



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MF
MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Česká zemědělská univerzita v Praze
**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Agronomické využití kalů z čistíren odpadních vod

**Ing. Jindřich Černý, Ph.D.
prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc.**

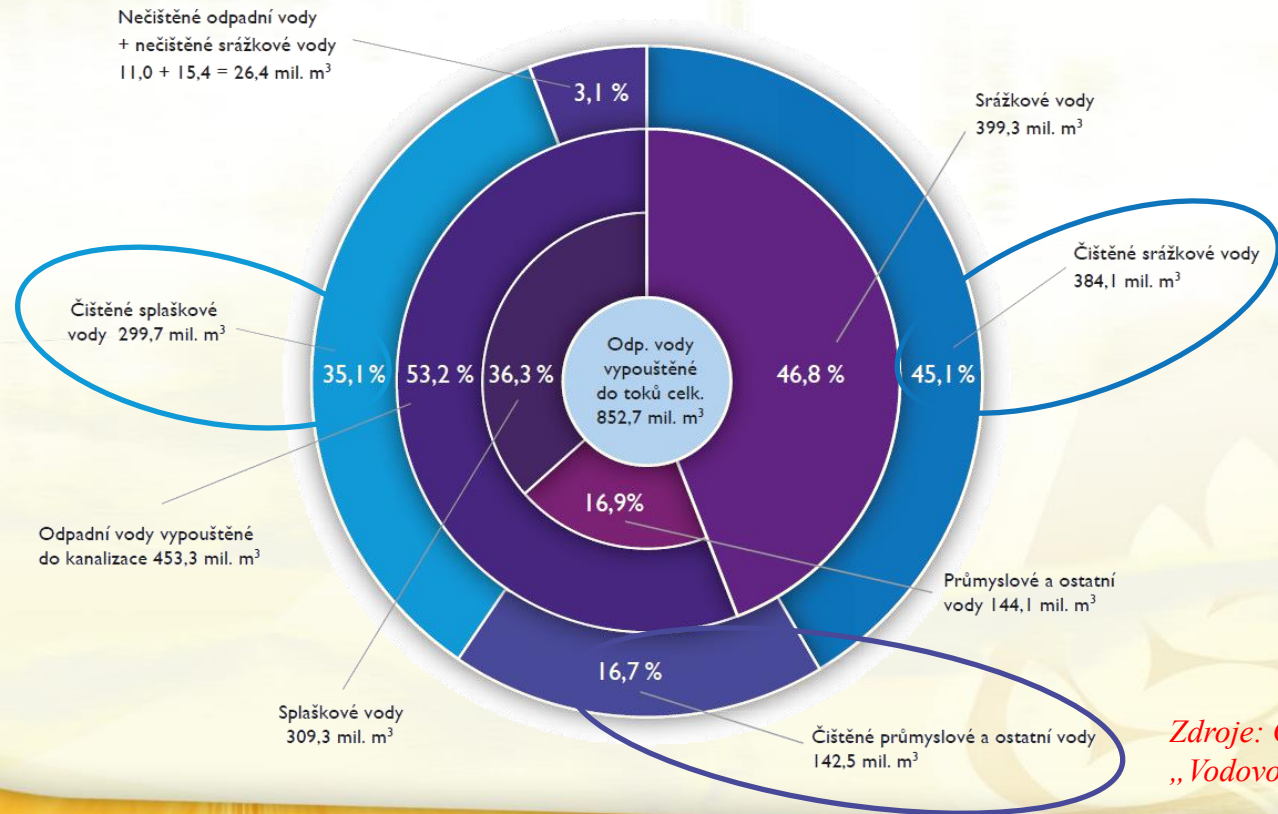


Kaly z čistíren odpadních vod

- Kal = suspenze nerozpuštěných látek ve vodě.
- **Čistírenské kaly** vznikají při různých procesech používaných při čištění odpadních vod.
- Hlavní podíl kalu vzniká v čistírnách odpadních vod (ČOV) při **mechanickém** (primárním) a **biologickém** (sekundárním) čištění odpadní vody.
- Vlastnosti a složení kalu jsou závislé na skladbě čištěné odpadní vody a na způsobu zpracování kalu před jeho odvozem z objektu ČOV.



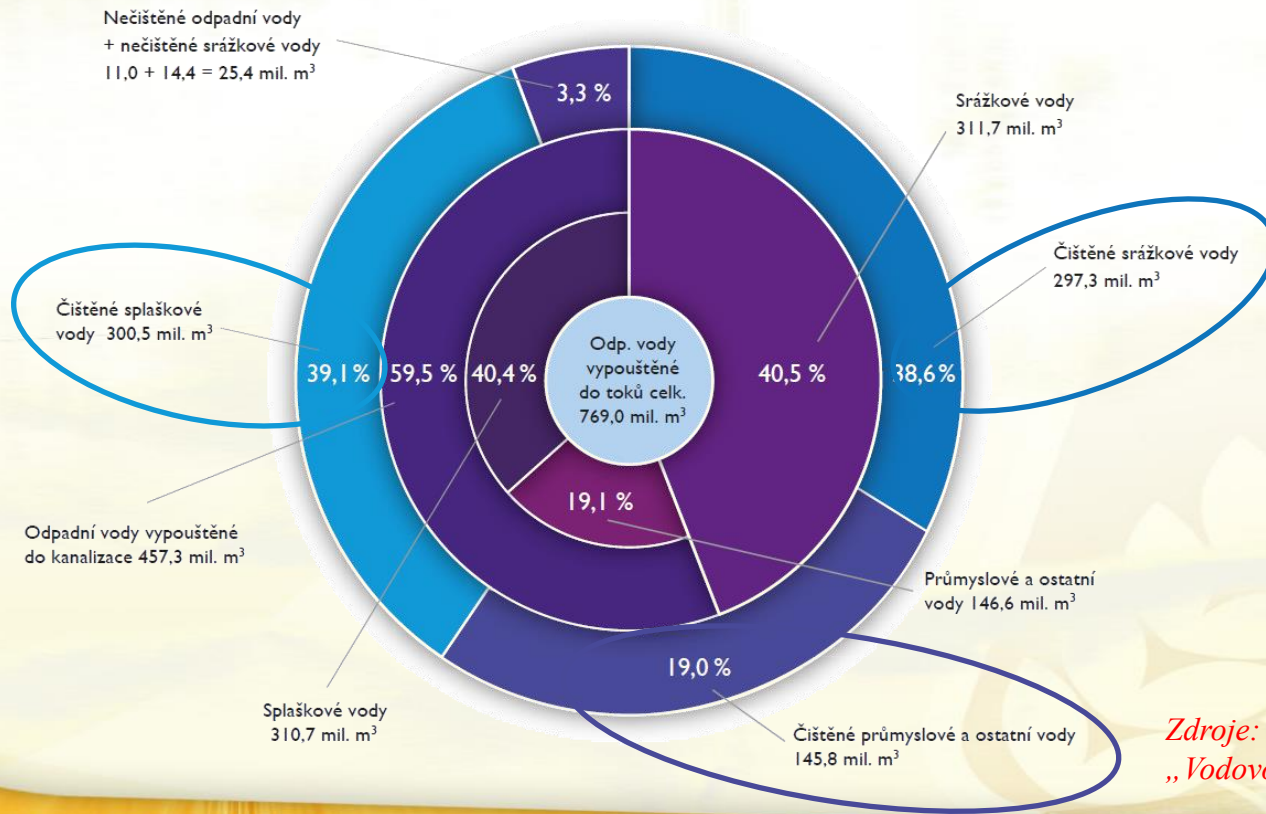
Struktura vypouštěných odpadních vod v roce 2017



*Zdroje: ČSÚ, Ministerstvo zemědělství:
„Vodovody a kanalizace ČR 2017“*



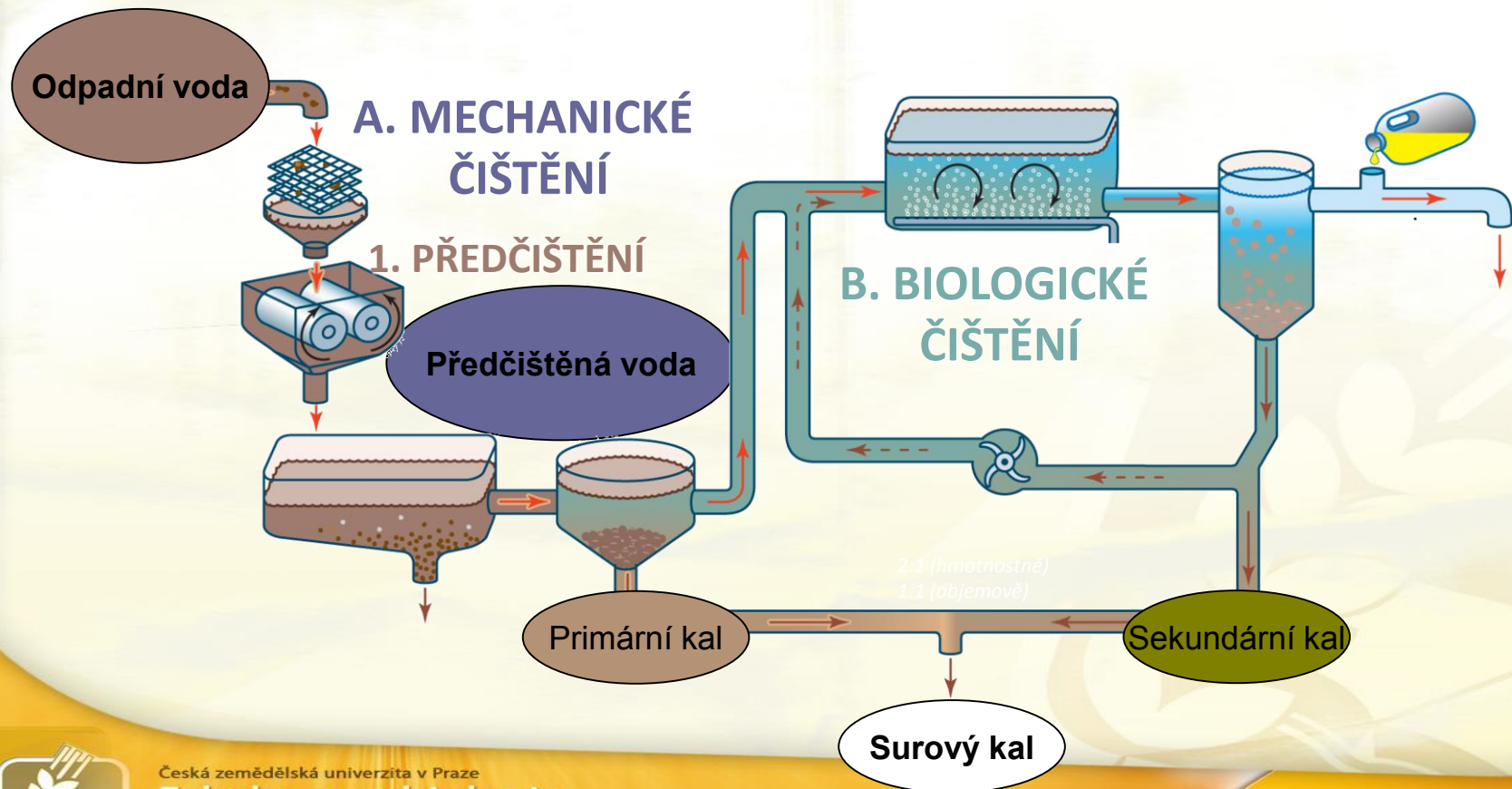
Struktura vypouštěných odpadních vod v roce 2018



