,5	35,4
Ječmen - sláma										
1.Kontrola	J-sl-K	88,5	1,05	0,23	2,80	0,19	0,84	0,21	<0,5	13,6
2.Rošťák 1t/ha	J-sl-1	88,3	0,81	0,11	2,47	0,22	0,94	0,26	0,78	18,6
3.Rošťák 2t/ha	J-sl-2	89,5	0,73	0,06	2,25	0,20	0,83	0,37	<0,5	10,8
4.Rošťák 5t/ha	J-sl-5	89,3	0,69	0,07	3,01	0,15	0,69	0,28	1,01	10,5
Pšenice - zrno										
1. Kontrola	P-zr-K	88,5	3,75	0,46	0,67	0,14	0,18	0,12	<0,5	34,1
2. Rošťák 1 t/ha	P-zr-1	88,7	3,36	0,47	0,66	0,12	0,12	0,14	<0,5	37,1
2a. Rošťák 1 t/ha	P-zr-1a	88,7	3,37	0,45	0,65	0,12	0,09	0,16	<0,5	42,3
3. Rošťák 2 t/ha	P-zr-2	88,7	3,40	0,49	0,70	0,13	0,10	0,15	<0,5	45,8
3a. Rošťák 2 t/ha	P-zr-2a	88,5	3,41	0,47	0,69	0,13	0,07	0,14	<0,5	42,1
4. Rošťák 5 t/ha	P-zr-5	88,6	3,42	0,46	0,70	0,11	0,07	0,17	<0,5	42,5
4a. Rošťák 5 t/ha	P-zr-5a	88,5	3,39	0,46	0,71	0,12	0,07	0,14	<0,5	43,9
Pšenice - sláma										
1. Kontrola	P-sl-K	89,3	1,31	0,16	2,18	0,27	2,22	0,29	<0,5	11,1
2. Rošťák 1 t/ha	P-sl-1	89,8	1,10	0,19	2,53	0,22	1,63	0,42	<0,5	14,6
2a. Rošťák 1 t/ha	P-sl-1a	89,9	1,07	0,15	3,16	0,17	1,08	0,54	<0,5	15,8
3. Rošťák 2 t/ha	P-sl-2	90,0	1,07	0,20	2,81	0,20	1,47	0,31	<0,5	15,7
3a. Rošťák 2 t/ha	P-sl-2a	89,9	1,04	0,16	3,59	0,18	1,00	0,48	<0,5	18,1
4. Rošťák 5 t/ha	P-sl-5	89,9	1,06	0,18	3,16	0,18	0,92	0,34	<0,5	18,9
4a. Rošťák 5 t/ha	P-sl-5a	89,6	1,21	0,16	4,23	0,16	0,86	0,50	<0,5	20,3
Kozlíček polníček										
1. Kontrola	Ko-K	88,2	3,14	0,42	3,97	0,72	1,64	<0,05	<0,5	39,1
2. Rošťák 1 t/ha	Ko-1	88,6	2,97	0,38	3,68	0,71	1,57	<0,05	<0,5	44,2
2a. Rošťák 1 t/ha	Ko-1a	88,5	2,91	0,41	4,20	0,65	1,55	<0,05	<0,5	37,5
3. Rošťák 2 t/ha	Ko-2	88,4	2,89	0,42	3,57	0,72	1,71	<0,05	<0,5	33,9
3a. Rošťák 2 t/ha	Ko-2a	88,5	2,77	0,40	4,41	0,57	1,64	<0,05	<0,5	32,3
4. Rošťák 5 t/ha	Ko-5	88,1	3,17	0,40	4,02	0,69	1,62	<0,05	<0,5	40,1
4a. Rošťák 5 t/ha	Ko-5a	87,8	3,01	0,44	5,23	0,50	1,56	<0,05	<0,5	38,0

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávce 1, 2, 5 t/ha
 2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **ve druhém i ve třetím roce** pokusu v dávce 1, 2, 5 t/ha

Nejvyšší průměrné hodnoty Cd byly naměřeny u pšenice slámy (0,41 mg.kg⁻¹), přičemž je patrný rozdíl mezi kombinacemi nehnojenými a hnojenými i ve třetím roce pokusu. V případě kozlíčku, který byl rovněž rozdělen jako pšenice na kombinace nehnojené a hnojené ve třetím roce, se tento trend neprojevil (tab, 3.2). Průměrné hodnoty Cd u slámy ječmene byly 0,28 mg.kg⁻¹, zrna ječmene 0,05 mg.kg⁻¹ a u zrna pšenice (0,15 mg.kg⁻¹). U plodů paprik 0,22 mg Cd.kg⁻¹.

3.3 Analýza hlavních komponent – anorganické rozbory rostlin

Tab.3.3: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
N	0,910	0,253	-0,026
P	0,983	0,090	-0,027
K	-0,453	0,825	0,060
Mg	0,081	0,969	0,141
Ca	-0,454	0,854	-0,054
Cd	-0,807	-0,291	-0,369
Pb	-0,393	-0,278	0,864
Zn	0,947	0,022	0,089

Vysvětlivky:

Faktor1 ... první hlavní komponenta
Faktor2, Faktor3, druhá hlavní komponenta, třetí, ...

Tab.3.4: Tabulka korelační analýzy – všechny vzorky

Proměnná	N	P	K	Mg	Ca	Cd	Pb	Zn
N	1,00	0,93	-0,20	0,31	-0,19	-0,72	-0,41	0,84
P	0,93	1,00	-0,35	0,14	-0,36	-0,80	-0,43	0,92
K	-0,20	-0,35	1,00	0,74	0,85	0,14	0,01	-0,37
Mg	0,31	0,14	0,74	1,00	0,78	-0,39	-0,18	0,12
Ca	-0,19	-0,36	0,85	0,78	1,00	0,13	-0,10	-0,43
Cd	-0,72	-0,80	0,14	-0,39	0,13	1,00	0,13	-0,74
Pb	-0,41	-0,43	0,01	-0,18	-0,10	0,13	1,00	-0,29
Zn	0,84	0,92	-0,37	0,12	-0,43	-0,74	-0,29	1,00

Vysvětlivky:

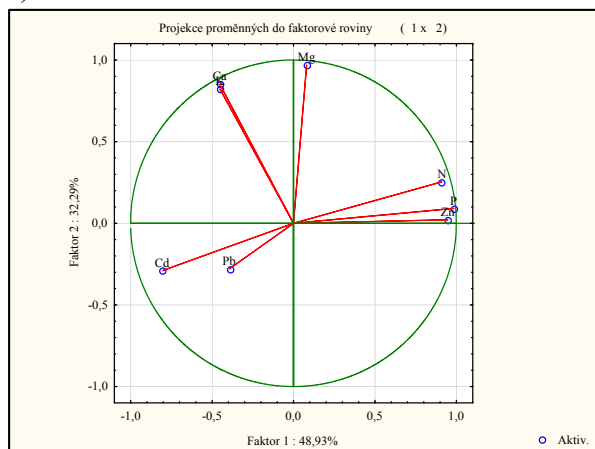
Červeně označené hodnoty jsou statisticky významné na hladině $p < 0,05$

První hlavní komponenta (Faktor 1) vysvětluje asi 49% celkové variability v datech. S touto komponentou pozitivně koreluje obsah N, P a Zn a negativně obsah Cd v rostlině. Zejména mezi obsahem N a Cd je zjištěna silně negativní korelace. Mezi P a Zn je zjištěna silně pozitivní korelace (tab. 3.4, graf 3.1).

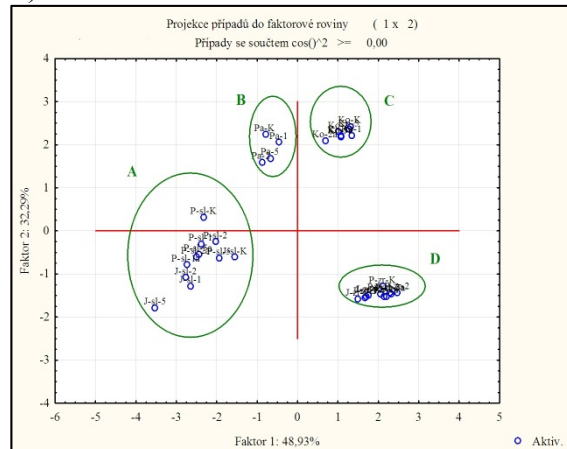
Druhá hlavní komponenta (Faktor 2) vysvětluje asi 32% celkové variability v datech. S touto komponentou pozitivně koreluje obsah Ca, K a Mg (tab. 3.3, graf 3.1a). Mezi Ca a K je zjištěna silně pozitivní korelace (tab. 3.4, graf 3.1).

Graf 3.1 Rozložení makroelementů a TK (graf a), rozložení plodin (graf b) – 1. a 2. hlavní komponenta

a)



b)



Projekcí případů do faktorové roviny (graf 3.1b) došlo k vytvoření čtyř shluků rozlišených podle pěstované plodiny:

sláma ječmen, pšenice – **shluk A**,

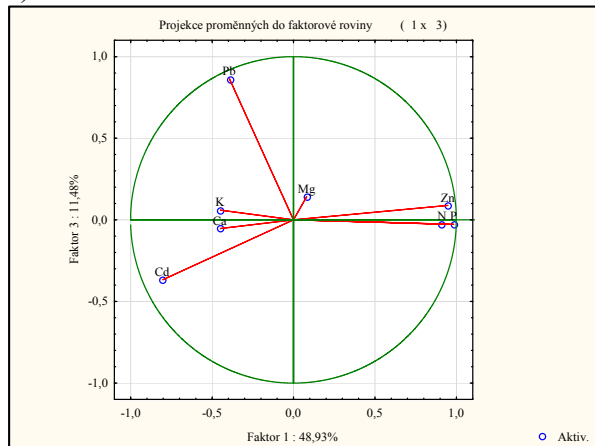
plody papriky – **shluk B**,

kozlíček – **shluk C**,

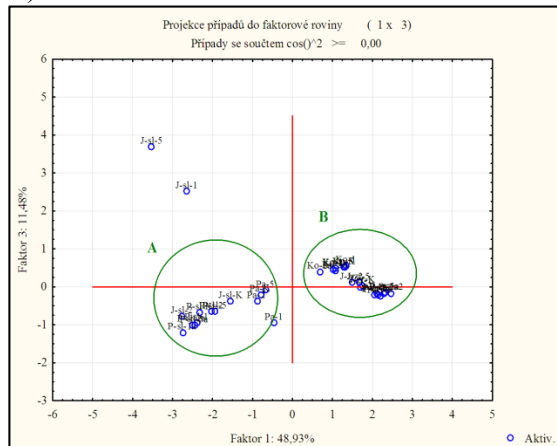
zrno ječmen, pšenice – **shluk D**

Graf 3.2 Rozložení makroelementů a TK (graf a), rozložení plodin (graf b) – 3. hlavní komponenta

a)



b)



Třetí hlavní komponenta vysvětluje asi 11% celkové variability v datech. S touto komponentou kladně koreluje obsah Pb v rostlině (graf 3.2a). Z projekce případů do faktorové roviny je patrné, že se zvyšující dávky hnojiva projeví zvýšením obsahu Pb v ječné slámě – viz. osamocené body mimo shluk plodin v grafu 3.2b.

Shluky plodin:

sláma ječmen, pšenice, paprika – **shluk A**,

zrno ječmen, pšenice, kozlíček – **shluk B**

3.4 Zhodnocení obsahu PAH v rostlinách

Nejvyšší průměrné hodnoty sumy 16 PAH byly naměřeny u kozlíčku ($167 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), přičemž jenepatrný rozdíl mezi kombinacemi nehnojenými a hnojenými i ve třetím roce pokusu. V případě pšenice, která byla rovněž rozdělena jako kozlíček, byly průměrné hodnoty $133 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ pro slámu a $56,6 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ pro zrno (tab, 3.5). Průměrné hodnoty sumy 16 PAH u slámy ječmene byly $126 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, u zrna ječmene $66,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. U plodů paprik $40,9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Tab.3.5: Obsah PAH v suché hmotě rostlin [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]