*Zdroje: ČSÚ, Ministerstvo zemědělství:
„Vodovody a kanalizace ČR 2018“*



Procesy vzniku kalu na ČOV



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

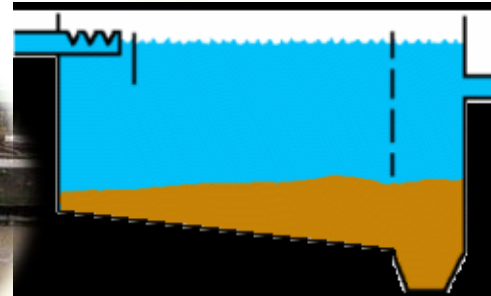
PRIMÁRNÍ KAL

Předčištěná voda



SEDIMENTAČNÍ NÁDRŽ

A) Mechanické čištění



Primární
kal

Obsah vody (%)	88–97
Organický podíl (%)	47–70
Anorganický podíl (%)	30–53

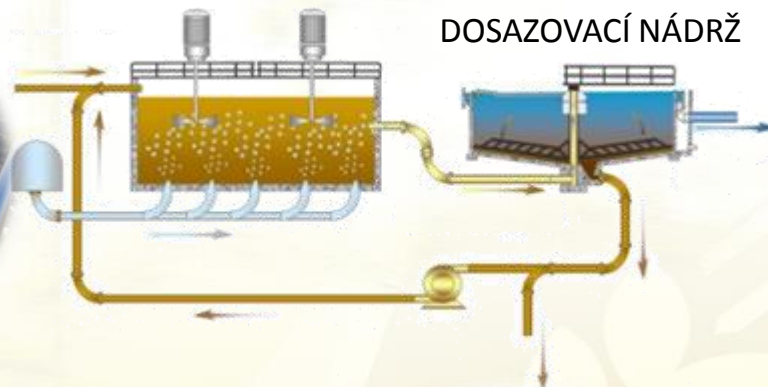


SEKUNDÁRNÍ KAL

B) Biologické čištění



AKTIVAČNÍ NÁDRŽ



Sekundární
kal

Obsah vody (%)	95–98
Organický podíl (%)	63–82
Anorganický podíl (%)	18–37



KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

1) Snížení obsahu vody



ZAHUŠŤOVACÍ NÁDRŽ



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

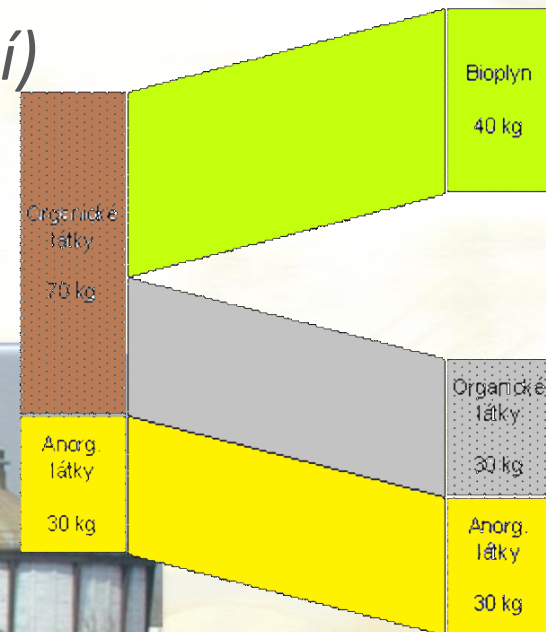
2) Stabilizace kalu (anaerobní / aerobní)

Rozklad organických látek

Snížení obsahu patogenních organismů

Zastavení biologických pochodů

VYHNÍVACÍ (METANIZAČNÍ) NÁDRŽE



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

3) Odvodnění kalu

Zvýšení obsahu sušiny 10 % $\Rightarrow$ 30 % (kalolisy, sítopásové lisy ...)



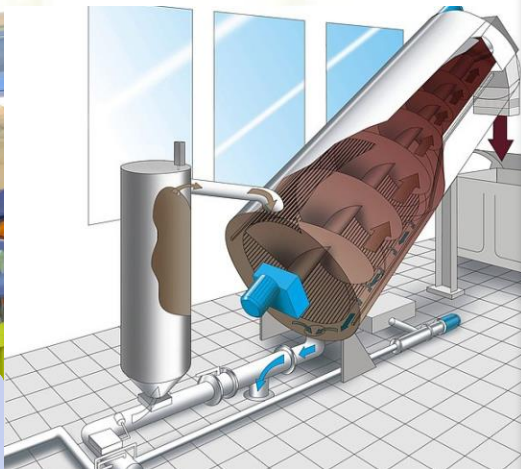
Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

3) Odvodnění kalu

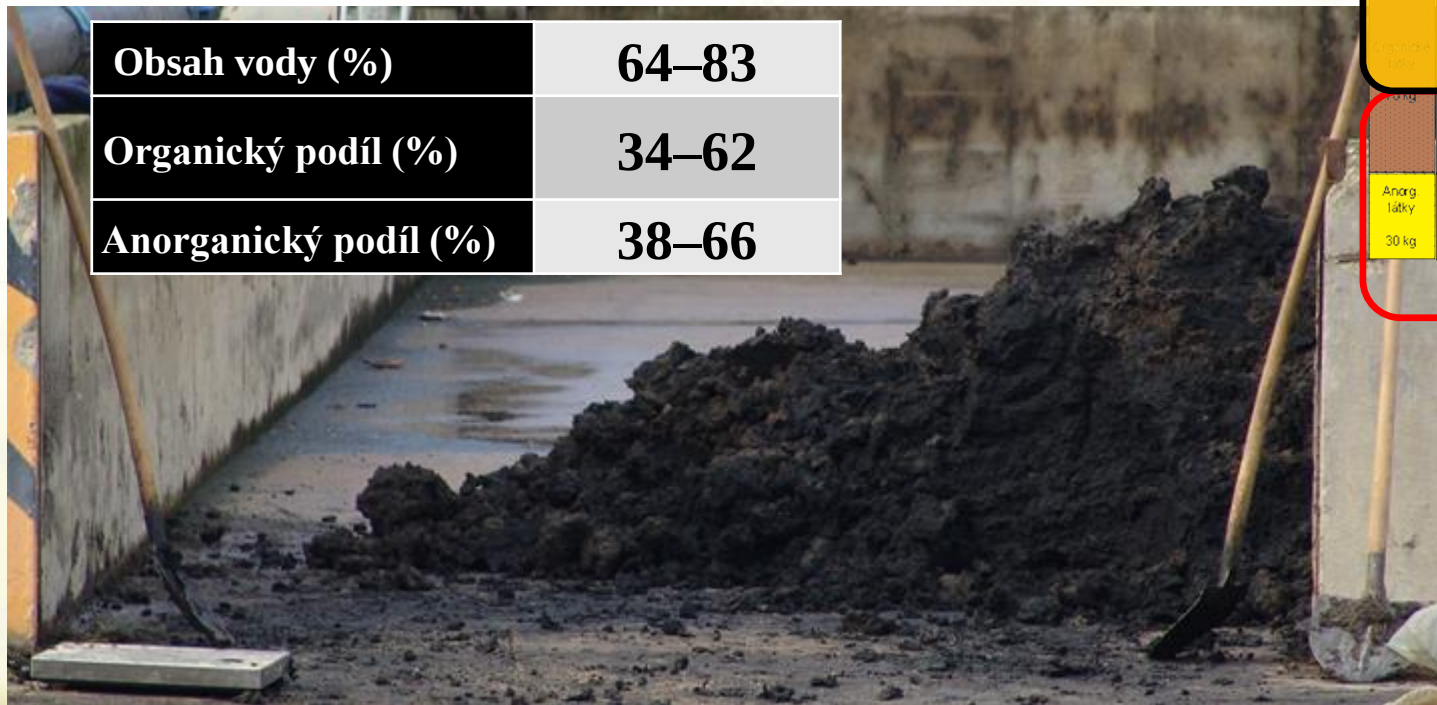
Zvýšení obsahu sušiny 10 % $\Rightarrow$ 30 %
(... šnekové lisy, odstředivky)



KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Odvodněný stabilizovaný kal

Obsah vody (%)	64–83
Organický podíl (%)	34–62
Anorganický podíl (%)	38–66



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

MOŽNOSTI VYUŽITÍ KALŮ

Zemědělství
přímá aplikace
kompostování

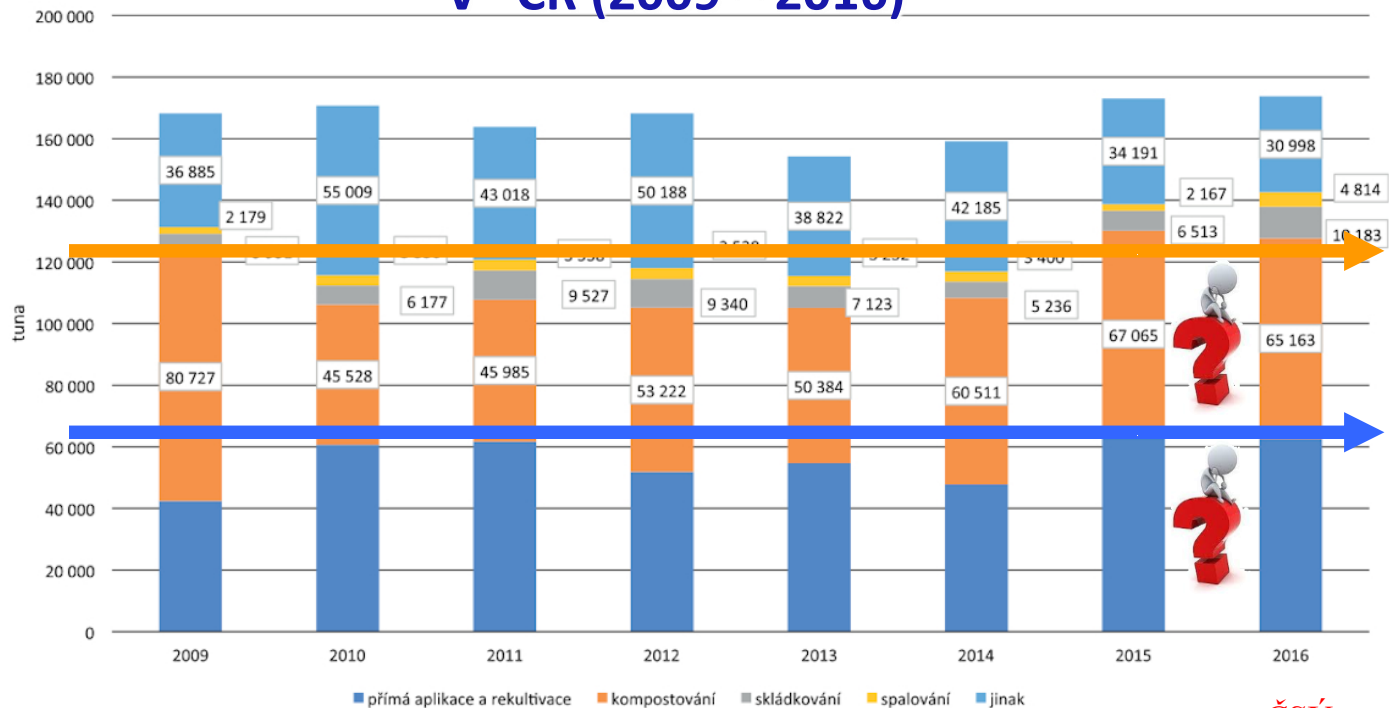
Tepelné zpracování

Skládkování



ZPŮSOB VYUŽITÍ KALŮ Z ČOV

V ČR (2009 – 2016)



ČSÚ



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

VYUŽITÍ KALŮ V ZEMĚDĚLSTVÍ

VÝHODY

Zdroj:

- živin
- organické hmoty
- mikroorganismů
- biologicky aktivních látek

NEVÝHODY

Obsahují:

- o rizikové prvky
- o chlorované látky
- o PAU
- o farmaceutika



VYUŽITÍ KALŮ V ZEMĚDĚLSTVÍ

Potenciální rizika:

Přítomnost patogenních a podmíněně patogenních organismů přítomných v kalu.

viry (hepatitida A), bakterie (Salmonella, Escherichia coli), protozoa a parazitičtí červi.

Potenciální toxicita - akumulace těžkých kovů a dalších nebezpečných látek v půdě a jejich průnik do koloběhu



Legislativa upravující nakládání s kaly - ČR

Zákon č. 185/2001 Sb. (223/2015 Sb.) o odpadech, zvl. § 32-33

Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, ve znění novely č. 503/2004 Sb.;

Vyhláška č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (původní předpis - vyhláška č. 382/2001 Sb., byl zrušen)

Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění novely č. 41/2005 Sb.;

Vyhláška č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.