Komb.	PAH v suché hmotě [$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$]																suma	suma	suma
	ANA	ANT	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	16	12	7
Paprika – plod																			
P-K	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	2,27	<4	<4	<10	<5	4,38	<2	43,7	26,7	15,7
P-1	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	<2	<4	<4	<10	<5	<4	<2	40,0	23,0	12,0
P-2	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	<2	<4	<4	<10	<5	<4	<2	40,0	23,0	12,0
P-5	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	<2	<4	<4	<10	<5	<4	<2	40,0	23,0	12,0
Ječmen – zrno																			
J-zr-K	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	4,23	<4	<4	<10	16,7	10,0	2,78	67,2	50,2	37,4
J-zr-1	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	3,97	4,09	<4	<10	15,8	7,79	2,72	65,9	46,8	34,1
J-zr-2	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	3,79	<4	<4	<10	18,0	7,54	<2	63,8	46,8	35,8
J-zr-5	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	5,14	<4	<4	<10	18,5	8,71	2,89	68,7	51,7	38,9
Ječmen – sláma																			
J-sl-K	<5	<2	<20	<4	<3	3,64	4,42	<5	<3	20,4	10,5	6,09	<10	19,8	23,6	11,8	127	102	74,4
J-sl-1	<5	2,44	<20	<4	<3	3,17	<2	<5	<3	21,3	7,59	5,96	<10	19,4	26,8	13,5	127	105	79,4
J-sl-2	<5	3,10	<20	<4	<3	4,54	<2	<5	<3	20,7	21,1	6,63	<10	15,8	21,7	13,2	134	97,7	71,4
J-sl-5	<5	<2	<20	<4	<3	3,56	<2	<5	<3	19,4	10,4	5,99	<10	9,86	26,5	9,82	114	88,1	66,25
Pšenice – zrno																			
P-zr-K	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	5,26	5,27	<4	<10	6,39	8,72	3,24	60,4	40,1	26,9
P-zr-1	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	3,70	<4	<4	<10	8,07	5,17	2,34	52,8	35,8	23,4
P-zr1a	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	4,09	4,47	<4	<10	13,0	5,12	2,50	60,1	41,2	28,7
P-zr-2	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	2,94	5,08	<4	<10	<5	<4	<2	45,0	24,9	13,9
P-zr2a	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	3,75	<4	<4	<10	6,59	6,70	2,66	53,2	36,2	23,5
P-zr-5	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	4,46	4,53	<4	<10	13,3	6,04	3,04	62,9	43,3	30,3
P-zr5a	<5	<2	<20	<4	<3	<3	<2	<5	<3	4,26	4,43	<4	<10	10,2	8,83	2,87	62,1	42,7	29,8
Pšenice – sláma																			
P-sl-K	<5	3,82	<20	6,54	12,5	16,3	9,95	6,41	<3	25,8	11,3	11,0	<10	15,7	31,3	17,5	188	162	107
P-sl-1	<5	<2	<20	<4	<3	3,98	2,97	<5	<3	13,0	<4	6,30	<10	5,56	9,45	5,40	75,7	58,7	38,8
P-sl1a	<5	2,18	<20	<4	9,1	5,76	3,95	<5	<3	13,7	5,17	7,18	<10	16,8	11,3	7,68	107	87,2	62,3
P-sl-2	<5	2,07	<20	<4	5,99	4,63	3,78	<5	<3	23,3	25,2	6,52	<10	23,8	29,1	14,4	163	123	92,8
P-sl2a	6,09	2,02	<20	7,05	8,43	6,33	6,32	<5	<3	15,6	7,29	8,12	<10	16,3	7,25	8,22	119	93,1	64,8
P-sl-5	<5	<2	<20	<4	3,36	4,87	3,70	<5	<3	20,8	12,3	6,38	<10	14,7	27,2	13,8	133	105	75,4
P-sl5a	<5	<2	<20	<4	3,18	5,27	5,74	<5	<3	24,8	7,47	7,55	<10	23,2	31,9	13,4	148	126	93,6
Kozlíček polníček																			
Ko-K	<5	6,20	<20	6,78	10,5	6,01	5,34	<5	<3	33,1	36,6	8,81	<10	17,8	66,9	23,3	244	192	150
Ko-1	<5	4,32	<20	<4	11,2	<3	<2	<5	<3	15	16,2	<4	<10	9,29	45,7	11,5	142	111	89,5
Ko-1a	<5	3,89	<20	<4	12,5	<3	2,10	<5	<3	19,1	16,3	<4	<10	11,2	48,6	12,7	154	123	99,3
Ko-2	<5	4,57	<20	<4	6,70	<3	<2	<5	<3	20,9	24,2	<4	<10	12	45,7	11,3	154	115	93,9
Ko-2a	<5	3,35	<20	<4	15,2	<3	<2	<5	<3	13,9	15,8	<4	<10	5,94	50,7	11,3	145	114	93,1
Ko-5	<5	3,24	<20	<4	14,8	<3	<2	<5	<3	27,3	22,5	<4	<10	8,6	47,1	12,2	165	127	105
Ko-5a	<5	2,46	<20	<4	12,9	<3	<2	<5	<3	16,5	31,2	<4	<10	6,15	53,1	13,3	165	118	95,1

Vysvětlivky:

Viz. vysvětlivky pod tabulkou 3.2.

Rozkódování zkratk kombinací (P-K, P-1, ...) - viz. tabulka 3.2.

3.5 Analýza hlavních komponent PAH v rostlinách

Proměnné ANY, IPY, DBA nevykazují žádný rozptyl, proto byly z analýzy vypuštěny.

Tab.3.6: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8
ANA	-0,138	0,449	-0,417	-0,748	0,040	-0,122	0,085	0,135
ANT	-0,802	-0,338	-0,291	0,050	0,057	0,294	-0,193	0,129
BAA	-0,610	0,539	-0,416	-0,202	-0,029	0,296	-0,007	-0,139
BAP	-0,727	-0,291	-0,471	0,071	0,231	-0,283	-0,059	-0,035
BBF	-0,665	0,684	0,009	0,269	-0,038	-0,047	0,017	0,079
BKF	-0,690	0,665	0,012	0,033	-0,006	-0,118	-0,058	-0,210
BPE	-0,428	0,568	-0,210	0,619	0,168	0,043	0,149	0,099
FLT	-0,937	-0,097	0,218	-0,058	-0,143	-0,096	0,006	0,095
FLU	-0,787	-0,495	-0,047	-0,073	-0,132	0,133	0,255	-0,057
CHR	-0,708	0,574	0,255	-0,062	-0,271	-0,033	-0,096	0,048
NAP	-0,488	0,249	0,651	-0,290	0,418	0,120	0,021	0,001
PHE	-0,829	-0,527	-0,054	0,048	0,015	-0,042	-0,008	-0,056
PYR	-0,964	-0,133	0,152	0,000	-0,118	-0,014	0,016	0,029
S16	-0,979	-0,192	0,052	-0,027	0,001	-0,016	0,034	-0,012
S12	-0,986	-0,128	0,077	-0,006	0,028	-0,045	-0,015	-0,004
S7	-0,962	-0,241	0,073	-0,042	0,055	-0,043	-0,022	-0,006

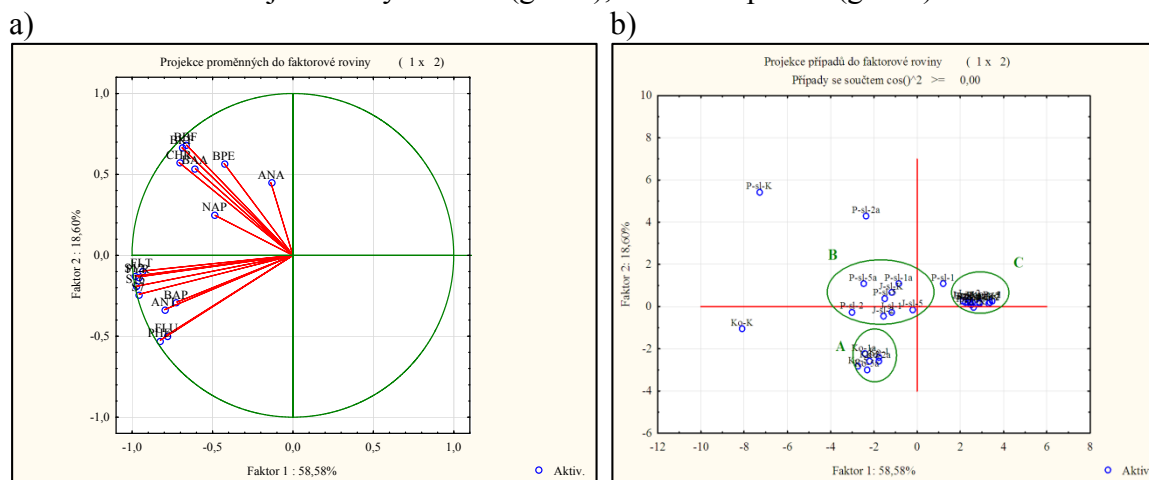
Vysvětlivky:

Faktor1...první hlavní komponenta

Faktor2, Faktor3, druhá hlavní komponenta, třetí, ...

S16, S12, S7 ... Suma 16 PAH, suma 12 PAH, suma 7 PAH

Graf 3.3 Rozložení jednotlivých PAH (graf a), rozložení plodin (graf b)



První hlavní komponenta (Faktor 1) vysvětluje asi 59% celkové variability v datech. Negativně s ní koreluje většina proměnných kromě BBF (2. Komponenta, 19%), NAP (3. Komponenta, 8%), ANA a BPE (4. Komponenta, 7%).

Z projekce případů do faktorové roviny je zřejmé, že nejvyšší hodnoty PAH byly zjištěny v kontrolních vzorcích u pšeničné slámy (BPE, BAA, BBF, BKF, CHR) a u kozlíčku (FLT, PYR, FLU, PHE). Ostatní vzorky můžeme zařadit do tří shluků:

kozlíček – **shluk A**,

sláma ječmen, pšenice – **shluk B**,

zrno ječmen, pšenice, plody papriky – **shluk C**,

U kozlíčku by se zvyšující se dávkou hnojiva měl stoupat obsah FLU a PHE.

Jaký vliv na obsah PAH v rostlinách mělo opakované hnojení Rošťákem i ve 3. roce v porovnání s kombinacemi hnojenými jen v 1. roce?

Vliv na zrno pšenice:

Opakované hnojení nezvýšilo obsah sumy 16 PAH. Naopak nehnojená kontrola vykázala vyšší hodnotu oproti dávce 1 t/ha a 2 t/ha, a to v průměru o 6,9 % (při dávce 1 t/ha) a o 23,0 % (při dávce 2 t/ha).

Vliv na slámu pšenice:

Opakované hnojení zvýšilo obsah sumy 16 PAH ve slámě pšenice u dávky 1 t/ha, a to o 41,1 % a v případě dávky 5 t/ha o 11,3 %. Nehnojená kontrola vykázala nejvyšší obsah sumy 16 PAH (188 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Vliv na kozlíček:

Opakované hnojení zvýšilo obsah sumy 16 PAH v kozlíčku u první dávky (1 t/ha). K navýšení došlo o 8,5 %. Nehnojená kontrola vykázala nejvyšší obsah sumy 16 PAH (244 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Tuto vysokou hodnotu způsobil obsah individuálních PAH tvořících sumu 16 PAH, který byl téměř dvojnásobný oproti ostatním kombinacím v rámci kozlíčku.

3.6 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v rostlinách

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 BAP jehož TEF je roven 1 (NISBET, 1992; LARSEN et LARSEN, 1998).

Celkový toxický ekvivalent směsi PAH se vyjadřuje pomocí hodnoty TTEC (Total Toxicity Equivalent Concentration) (NIELSEN 1996; YUO et al 2007). TTEC je vypočítán jako suma součinu koncentrací jednotlivých složek směsi a příslušného TEF. Lze tedy stanovit, která z látek ve směsi se na celkové karcinogenitě podílí významně a které jsou zanedbatelné.

Tab.3.7: Vybrané deriváty PAH, faktor toxického ekvivalentu TEF

Analyt	ANT	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	CHR	IPY	PHE	PYR
TEF	0,01	0,1	1	0,1	0,1	0,01	1	0,001	0,01	0,1	0,001	0,001

Tab.3.8: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v plodinách

Pokusné plodiny	Suma TTEC						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
Paprika	5,013	5,009	-	5,009	-	5,009	-
Ječmen-zrno	5,022	5,020	-	5,017	-	5,022	-
Ječmen-sláma	5,658	5,288	-	5,432	-	5,307	-
Pšenice-zrno	5,022	5,016	5,017	5,011	5,018	5,019	5,021
Pšenice-sláma	19,06	5,521	13,42	10,21	13,56	7,578	7,662
Kozlíček	15,61	14,81	16,22	10,31	18,80	18,41	16,50

Vysvětlivky:

2.R1, 3.R2, 4.R5 ... 2., 3., 4.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha - aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu
2a.R1, 3a.R2, 4a.R5 ... 2a., 3a., 4a.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha – aplikace hnojiva Rošťák ve druhém **i ve třetím roce** pokusu

Suma TTEC (tab.3.7) byla vypočítána za pomoci toxického ekvivalentu TEF (tab 3.7) a hodnot individuálních PAH (tab.3.5). Suma TTEC dosáhla nejnižších hodnot u plodů paprik. Nejvyšší toxicita byla zjištěna u slámy pšenice, a to v kombinaci Kontrola - nehnojená Rošťákem

v žádném roce. Tato hodnota byla zapříčiněna vysokými obsahy toxičtějších BAP, BAA, BBF, BKF). Druhou nejvyšší hodnotu vykázalo opakované hnojení u kozlíčku dávkou 2 t/ha. Třetí nejvyšší hodnota (18,41) byla u kozlíčku hnojeného pouze v prvním roce dávkou 5 t/ha. BAP a DBA mají největší toxický ekvivalent (1). Nejvyšší obsahy BAP byly naměřeny ve slámě pšenice a v kozlíčku. U ostatních plodin byly pod mezí stanovitelnosti. DBA byl všude pod mezí stanovitelnosti.