Legislativa upravující nakládání s kaly - EU

Směrnice 86/278/EHS,
o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů
z ČOV v zemědělství;

Směrnice 91/271/EHS,
o čištění městských odpadních vod;

Směrnice 31/99/ES,
o skládkování odpadů;



Legislativa upravující využití kalů na zemědělské půdě – ČR (vyhláška 437/2016 Sb.)

**Upravené kaly lze na zemědělské půdě používat
za následujících podmínek:**

- a) nejpozději do 48 hodin od umístění kalů na zemědělskou půdu musí být kaly zapraveny do půdy;
- b) potřeba dodání živin do půdy na pozemku určeném k umístění kalů musí být doložena výsledky rozborů agrochemických vlastností půd ...



Upravené kaly lze na zemědělské půdě používat

za následujících podmínek:

nesmí se použít více než 5 tun sušiny kalů na jeden hektar v průběhu 3 po sobě následujících let.

Toto množství může být zvýšeno až na 10 tun sušiny kalů v průběhu 5 po sobě následujících let, pokud použité kaly obsahují méně než polovinu limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků.

Po dobu 3 let následujících po použití upravených kalů nesmí být na dotčených dílech půdního bloku použity žádné další kaly; to platí pro celý díl půdního bloku, i když bylo použití upravených kalů provedeno jen na jeho části ...



Upravené kaly lze na zemědělské půdě používat

musí být použity nebo umístěny na půdní blok, kde budou použity, **do 8 měsíců ode dne jejich výstupu z technologie úpravy,**

mohou být v množství (max 5/10 t/ha sušiny) **umístěny v rámci půdního bloku, kde budou použity, nejvýše 30 dnů před jejich použitím,**

Dávka dusíku dodaného v kalech nepřekročí limit dusíku stanovený pro hnojenou plodinu podle nařízení vlády o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu („nitrátová směrnice“) ...



Legislativa upravující nakládání s kaly - ČR

Použití kalů je zakázáno (Zákon č. 185/2001 Sb.)

- a) na zemědělské půdě, která je součástí chráněných území přírody a krajiny
- b) na lesních porostních půdách běžně využívaných klasickou lesní pěstební činností,
- c) v pásmu ochrany vodních zdrojů, na zamokřených a zaplavovaných půdách,
- d) na trvalých travních porostech a travních porostech na orné půdě v průběhu vegetačního období až do poslední seče,
- e) v intenzivních plodících ovocných výsadbách,
- f) na pozemcích využívaných k pěstování polních zelenin v roce jejich pěstování a v roce předcházejícím,
- g) v průběhu vegetace při pěstování pícnin, kukuřice a při pěstování cukrové řepy s využitím chrástu ke krmení,
- h) jestliže z půdních rozborů vyplýne, že obsah vybraných rizikových látek v průměrném vzorku překračuje jednu z hodnot stanovených v prováděcím právním předpisu,
- i) na půdách s hodnotou výměnné půdní reakce nižší než pH 5,6,
- j) na plochách, které jsou využívány k rekreaci a sportu, a veřejně přístupných prostranstvích,
- k) jestliže kaly nesplňují mikrobiologická kritéria daná prováděcím právním předpisem. Použití mikrobiálně kontaminovaných kalů může být provedeno pouze po prokázané hygienizaci kalů.



Použití na zemědělské půdě



- > 5 % sušiny



- > 18 % sušiny



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Vliv aplikace kalů na půdní vlastnosti

Půdní vlastnost	Vliv	Hodnocení vlivu
<i>fyzikální</i>		+ příznivé / – negativní
Objemová hmotnost	snížení	+
Vodní kapacita	zvýšení	++
Pórovitost	zvýšení	+
Eroze	snížení	+
Stabilita půdních agregátů	zvýšení	+
<i>chemické (fyzikálně-chemické)</i>		
pH	zvýšení / snížení	+ / –
Obsah organického uhlíku	zvýšení	+
Obsah N a P	zvýšení	++
Kationtová výměnná kapacita	zvýšení	+
Elektrická vodivost	zvýšení	+
Obsah rizikových prvků	zvýšení	-
<i>biologické</i>		
Obsah/aktivita mikroorganismů	zvýšení	++
Aktivita enzymů	zvýšení	+
Výskyt patogenních organismů	zvýšení/ neprokázáno	- / +

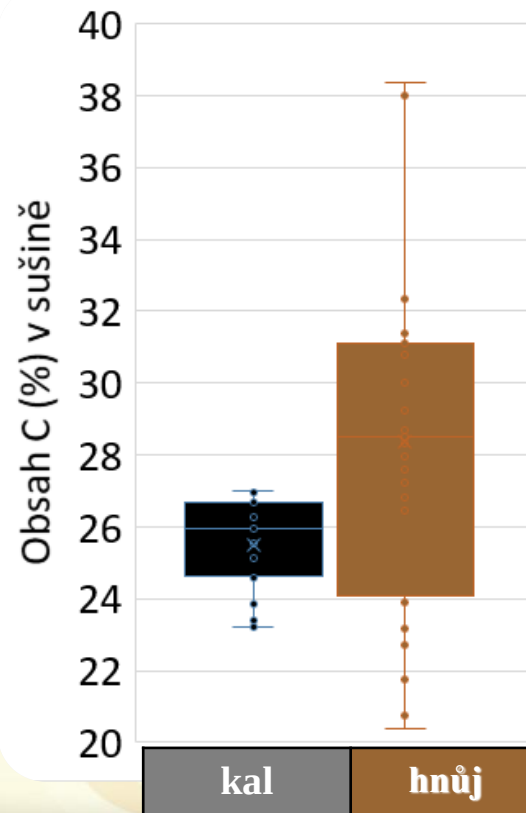


ZDROJ ORGANICKÝCH LÁTEK



C:N 6-12:1

C:P < 50:1



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Původ organických látek v odpadních vodách

1. Přírodní organická hmota ze zdrojů při použití pitné vody
2. Rozpustné mikrobiální produkty vytvořené během biologických procesů čištění odpadních vod
3. *Syntetické organické sloučeniny vzniklé při domácím/průmyslovém použití a vedlejší produkty dezinfekce vytvořené během procesů čištění vody a odpadních vod*
4. Organické látky jiných zdrojů



YES

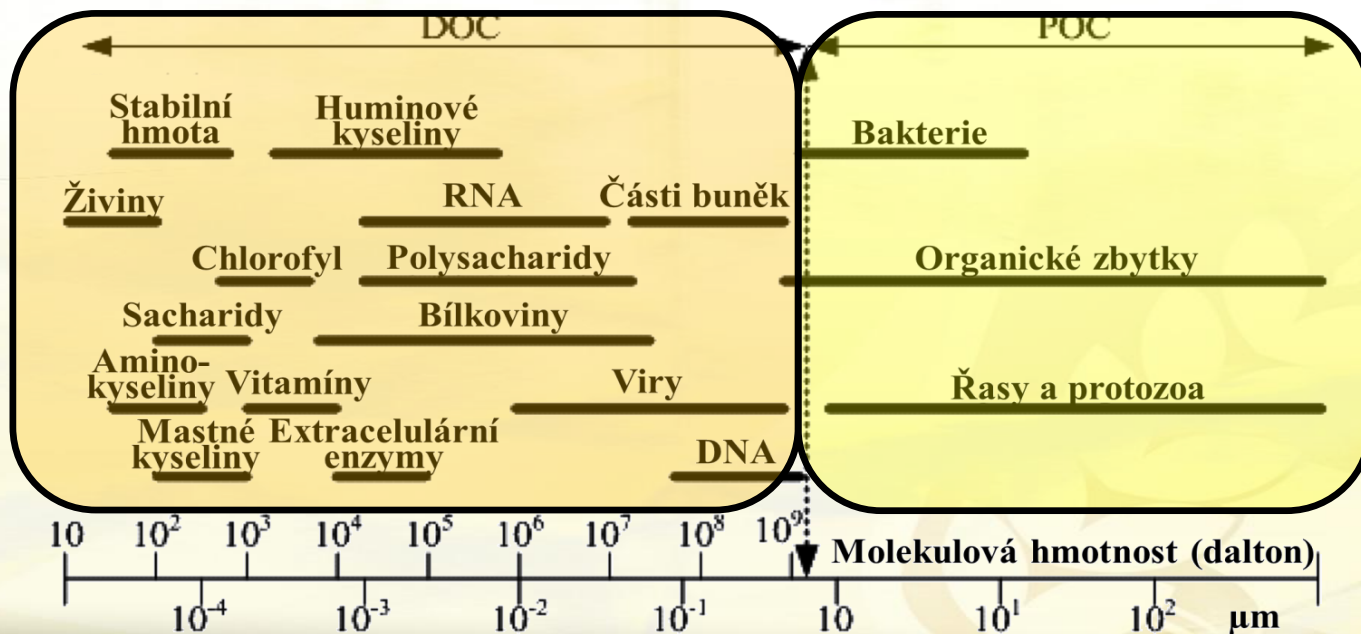


Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Organické látky v odpadních vodách

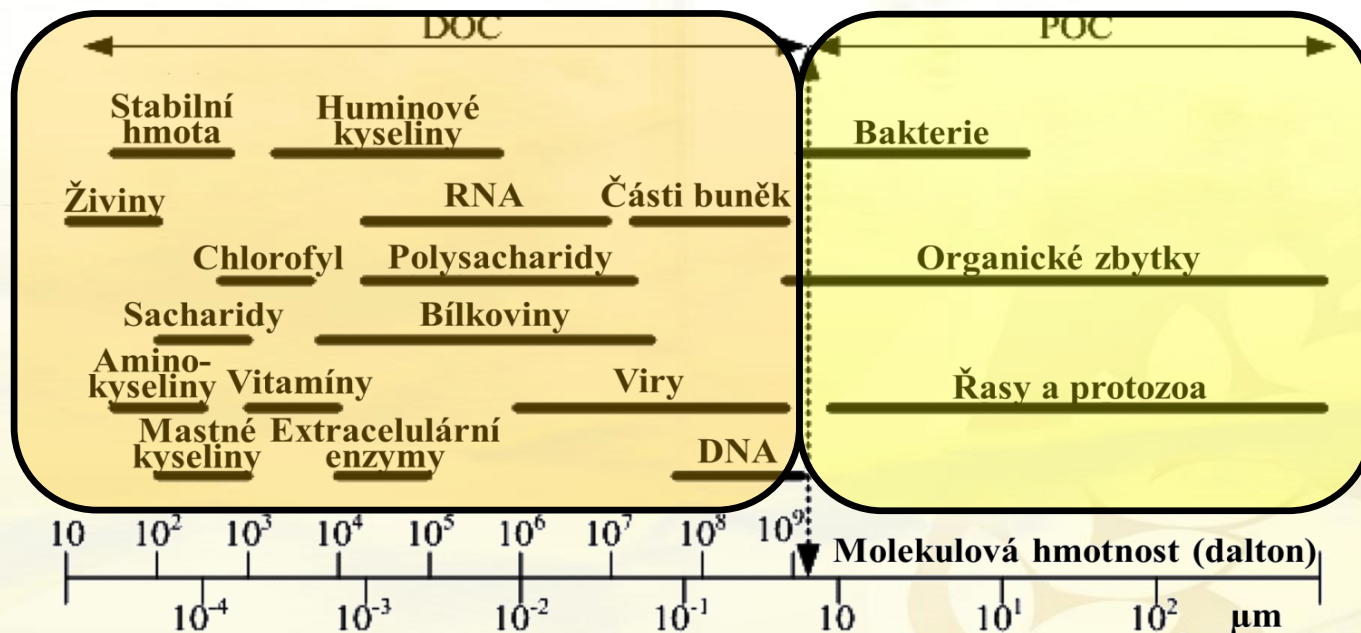
1. Částice suspendovaných organických látek větší než $0,45 \mu\text{m}$
2. Rozpuštěný organický uhlík (DOC) *polysacharidy, bílkoviny, lipidy, nukleové kyseliny....
humínové kyseliny a fulvokyseliny
sacharidy, aminokyseliny, vitamíny a chlorofyl*



Organické látky v odpadních vodách

50 % bílkoviny, 40 % sacharidy, 10 % tuky a oleje, ...