3.7 Zhodnocení agrochemických rozborů půdních vzorků

Tab.3.9: Obsah přístupných živin a těžkých kovů (TK) ve vzorcích půdy s udáním limitního obsahu TK podle platné vyhlášky (údaj napsaný v závorce)

Kombinace hnojení	Obsah přístupných živin Mehlich III [mg.kg ⁻¹]					Obsah TK stanovený v 2M HNO ₃ [mg.kg ⁻¹]			
	pH/ CaCl ₂	P	K	Mg	Ca	Cd (2)	Cu (150)	Pb (100)	Zn (600)
Po paprice									
1.Kontrola	5,9	138	155	270	3770	0,20	10,1	17,3	19,1
2.Rošťák 1t/ha	6,0	129	142	270	3730	0,23	10,6	16,3	20,8
3.Rošťák 2t/ha	5,5	159	134	296	3610	0,24	10,3	16,6	19,6
4.Rošťák 5t/ha	6,4	159	161	335	3940	0,25	11,1	16,0	21,1
Po ječmeni									
1.Kontrola	5,9	192	155	261	3130	0,21	11,1	16,7	17,0
2.Rošťák 1t/ha	5,8	170	166	263	3090	0,22	9,76	16,9	17,3
3.Rošťák 2t/ha	5,8	188	157	267	3150	0,22	9,88	15,9	17,8
4.Rošťák 5t/ha	6,0	211	195	277	3210	0,26	9,84	15,9	19,8
Po pšenici									
1. Kontrola	5,4	247	306	282	3160	0,26	10,8	18,0	18,7
2. Rošťák 1 t/ha	5,7	193	246	297	3310	0,23	13,1	17,7	17,4
2a. Rošťák 1 t/ha	5,9	195	250	299	3290	0,23	12,4	16,5	17,6
3. Rošťák 2 t/ha	5,7	220	238	291	3270	0,23	11,1	16,3	18,1
3a. Rošťák 2 t/ha	6,2	300	297	298	3320	0,26	11,6	16,7	19,1
4. Rošťák 5 t/ha	5,8	178	208	289	3240	0,23	12,6	17,6	17,5
4a. Rošťák 5 t/ha	6,3	333	449	316	3440	0,27	11,4	16,6	21,1
Po kozlíčku									
1. Kontrola	7,0	92,9	208	282	4210	0,21	9,8	14,8	19,6
2. Rošťák 1 t/ha	7,1	90,6	182	290	5130	0,20	9,54	14,6	21,7
2a. Rošťák 1 t/ha	7,2	98,8	218	296	5180	0,22	9,29	14,5	18,6
3. Rošťák 2 t/ha	7,1	78,8	189	295	5140	0,21	9,49	16,0	18,7
3a. Rošťák 2 t/ha	7,2	114	281	300	4570	0,23	9,62	14,6	29,0
4. Rošťák 5 t/ha	7,2	79,9	177	297	4970	0,22	9,63	14,5	20,3
4a. Rošťák 5 t/ha	7,2	115	354	319	4700	0,24	9,76	14,9	28,8
Výchozí obsah	7,4	10,6	130	346	5030	0,17	8,53	13,5	14,5

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha
2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák ve druhém **i ve třetím roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha

V průměrných vzorcích půdy odebraných po sklizni plodin z každé varianty hnojení bylo stanoveno pH/CaCl₂, přístupné živiny P, K, Ca, Mg metodou Mehlich III, těžké kovy (TK) v 2M HNO₃ a PAH.

Analýzy byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Brno v období srpen - říjen 2013 podle Jednotných pracovních postupů Analýza půd I. a II.: ÚKZÚZ, J. ZBÍRAL 1995.

3.8 Analýza hlavních komponent – anorganické rozborů půdy

Tab.3.10: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3
pH _{CaCl2}	0,903	-0,332	-0,044
P _{MIII}	-0,893	-0,310	-0,003
K _{MIII}	-0,305	-0,857	-0,028
Mg _{MIII}	0,392	-0,542	-0,683
Ca _{MIII}	0,928	-0,188	-0,047
Cd _{HNO3}	-0,663	-0,617	0,135
Cu _{HNO3}	-0,792	-0,098	-0,371
Pb _{HNO3}	-0,910	0,171	-0,006
Zn _{HNO3}	0,253	-0,724	0,512

Vysvětlivky:

Faktor1 ... první hlavní komponenta

Faktor2, Faktor3, druhá hlavní komponenta, třetí, ...

Tab.3.11: Tabulka korelační analýzy – všechny vzorky

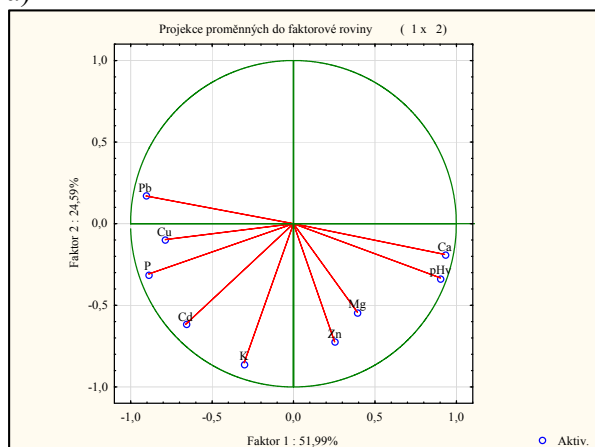
Proměnná	pHv	P	K	Mg	Ca	Cd	Cu	Pb	Zn
pHv	1,00	-0,68	0,05	0,50	0,92	-0,42	-0,63	-0,88	0,40
P	-0,68	1,00	0,57	-0,20	-0,79	0,79	0,65	0,69	-0,09
K	0,05	0,57	1,00	0,28	-0,10	0,62	0,31	0,14	0,45
Mg	0,50	-0,20	0,28	1,00	0,46	0,03	-0,06	-0,44	0,19
Ca	0,92	-0,79	-0,10	0,46	1,00	-0,50	-0,66	-0,81	0,33
Cd	-0,42	0,79	0,62	0,03	-0,50	1,00	0,47	0,46	0,31
Cu	-0,63	0,65	0,31	-0,06	-0,66	0,47	1,00	0,74	-0,21
Pb	-0,88	0,69	0,14	-0,44	-0,81	0,46	0,74	1,00	-0,31
Zn	0,40	-0,09	0,45	0,19	0,33	0,31	-0,21	-0,31	1,00

Vysvětlivky:

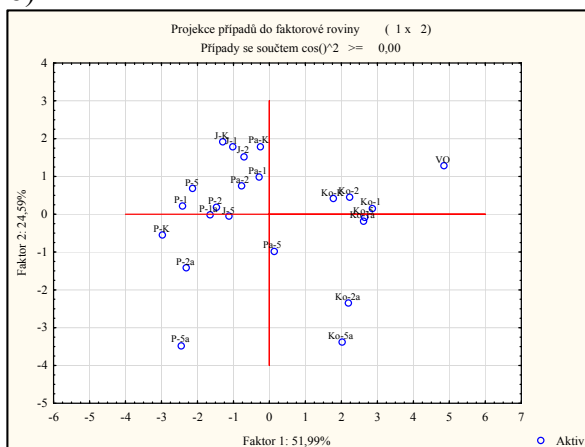
Červeně označené hodnoty jsou statisticky významné na hladině $p < 0,05$

Graf 3.4 Rozložení makroelementů a TK (graf a), rozložení plodin (graf b)

a)



b)



První hlavní komponenta (Faktor 1) vysvětluje asi 52% celkové variability v datech. S touto komponentou pozitivně koreluje hodnota pH a obsah Ca, negativně s touto komponentou koreluje obsah Pb, P, Cd a Cu (tab. 3.10, graf 3.4a). Mezi obsahem Ca a Pb byla zjištěna vysoce negativní korelace (tab. 3.11). Druhá hlavní komponenta (Faktor 2) vysvětluje asi 25% celkové variability v datech. S touto komponentou negativně koreluje obsah K a Zn (tab. 3.10, graf 3.4a).

Z projekce případů do faktorové roviny vyplynulo, že půdní vlastnosti jsou ovlivněny zejména pěstovanou plodinou. Vyšší hodnoty pH a obsah Ca by měly být po kozlíčku, naopak vyšší hodnoty obsahu těžkých kovů (Cu a Pb) by měly být po ječmeni a po pšenici (graf 3.4b). Vliv hnojiva se projevuje zvýšením obsahu K, Zn a Mg při zvyšujících se dávkách hnojiva.

3.9 Zhodnocení obsahu PAH v půdě

Tab.3.9: PAH v půdě po sklizni plodin [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]

Komb.	PAH v suché hmotě [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]																suma	suma	suma
	ANA	ANT	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	16	12	7
Po paprice																			
1.K	<5	2,93	<20	7,95	10,5	11,8	4,21	24,8	20,1	26,6	<4	7,86	<10	9,84	7,89	17,8	172	137	73,6
2.R1	<5	3,31	<20	10,2	19,3	12,5	6,85	42,4	17,6	40,7	<4	11,3	19,2	11	15,8	36,1	261	229	112
3.R2	<5	4,3	<20	11,5	21,6	20	8,15	64,9	21,5	50,8	<4	11,4	31,3	15,2	20,3	46,7	342	306	135
4.R5	<5	7,41	<20	21,2	57	43,3	18,3	97,3	20,2	112	<4	24,1	72,9	33,9	52,2	125	699	665	308
Po ječmeni																			
1.K	<5	<2	<20	6,33	8,82	9,01	4,35	8,17	<3	17,4	<4	8,7	<10	6,42	8,86	14	114	98,1	57,5
2.R1	<5	3,43	<20	10,2	23,6	17,6	8,02	44,5	<3	47,3	<4	13,9	25,9	25,6	26,2	51,3	314	298	150
3.R2	<5	4,05	<20	11,3	27,1	20,5	10,1	58	<3	57,8	<4	14,3	31,4	23,3	33	64,9	372	356	171
4.R5	<5	12,7	52,1	23,9	68,6	49,6	22,3	162	<3	182	<4	31	77,5	90,6	110	224	1112	1054	519
Po pšenici																			
1.K	<5	<2	<20	7,03	7,77	8,84	4,44	7,33	<3	17,4	<4	8,52	<10	<5	9,17	14,1	109	93,1	53,4
2.R1	<5	3,34	<20	14,7	19,7	18,9	9,11	32,3	<3	46,4	5,64	17,4	22,5	9	24	42,2	279	260	135
2a.R1	<5	3,28	<20	10,6	26,4	20,4	9	57,2	<3	56,1	5,55	14,6	30,2	20,1	30	64	361	342	161
3.R2	<5	<2	<20	7,66	16,2	12,7	6,88	33,6	<3	30,5	<4	10,3	21,3	17,9	13,6	32	220	204	97,2
3a.R2	<5	9,52	32,3	21,1	65,7	36	20,2	155	<3	155	<4	28,9	72,5	65,1	86,6	188	942	904	432
4.R5	<5	3,16	<20	11,4	27,4	22,5	9,82	66,8	<3	57,4	<4	15,5	35,4	13,8	25,6	66,1	371	355	154
4a.R5	<5	15,3	72,2	31,2	98,9	69,3	31,6	237	<3	275	<4	41,4	108	118	159	342	1605	1527	739
Po kozičku																			
1.K	<5	8,57	<20	16,7	18,9	16	9,34	16,8	<3	57,9	5,97	19,6	15,7	8,12	50,3	47,8	306	286	180
2.R1	<5	<2	<20	5,25	8,46	8,39	4,02	15,5	<3	16,6	<4	6,6	<10	6,2	7,05	16,3	116	100	51,2
2a.R1	<5	4,54	<20	14,2	38,2	28,5	14	88,8	<3	71,8	4,17	18,3	46,2	28,3	37,5	85,4	494	476	213
3.R2	<5	<2	<20	7,91	14,7	14,3	7,74	33,6	<3	30,2	<4	10,2	19,2	7,31	12,6	32,1	207	191	83,9
3a.R2	<5	7,4	25,9	19,1	45,8	33,1	16,8	103	<3	107	<4	22,7	50,5	40,5	60,3	128	666	634	303
4.R5	<5	2,57	<20	10,2	18,5	18,6	9,69	50,1	<3	43,1	<4	12,6	27,3	12,3	20	48,1	289	273	119
4a.R5	<5	10,9	41,5	24,6	67,1	51,8	23,4	175	<3	171	<4	30,5	82,2	66,2	93,7	207	1051	1003	464

Vysvětlivky

1.K ... 1.Kontrola

2.R1, 3.R2, 4.R5 ... 2., 3., 4.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha - aplikace hnojiva Rošťák pouze v **prvním roce** pokusu

2a.R1, 3a.R2, 4a.R5 ... 2a., 3a., 4a.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha – aplikace hnojiva Rošťák ve **druhém i ve třetím roce** pokusu

3.10 Analýza hlavních komponent PAH v půdě

Proměnná ANA nevykazuje žádný rozptyl, proto byla z analýzy vypuštěna.