.... *perzistentní organické látky*



KVALITA ORGANICKÝCH LÁTEK

		kal	hnůj
Celkový organický uhlík	C_t (%)	31,9 ^a	31,7 ^a
Celkový extrahovatelný uhlík	C_{ex} (%)	7,5 ^a	9,2 ^b
Obsah huminových kyselin v Cex	(%)	39,6 ^a	65,8 ^b
Obsah fulvokyselin v Cex	(%)	3,5 ^a	10,1 ^b
Stupeň humifikace $100(C_{HA} + C_{FA})/C_{ex}$	(%)	43,1 ^a	75,9 ^b
Humifikační poměr $100(C_{HA} + C_{FA})/C_t$	(%)	10,1 ^a	22,1 ^b

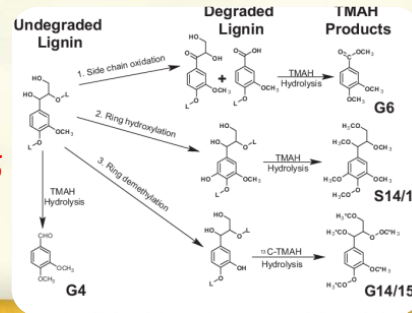
Saviozzi et al., 1999

Govi et al., 1993

Torrecillas et al., 2015

Thangavel et al., 2019

...



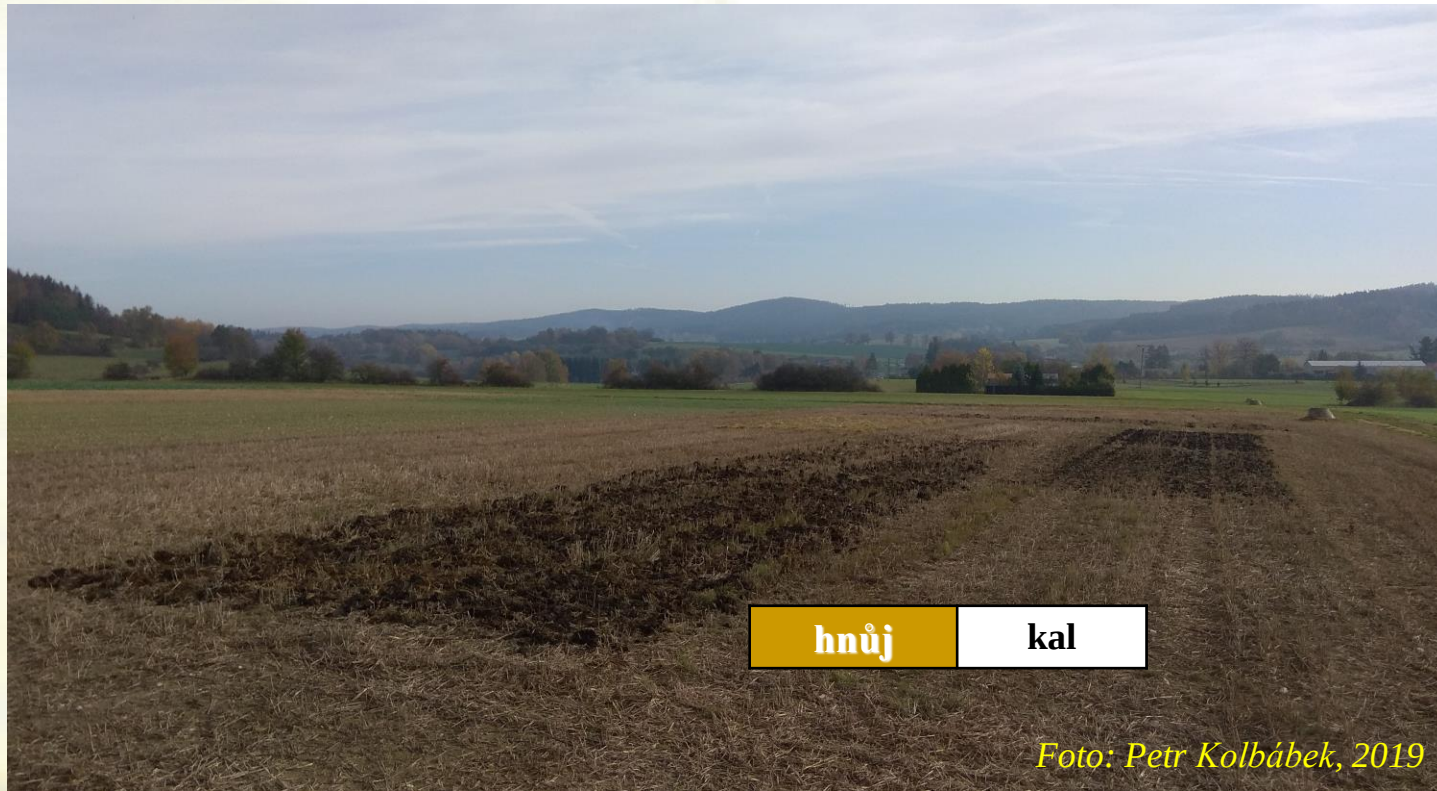
aromatické sloučeniny odvozené od ligninu, aromatické sloučeniny jiné povahy než lignin, sloučeniny obsahující heterocyklický N, methylestery mastných kyselin.

Amir et al., 2006

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

DLOUHODOBÉ POLNÍ POKUSY

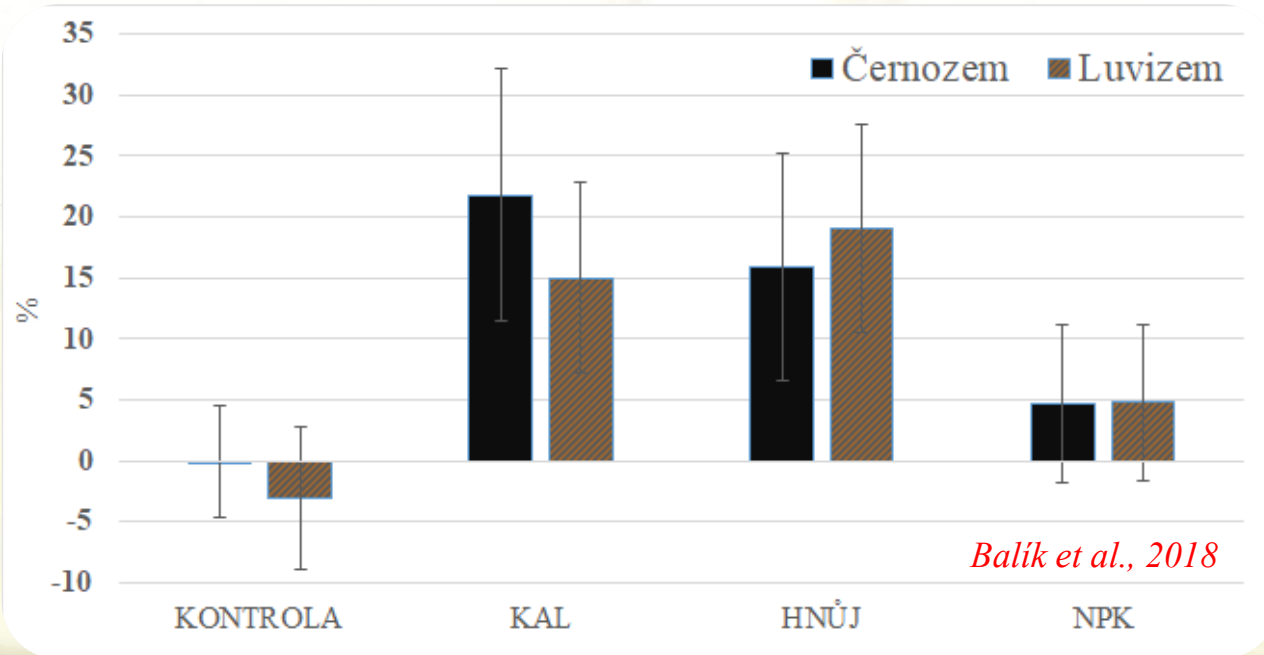


VLIV NA OBSAH C_{org} V PŮDĚ

9,38 t sušiny kalu/ha/3 roky $\approx$ 16,91 t/ha C za 20 let

15,82 t sušiny hnoje/ha/3 roky $\approx$ 30,85 t/ha C za 20 let

Relativní změny obsahu C_{org} v půdě v dlouhodobých pokusech s aplikací čistírenských kalů



Balík et al., 2018



Česká zemědělská univerzita v Praze

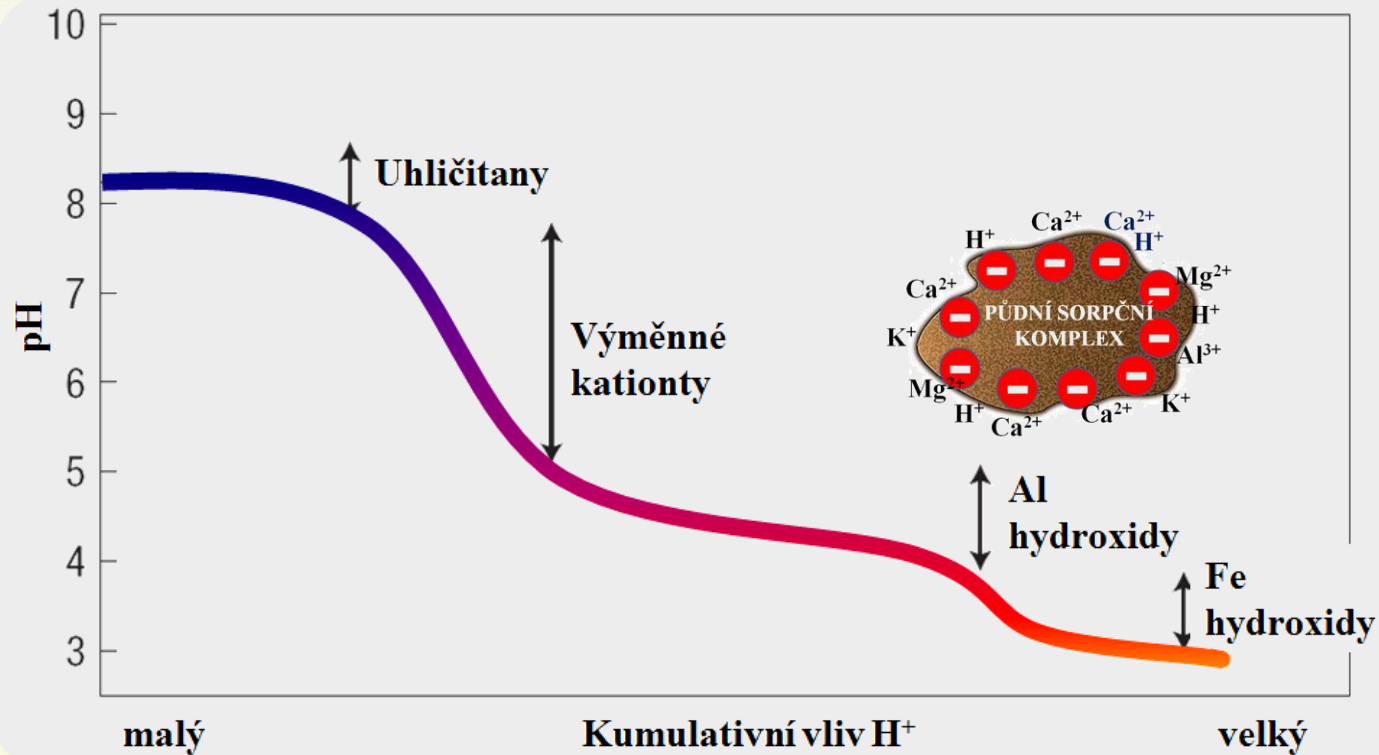
Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Vliv organické hmoty na půdní vlastnosti

Půdní vlastnost	Vliv	Hodnocení vlivu
<i>fyzikální</i>		+ příznivé / – negativní
Objemová hmotnost	← snížení	+
Vodní kapacita	← zvýšení	++
Pórovitost	← zvýšení	+
Eroze	← snížení	+
Stabilita půdních agregátů	← zvýšení	+
<i>chemické (fyzikálně-chemické)</i>		
pH	← zvýšení / snížení	+ / –
Obsah organického uhlíku	← zvýšení	+
Obsah N a P	← zvýšení	++
Kationtová výměnná kapacita	← zvýšení	+
Elektrická vodivost	← zvýšení	+
Obsah rizikových prvků	← zvýšení	-
<i>biologické</i>		
Obsah/aktivita mikroorganismů	← zvýšení	++
Aktivita enzymů	← zvýšení	+
Výskyt patogenních organismů	← zvýšení/ neprokázáno	- / +