Tab.3.10: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8
ANT	-0,953	-0,060	0,169	0,147	-0,169	0,064	-0,026	-0,064
ANY	-0,932	0,011	-0,192	0,281	0,073	-0,090	-0,023	0,009
BAA	-0,964	-0,073	0,195	-0,037	-0,141	-0,055	-0,012	0,025
BAP	-0,990	0,044	0,029	-0,104	0,024	0,040	0,031	0,032
BBF	-0,981	0,047	0,061	-0,113	0,025	-0,098	0,038	-0,075
BKF	-0,990	-0,015	0,020	-0,119	-0,021	-0,034	-0,013	0,003
BPE	-0,980	0,087	-0,042	-0,077	0,106	0,039	-0,105	-0,014
DBA	0,143	0,729	0,662	0,084	0,048	-0,004	0,004	0,011
FLT	-0,998	0,010	0,001	0,039	0,016	-0,005	0,000	0,025
FLU	0,133	-0,823	0,539	0,033	0,112	0,000	-0,001	-0,002
CHR	-0,981	-0,130	0,083	-0,041	-0,087	-0,003	0,009	0,051
IPY	-0,970	0,075	0,047	-0,216	0,034	0,017	0,007	-0,016
NAP	-0,976	0,042	-0,119	0,103	0,093	0,067	0,066	-0,022
PHE	-0,987	-0,089	-0,010	0,112	-0,043	0,022	0,016	0,003
PYR	-0,997	0,010	-0,051	0,023	0,043	-0,004	0,003	0,020
S16	-0,999	0,028	-0,007	0,003	0,034	0,006	-0,006	0,004
S12	-0,999	0,018	-0,013	-0,011	0,031	0,011	-0,006	0,004
S7	-0,999	-0,013	-0,002	0,042	0,002	0,019	0,018	0,013

Vysvětlivky.

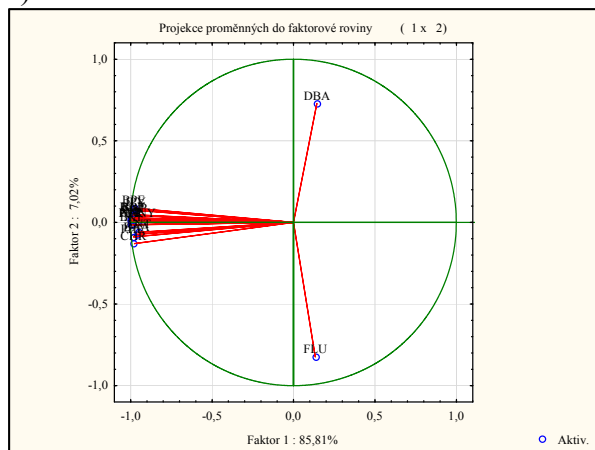
Faktor1...první hlavní komponenta

Faktor2...druhá hlavní komponenta

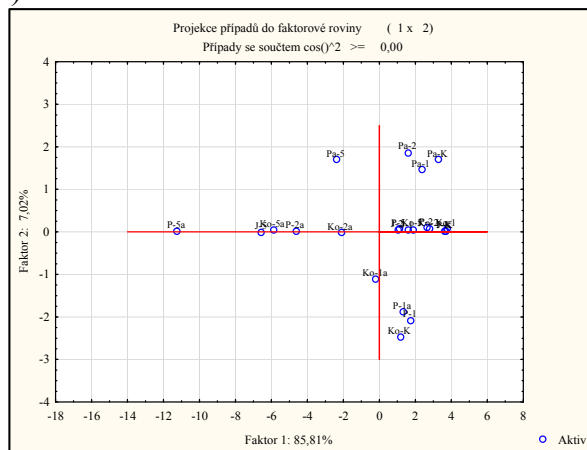
S16, S12, S7 ... Suma 16 PAH, suma 12 PAH, suma 7 PAH

Graf 3.7 Rozložení jednotlivých PAH (graf a), rozložení plodin (graf b)

a)



b)



První hlavní komponenta (Faktor 1) vysvětluje asi 86% celkové variability v datech. S touto komponentou negativně koreluje většina proměnných kromě FLU a DBA. Tyto proměnné korelují s druhou hlavní komponentou (která vysvětluje asi 7% celkové variability v datech), DBA pozitivně a FLU negativně.

Z projekce proměnných do faktorové roviny je zřejmé, že u všech pěstovaných plodin došlo ke zvýšení obsahu PAH v půdě se zvyšující se dávkou hnojiva.

3.11 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v půdě

Celkový toxický ekvivalent směsi TTEC byl stejně jako v případě rostlin počítán jako suma součinu koncentrací jednotlivých složek směsi a příslušného TEF. Lze tedy rovněž jako u rostlin stanovit, která z látek ve směsi se na celkové karcinogenitě podílí významně a která je zanedbatelná.

Tab.5.5: Vybrané deriváty PAH, faktor toxického ekvivalentu TEF

Analyt	ANT	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	CHR	IPY	PHE	PYR
TEF	0,01	0,1	1	0,1	0,1	0,01	1	0,001	0,01	0,1	0,001	0,001

Tab.5.6: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v půdě po zkoušených plodinách

Půda po plodinách	Suma TTEC						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
Po paprice	33,9	42,4	-	51,1	-	94,4	-
Po ječmeni	13,0	32,0	-	36,9	-	90,0	-
Po pšenici	12,0	28,4	35,8	23,1	84,5	37,8	128
Po kozlíčku	26,8	12,5	51,3	21,6	60,9	27,3	89,4

Vysvětlivky:

2.R1, 3.R2, 4.R5 ... 2., 3., 4.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha - aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu
 2a.R1, 3a.R2, 4a.R5 ... 2a., 3a., 4a.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha – aplikace hnojiva Rošťák ve druhém i ve **třetím roce** pokusu

Stupňování Rošťáku se projevilo postupným vzestupem sumy TTEC v půdě (tab.5.6) u všech plodin. Nejvyšší nález tohoto ekvivalentu byl zjištěn po pšenici při dávce 5 t/ha aplikované i ve třetím roce. Druhé dva nejvyšší obsahy byly rovněž po dávce 5 t/ha, ale aplikované pouze v prvním roce (a to v půdě po paprice a po ječmeni). Ve výsledcích se zřetelně projevil vliv BAP, který má spolu s DBA největší toxický ekvivalent (1). Nejvyšší obsahy BAP se nalézaly právě u těchto kombinací, které vykazaly nejvyšší TTEC.

4 ZÁVĚR

Vliv na výnos:

Aplikace hnojiva Rošťák se pozitivně projevila na vyšším výnosu pěstovaných plodin. U papriky dávka 1 t/ha zvýšila výnos na rostlinu o 16 %. Dávka 5 t/ha navýšila výnos zrna ječmene (o 30 %) a slámy ječmene (o 13 %). Opakovaná aplikace hnojiva Rošťák ve 3. pokusném roce (kombinace hnojení 2a, 3a, 4a) podpořila výnos zrna i slámy pšenice (u zrna komb.4a o 106%).

Vliv na obsah prvků v plodinách:

Mezi obsahem N a Cd byla zjištěna silně negativní korelace. A mezi P a Zn silně pozitivní korelace. Nejvyšší průměrné hodnoty Cd byly naměřeny u pšenice slámy ($0,41 \text{ mg.kg}^{-1}$), přičemž byl patrný rozdíl mezi kombinacemi nehnojenými a hnojenými i ve třetím roce pokusu. V případě kozlíčku, který byl rovněž rozdělen jako pšenice na kombinace nehnojené a hnojené ve třetím roce, se tento trend neprojevil.

Průměrné hodnoty Cd u slámy ječmene byly $0,28 \text{ mg.kg}^{-1}$, zrna ječmene $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$ a u zrna pšenice ($0,15 \text{ mg.kg}^{-1}$). U plodů paprik $0,22 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$.

Vliv na obsah PAH v plodinách:

Nejvyšší průměrné hodnoty sumy 16 PAH byly naměřeny u kozlíčku ($167 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$), přičemž byl nepatrný rozdíl mezi kombinacemi nehnojenými a hnojenými i ve třetím roce pokusu. V případě pšenice, která byla rovněž rozdělena jako kozlíček, byly průměrné hodnoty $133 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ pro slámu a $56,6 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ pro zrno.

Průměrné hodnoty sumy 16 PAH u ječmene byly $126 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ (sláma), $66,4 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$ (zrno). U plodů paprik $40,9 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$.

Simulovaná zátěž opakované aplikace Rošťáku u pšenice nezvýšila obsah sumy 16 PAH u zrna, ale zvýšila u slámy a u kozlíčku v porovnání s variantou hnojenou jen v prvním roce. Sláma pšenice i kozlíček vykázaly nejvyšší obsah sumy 16 PAH u nehnojené kontrolní kombinace, čímž se nepotvrdilo očekávané zvýšení nárůstu PAH v rostlinných produktech vlivem hnojení Rošťákem.

Vliv na obsah prvků a PAH v půdě:

Dávka hnojiva měla vliv na zvyšující se hodnotu pH a obsah Ca a snižující se obsah Pb, P, Cd a Cu. Mezi obsahem Ca a Pb byla zjištěna vysoce negativní korelace.

Z projekce proměnných do faktorové roviny je zřejmé, že u všech pěstovaných plodin došlo ke zvýšení obsahu PAH v půdě se zvyšující se dávkou hnojiva. Nejvyšší hodnota TTEC byla zjištěna po pšenici při dávce 5 t/ha aplikované i ve třetím roce. Druhé dva nejvyšší obsahy byly rovněž u aplikace 5 t/ha, ale aplikované pouze v prvním roce (a to v půdě po paprice a po ječmeni).

Obsahy rizikových látek v hnojivu Rošťák:

Obsah těžkých kovů v hnojivu podle nového návrhu vyhlášky 474/2000 Sb. **splňuje** zákonem stanovené limity v mg.kg^{-1} sušiny popele ze samostatného spalování biomasy u Cd (5), Pb (50), Hg (0,5), Cr (50). Obsah sumy 12 PAH daných tímto návrhem vyhlášky **byl překročen** o **253,5 mg/kg**. Limitní hodnota je 20 mg/kg.

5 POUŽITÁ LITERATURA

1. Hendl J. (2004): Přehled statistických metod zpracování dat. Portál, 583 s.
2. Holoubek I.: Chemie životního prostředí IV. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs). Brno, 2005. <http://recetox.muni.cz/index.php?id=23>
3. Larsen, J.C., Larsen, P. B. (1998): Chemical carcinogens. Air Pollut. Health 1998.s.33-56
4. Meloun, M. (2011): Počítačová analýza vícerozměrných dat v oborech přírodních, technických a společenských věd. Učební texty ke kurzu.
5. MZd ČR: Vyhláška MZd ČR č. 305/2004 Sb., kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách. Sbírka zákonů 2004.
6. Nařízení komise (ES) č.1181/2006 kterým se stanoví maximální limity kontaminujících látek v potravinách
7. Němeček J., Podlešáková E., Pastuszková M. (1996): Rostlinná Výroba 42, 49
8. NISBET, I.C. LaCoy, P.K.: Toxic equivalency factors(TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Regul. Toxicol. Pharmacol. 3,1992, s-290-300
9. Pryček J., Seifertová M., Paul T., Vyhnálek R., Černá M., Trojáková L., Trešl T. (2011): Výskyt polycyklických aromatických uhlovodíků a jejich derivátů v ovzduší vybraných lokalit České republiky. Ochrana ovzduší 5-6/2011
10. Vácha R, Čechmánková J., Havelková M., Horváthová V. (2008): Transfer of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Soil into Selected Plants, The influence of polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemické listy 102, 1003-1010
11. Výskyt polycyklických aromatických uhlovodíků a jejich derivátů v ovzduší vybraných lokalit České republiky, Ochrana ovzduší 5-6/1011