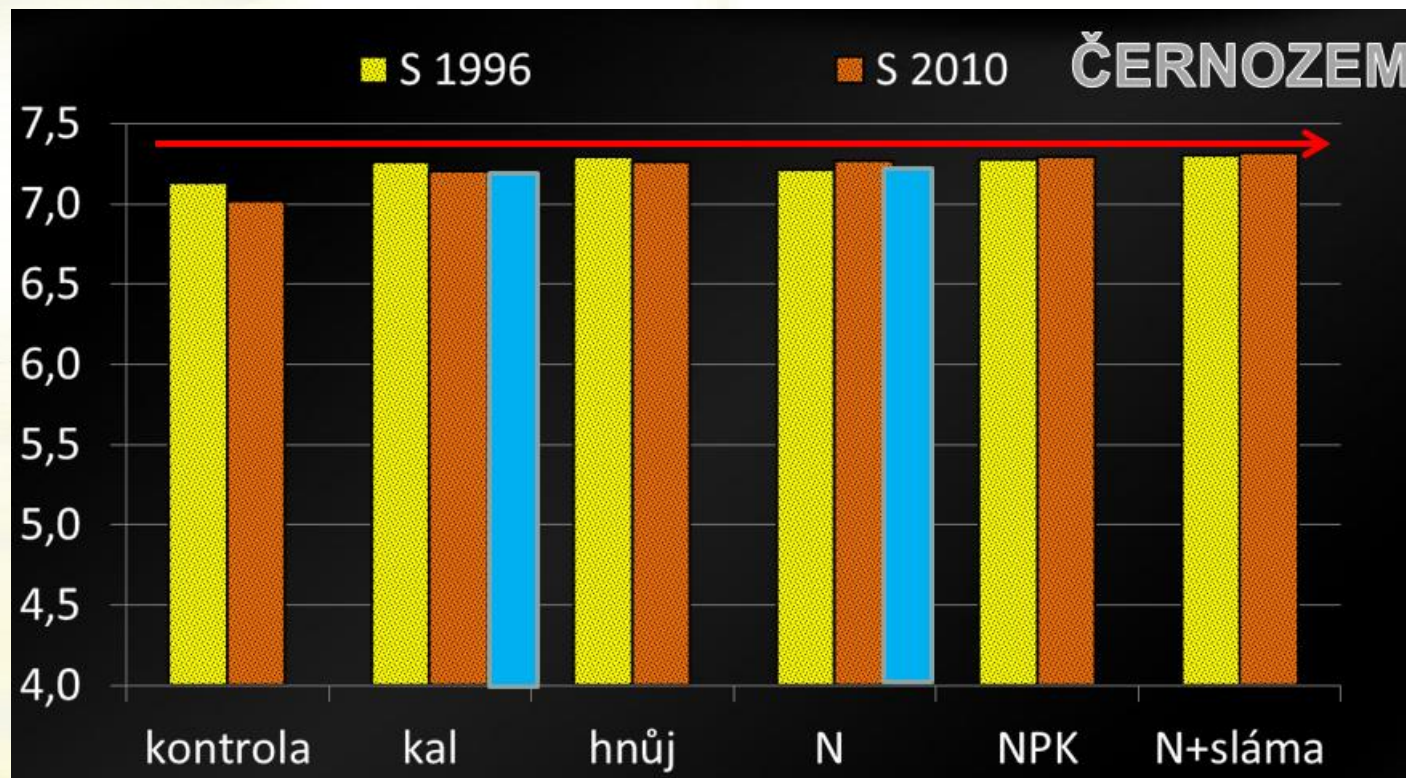
Vliv aplikace kalů na pH



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

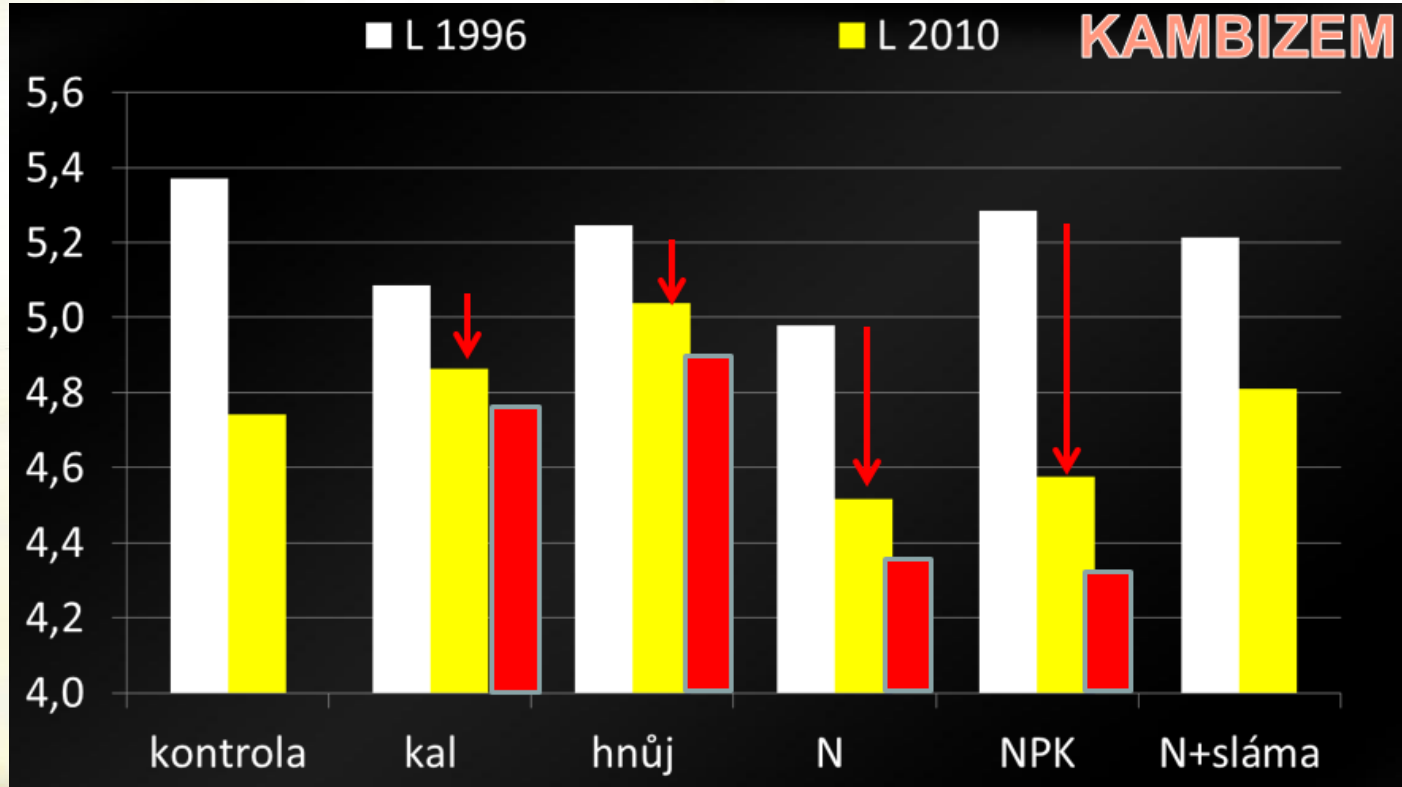
Vliv hnojení na pH



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

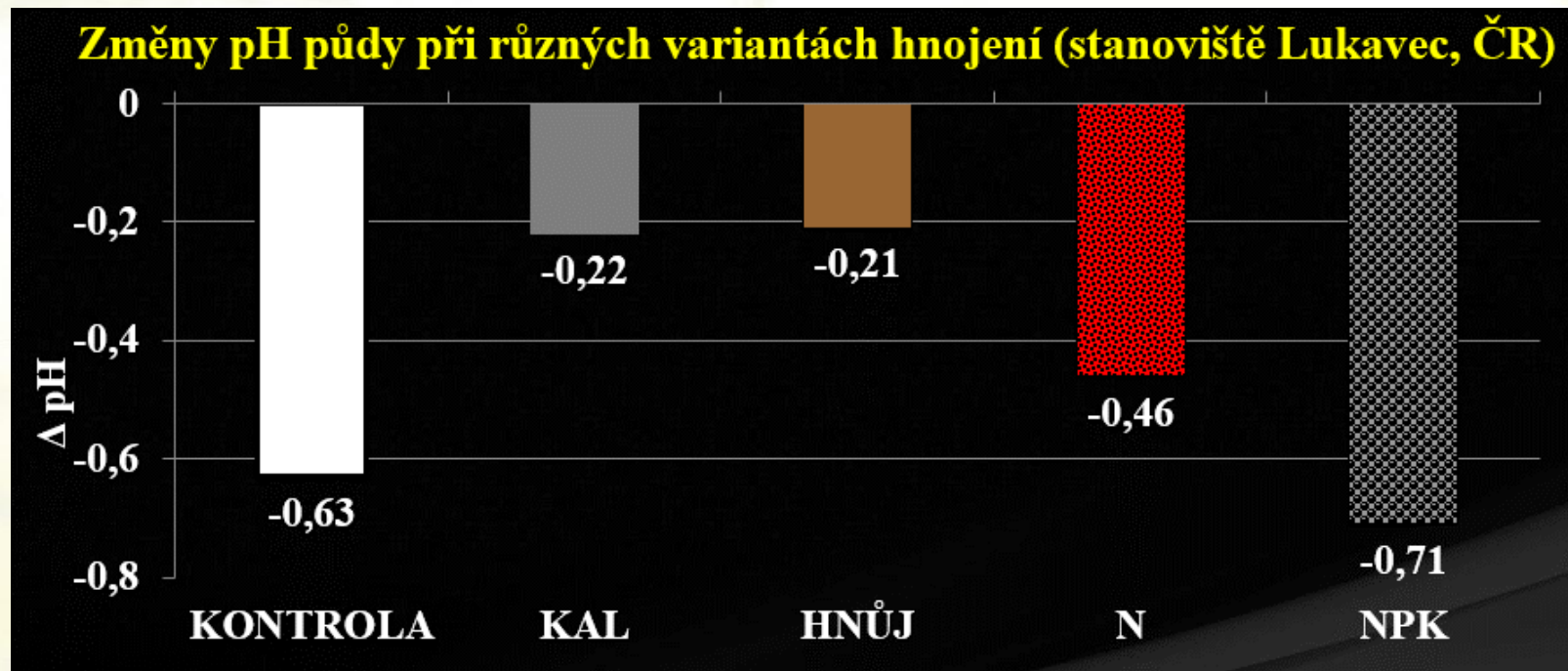
Vliv hnojení na pH



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Vliv hnojení na pH



1996 – 2010 (15 let; 5 rotací plodin)

Vašák et al. (2014)



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

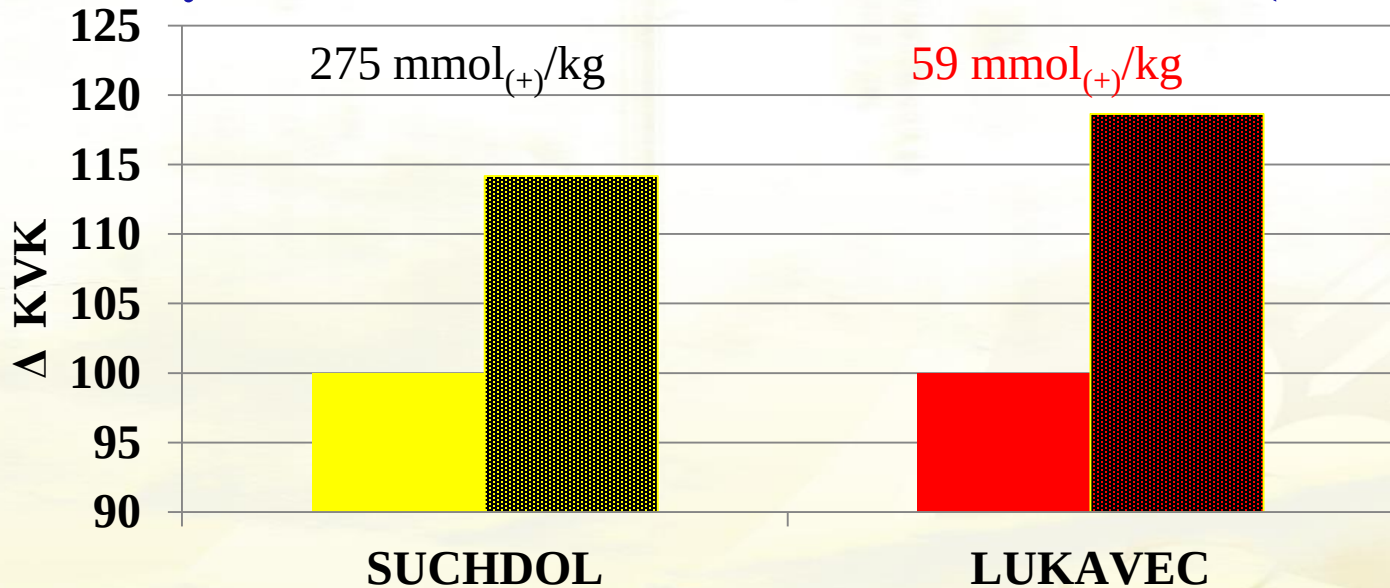
Vliv pH na půdní vlastnosti

Půdní vlastnost	Vliv	Hodnocení vlivu
<i>fyzikální</i>		+ příznivé / – negativní
Objemová hmotnost	← snížení	+
Vodní kapacita	← zvýšení	++
Pórovitost	← zvýšení	+
Eroze	← snížení	+
Stabilita půdních agregátů	← zvýšení	+
<i>chemické (fyzikálně-chemické)</i>		
pH	← zvýšení / snížení	+ / –
Obsah organického uhlíku	← zvýšení	+
Obsah N a P	← zvýšení	++
Kationtová výměnná kapacita	← zvýšení	+
Elektrická vodivost	← zvýšení	+
Obsah rizikových prvků	← zvýšení	-
<i>biologické</i>		
Obsah/aktivita mikroorganismů	← zvýšení	++
Aktivita enzymů	← zvýšení	+
Výskyt patogenních organismů	← zvýšení/ neprokázáno	- / +



Vliv aplikace kalů na KVK

Změny KVK na variantě kal ve srovnání s kontrolou (100 %)



dávka suš.	N	P	K	Ca	Mg
t.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹
44,92	1650	1514	268	1083	160

Průměrný obsah živin v sušině kalů a hnoje

Živina	1)	2)	3)	4)	5)	6)	X	6)
N (%)	3,3	2,8	4,8	2,8	2,2	3,7	3,3	2,2
P (%)	2,5	1,6	2,2	0,8	1,7	2,2	1,8	0,7
K (%)	0,4	0,3	0,2	0,4	0,5	0,6	0,4	2,3
Ca (%)	4,9	3,5	3,1	5,7		3,0	4,0	2,1
Mg (%)		0,5	0,4	2,3		0,8	1,0	0,6
Fe (%)	1,3			1,5			1,4	
Mn (mg/kg)		321		270	226		272	
Zn (mg/kg)	1202	1819	705	1807	731	800	1177	190
Cu (mg/kg)	741	652	511	270	205	263	440	41
Ni (mg/kg)	42,7	90	22	64	<25	39,2	52	8
Mo (mg/kg)	9,2	12,7	8,2				10	

1) Sommers (1977), 2) Wang (1997) 3) Stehouver (1999)

4) Bozkurt a Yarılgac (2003), 5) Antolín et al. (2005), 6) Černý et al. (2009)



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Změny obsahu P

		Lukavec	Suchdol
Kontrola	a)	-12	-11
	b)	-44	-3
Kal 1	a)	+75	+76
	b)	+40	+83
Hnůj	a)	+16	+22
	b)	+56	+18
N	a)	-20	-16
	b)	-44	-22
NPK	a)	+10	+14
	b)	-56	-8
N+sláma	a)	-16	-13
	b)	-42	-11



a) Průměrná roční bilance P (kg/ha)

b) Změna obsahu P_{M3} v půdě (mg/kg) po 17 letech pokusu

*Celkový úbytek P na variantách
se zápornou bilancí (kg/ha)*

195-336

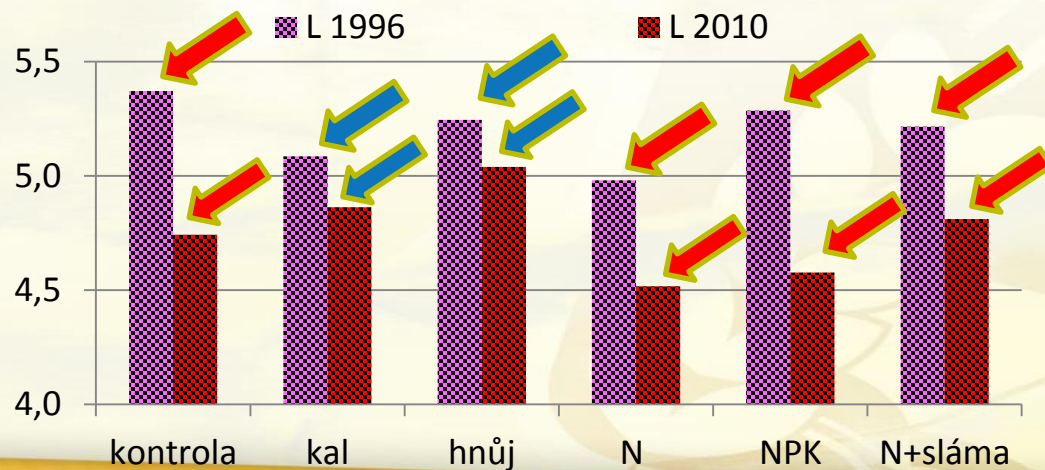
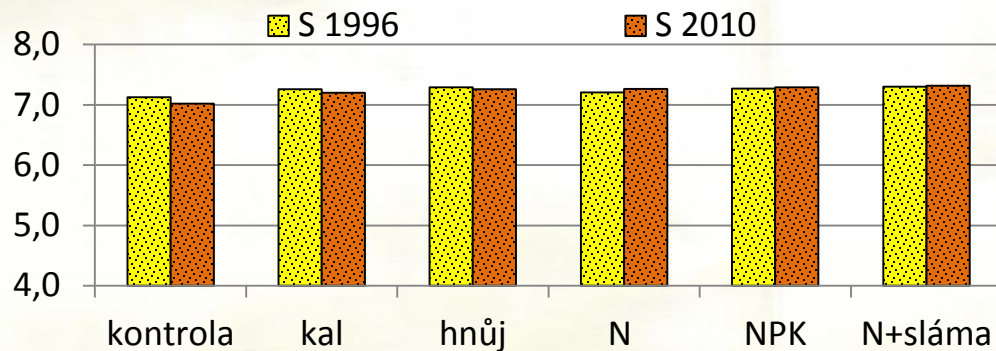
187-305



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

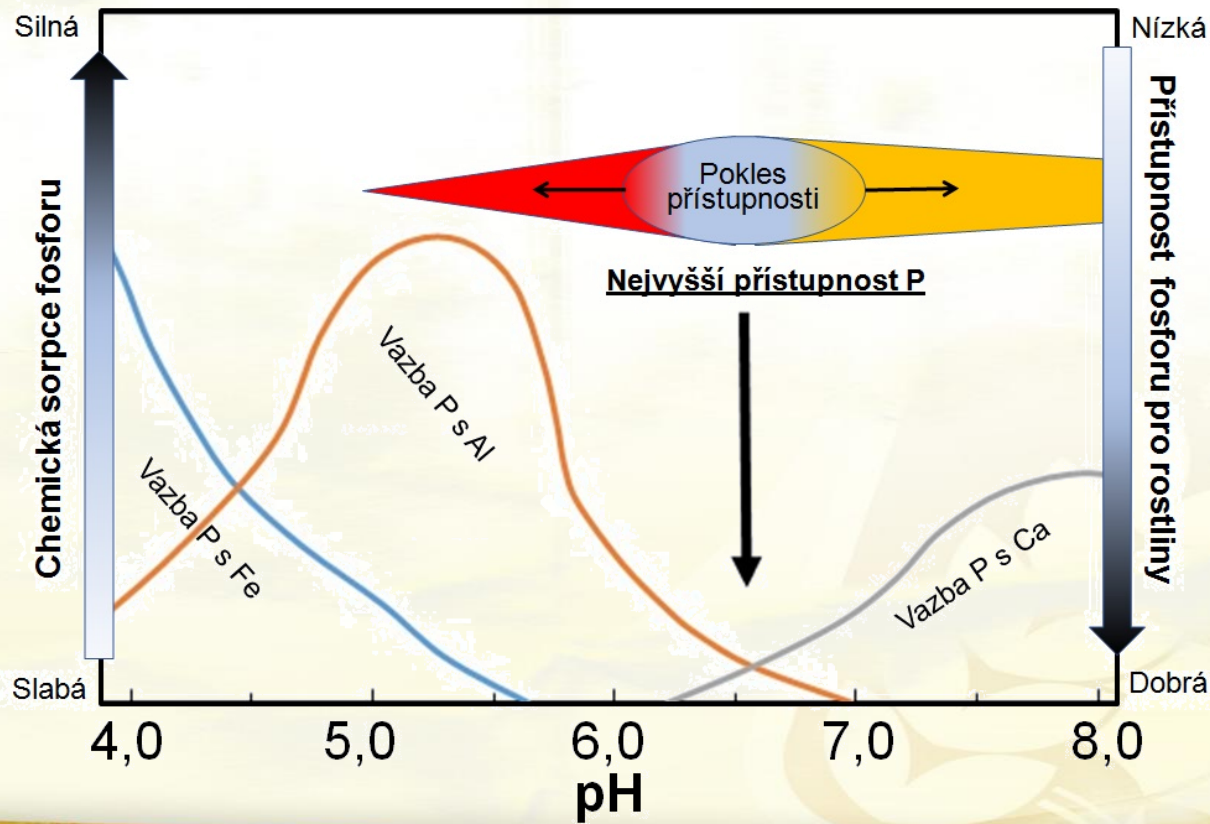
Změny obsahu P ... pH



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Vliv pH na chemickou sorpci P v půdě



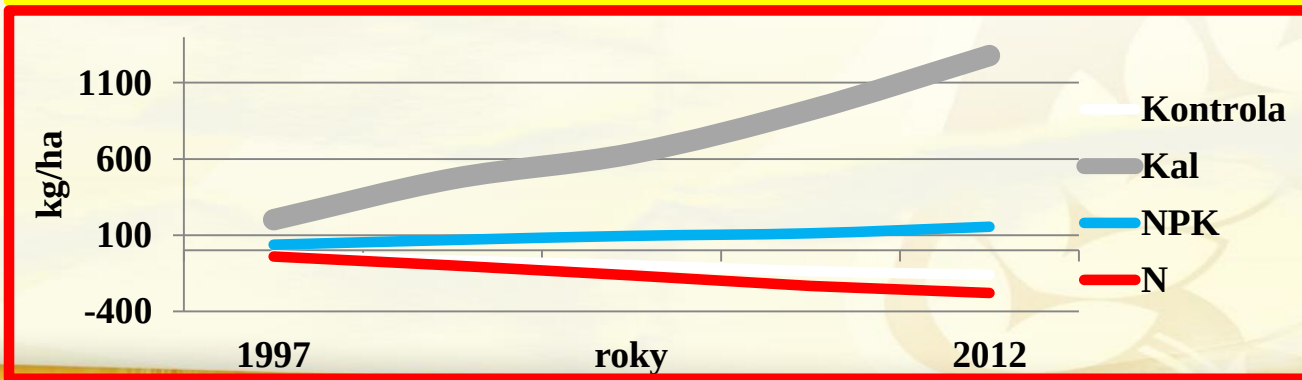
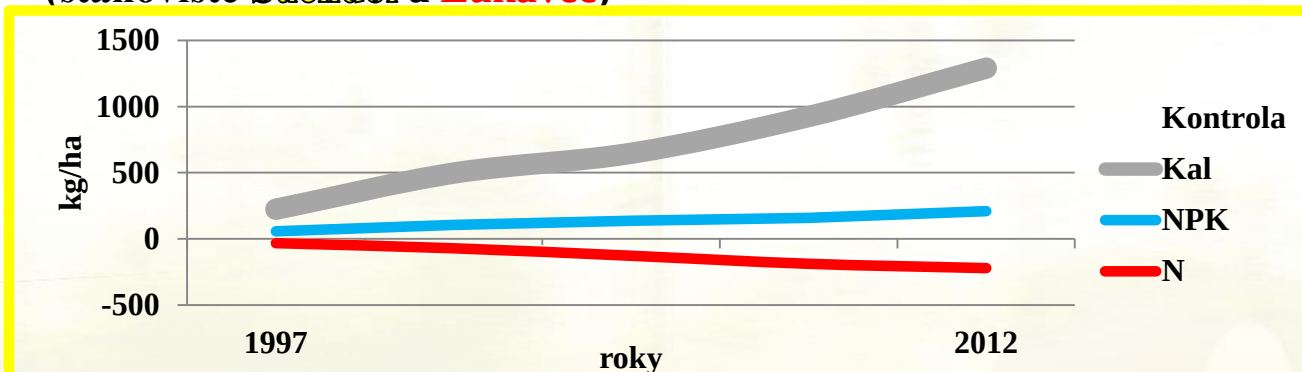
Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie
potravinových a přírodních zdrojů

přístupný P (H_2PO_4^-); (HPO_4^{2-})

Vliv na bilanci P

Bilance P v půdě na variantě kal ve srovnání s kontrolou, NPK, N
(stanoviště Suchdol a Lukavec)



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

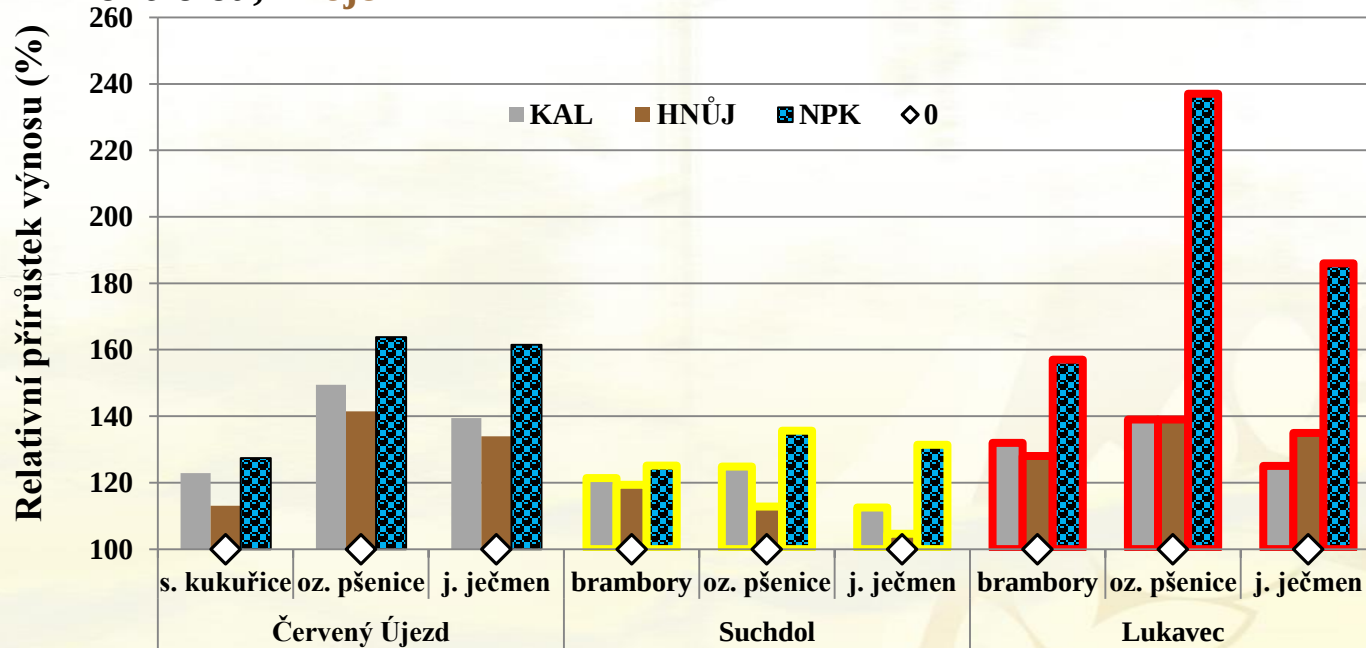
Vliv na půdní vlastnosti

Půdní vlastnost	Vliv	Hodnocení vlivu
<i>fyzikální</i>		+ příznivé / – negativní
Objemová hmotnost	snížení	+
Vodní kapacita	zvýšení	++
Pórovitost	zvýšení	+
Eroze	snížení	+
Stabilita půdních agregátů	zvýšení	+
<i>chemické (fyzikálně-chemické)</i>		
pH	zvýšení / snížení	+ / –
Obsah organického uhlíku	zvýšení	+
Obsah N a P	zvýšení	++
Kationtová výměnná kapacita	zvýšení	+
Elektrická vodivost	zvýšení	+
Obsah rizikových prvků	zvýšení	–
<i>biologické</i>		
Obsah/aktivita mikroorganismů	zvýšení	++
Aktivita enzymů	zvýšení	+
Výskyt patogenních organismů	zvýšení/ neprokázáno	– / +

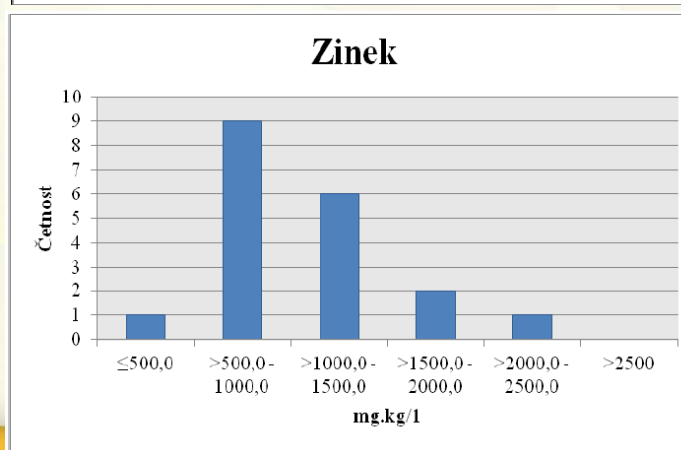
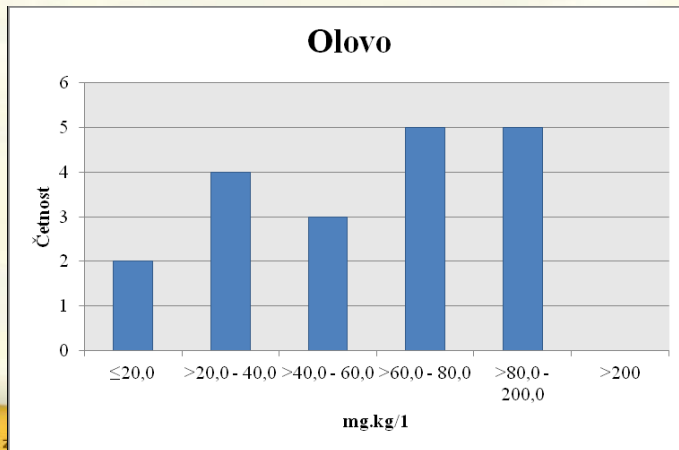
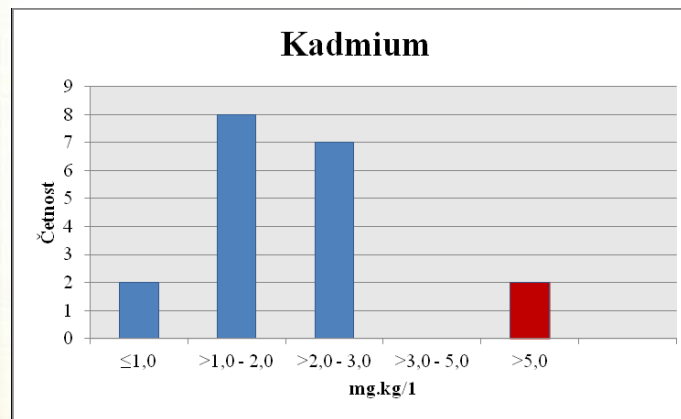
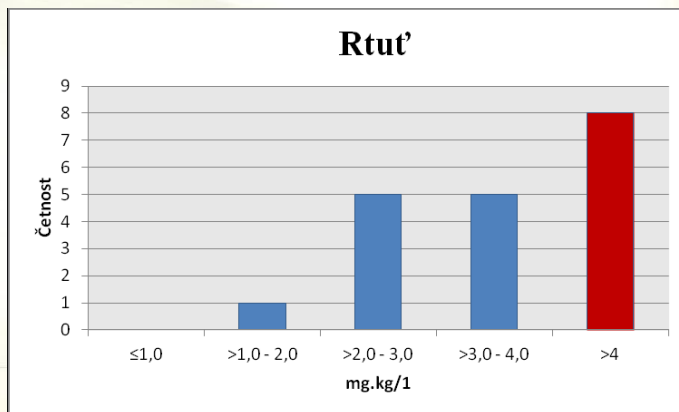


Vliv na výnos plodin

Relativní výnos plodin na variantách hnojených kalem ve srovnání s kontrolou, **hnojem** NPK

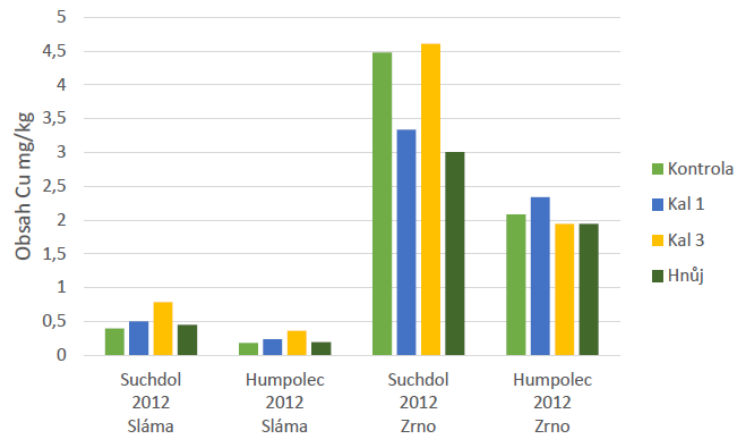


Obsah rizikových prvků



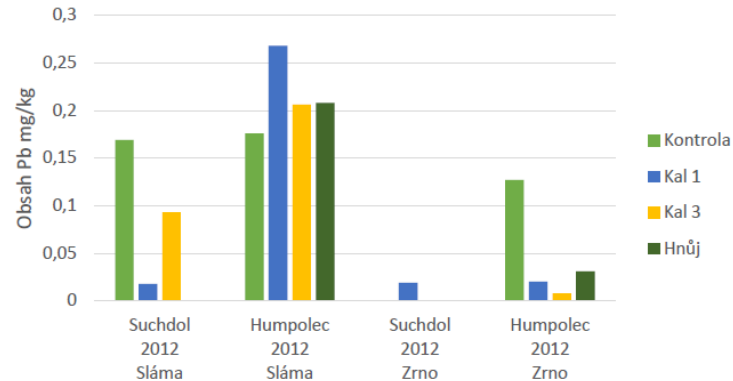
Bilance rizikových prvků

Obsah mědi - pšenice ozimá - sláma x zrno 2012



Vstup Cu 1000 – 2000 g/ha
Odběr 50-100 g/ha

Obsah olova - pšenice ozimá - sláma x zrno



Vstup Pb 100-500 g/ha
Odběr < 1 g/ha



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů

Legislativní předpisy

Zákon č. 185/2001 Sb. (223/2015 Sb.) o odpadech, zvl. § 32-33

Vyhláška č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě

**Legislativní předpisy jsou uvedeny jako samostatná příloha e-learningové podpory
předmětu Agronomické využití odpadů**



Doporučená literatura

- ČERNÝ, J. – BALÍK, J. – KULHÁNEK, M. – SEDLÁŘ, O. Využití čistírenských kalů jako zdroje organických látek. 2019, Racionální použití hnojiv 15.11.2019, Praha. ČZU v Praze. s. 67-72. ISBN: 978-80-213-2983-6.
- ČERNÝ, J. – BALÍK, J. – KULHÁNEK, M. – VAŠÁK, F. – VANĚK, V. Využití kalů z čistíren odpadních vod. 2014, Racionální použití hnojiv 27.11.2014, Praha. ČZU v Praze. s. 19-26. ISBN: 978-80-213-2511-1.
- ČERNÝ, J. – BALÍK, J. – ŠVEHLA, P. – KULHÁNEK, M. Využití odpadů z ČOV jako zdroje organických látek a živin. 2009, Racionální použití hnojiv 26.11.2009, Praha. ČZU v Praze. s. 36-41. ISBN: 978-80-213-2006-2.



VYUŽITÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ JAKO ZDROJE ORGANICKÝCH LÁTEK

(The Use of Sewage Sludge as a Source of Organic Matter)

Jindřich Černý, Jiří Balík, Martin Kulháněk, Ondřej Sedlář

Department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition, Faculty of
Agrobiological, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences
Prague, Kamýcká 129, 165 21 Prague – Suchbát, Czech Republic,
cernyj@af.czu.cz

Abstract

Sewage sludge, a residual semi-solid byproduct of wastewater treatment plants, contains significant amount of decaying organic matter (e.g., carbohydrates, fats, proteins, organic acids, etc.) and microorganisms. Sewage sludge has a high potential for use in agriculture due to its high organic matter content, approximately 50% on a dry basis. Long-term studies are needed to evaluate the effect of sewage sludge on soil properties by paying particular attention to the soil organic matter.

Key words: long-term field experiments, organic matter, plant nutrients, soil

Kaly z čistíren odpadních vod představují jednu z možností přísunu organických látek do zemědělské půdy. S ohledem na téma této konference, se budeme dále v příspěvku zabývat především organickým podílem vyskytujícím se v čistírenských kalech. Ačkoliv existují různé názory na využití čistírenských kalů, především s ohledem na obsah rizikových prvků a organických polutantů, nelze opomenout jejich komplexní složení a souhrnné působení po aplikaci na zemědělskou půdu. To je jednak vliv kalů na zvýšení výnosu polních plodin [1], a také působení na půdní vlastnosti, zejména zvýšení obsahu a přístupnosti živin v půdě a zlepšení fyzikálních a chemických i biologických vlastností půdy [2].

Jelikož čistírenské kaly vznikají z odlišných zdrojů odpadních vod a různých procesech používaných při jejich čištění, zvyšuje se zájem o určení charakteru odpadních organických látek, které se v odpadních vodách, resp. čistírenských kalech vyskytují. Jednotlivé vědecké práce, které se touto problematikou zabývají však mohou popisovat odlišné údaje vzhledem k různému složení odpadních vod, které se liší podle zdroje (místa), ročního období apod. Odpadní organickou hmotu lze rozdělit do tří skupin podle jejich původu:

1. Přírodní organická hmota získaná ze zdrojů při použití pitné vody.
2. Rozpustné mikrobiální produkty získané během biologických procesů čištění odpadních vod.
3. Syntetické organické sloučeniny vzniklé při domácím/průmyslovém použití a vedlejší produkty dezinfekce vytvořené během procesů čištění vody a odpadních vod [2].

Poznání chemického složení odpadních vod je důležité, protože to umožňuje pochopení reakcí a interakcí s organickými a anorganickými

sloučeninami. Organické a biologické složení odpadních vod je odrazem využití přitékající vody, jako jsou průmyslové, domácí a zemědělské činnosti. Z organických látek v odpadní vodě je přibližně 50 % bílkovin, 40 % sacharidů, 10 % tuků a olejů, a stopová množství ($\mu\text{g/l}$ nebo méně) povrchově aktivních látek a nově se vyskytujících kontaminantů [4].

Základní procesy používané při čištění odpadních vod

Hlavní podíl kalu vzniká na ČOV při mechanickém (primárním) a biologickém (sekundárním) čištění odpadní vody. Při mechanickém čištění dochází především k sedimentaci nerozpuštěných látek vyskytujících se v surové odpadní vodě. Podle doby zdržení lze během sedimentace odstranit 70–90 % suspendovaných pevných látek z odpadní vody. Sediment (primární kal) obsahuje jílnaté a prachové částice a organické látky. Biologické čištění umožňuje odstranění některých oxidovatelných organických látek, které se vyskytují většinou v rozpuštěné formě. Tento proces využívá bakteriální biologickou degradaci rozpuštěných znečišťujících látek. Mikroorganismy zároveň imobilizují část živin, jako např. N, P, S. Zároveň však vznikají rozpustné mikrobiální produkty a extracelulární polymerní látky. Kal z biologického čištění (sekundární kal) tak obsahuje především přebytečnou mikrobiální biomasu využívanou při čištění odpadní vody. Primární a sekundární kal se liší zejména podílem organického a anorganického podílu (tab. I).

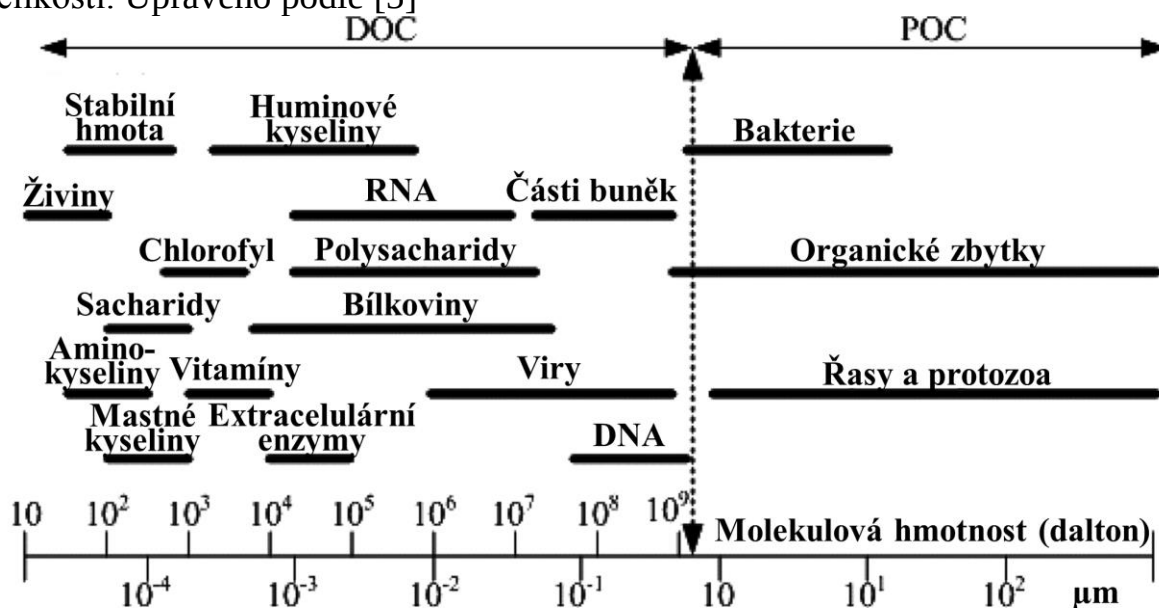
Odpadní organickou hmotu lze z pohledu procesů čištění rozdělit do dvou hlavních skupin podle velikosti:

1. Částice suspendovaných organických látek větší než $0,45 \mu\text{m}$.
2. Rozpuštěný organický uhlík (DOC) pod tímto limitem. (obr. 1).

Frakce suspendovaných pevných organických látek zahrnuje zejména zbytky organické hmoty rostlin, půdy, mikroorganismy (protozoa, řasy, bakteriální floky a jednotlivé buňky), mikrobiální odpadní produkty a další různé zbytky, které mohou být odstraněny procesy separace (sedimentace, filtrace).

Rozpuštěný organický uhlík (DOC) jsou obvykle buněčné fragmenty a makromolekuly. Hlavní makromolekuly představují polysacharidy, bílkoviny, lipidy, nukleové kyseliny apod. [5]. Odpadní organická hmota v rozmezí 10^3 až 10^6 Da zahrnuje huminové kyseliny a fulvokyseliny přítomné ve vodě a látky menší než 10^3 Da zahrnují sacharidy, aminokyseliny, vitamíny a chlorofyl. Perzistentní organické sloučeniny, jako je DDT, polychlorované bifenylly a další organické polutanty mají často nižší molekulární hmotnostní sloučeniny [6]. Tyto perzistentní organické látky mohou významně ovlivňovat kvalitu vody, ale také využitelnost kalů jako hnojiva, a proto jsou předmětem výzkumu v oblasti čištění odpadních vod. S ohledem na téma a rozsah příspěvku se jimi však dále zabývat nebudeme.

1. Organické látky v biologicky čištěných odpadních vodách a rozsahy jejich velikostí. Upraveno podle [5]



Ačkoliv složení odpadních organických látek je velice pestré, popíšeme pouze některé skupiny s ohledem na jejich další přeměny v procesech čištění odpadních vod a využití kalů na zemědělské půdě. **Bílkoviny**, resp. aminokyseliny jsou významným zdrojem organického dusíku a síry v čistírenských kalech.

Sacharidy které se vyskytují v odpadních vodách zahrnují cukry, škroby, celulózu. Některé sacharidy, zejména cukry, jsou rozpustné ve vodě. Cukry jsou rozkládány enzymy některých bakterií a kvasinek při fermentaci produkující alkoholy a oxid uhličitý, a/nebo poskytují zdroj uhlíku pro další mikroorganismy. Škroby se přímo nerozpouští, ale přeměňují se na cukry mikrobiální aktivitou i zředěnými minerálními kyselinami, které při čištění odpadních vod vznikají. Odpadní vody obsahující vysoké obsahy sacharidů jsou často z průmyslových odvětví, jako je zpracování potravin. Z hlediska objemu a odolnosti vůči rozkladu je významným (poly)sacharidem v odpadních vodách celulóza díky svému specifickému rozkladu. Výrazný podíl celulózy pochází z např. z toaletního papíru. Vysokou stabilitou se vyznačuje také polyfenolycká amorfní látka lignin.

Tuky a oleje jsou třetí nejhojnější složkou v odpadních vodách. Vyskytují se v domácí odpadní vodě jako zbytky potravin. Jedná se především o máslo, sádlo, margaríny a rostlinné oleje. Téměř všechny tuky jsou degradovány během biologického čištění [7].

Během biologického čištění mikrobiální biomasa nejen spotřebovává organický materiál přítomný v odpadních vodách, ale také produkuje rozpustné mikrobiální produkty a extracelulární polymerní látky, které se podílejí na tvorbě mikrobiálních agregátů [8]. Jedná se především o části buněk, které se uvolňují během buněčné lýzy a látky, které difundují přes buněčnou membránu, nebo sloučeniny, které jsou vylučovány z jiných důvodů.

Zpracování kalů na ČOV

Primární a sekundární kal se na ČOV zpravidla mísí a dále se zpracovává ve formě směsi jako tzv. surový kal. Jedná se především o jeho biologickou stabilizaci. Ta nejčastěji probíhá v anaerobních podmínkách (anaerobní stabilizace kalu). Na menších ČOV se také využívá aerobní stabilizace kalu. Principem biologické stabilizace kalu je rozklad snadno rozložitelných organických látek působením mikroorganismů. Výsledkem stabilizace kalu je proto především pokles zastoupení organických látek v kalu. Při anaerobní stabilizaci je podobně jako na zemědělských bioplynových stanicích produkován energeticky využitelný bioplyn. Zatímco obsah organických látek stanovených jako ztráta žiháním dosahuje v surovém kalu většinou cca 70 %, u stabilizovaného kalu zpravidla nepřesahuje 50 %. V důsledku stabilizace kalu je významným způsobem snížen také výskyt patogenních organismů. V biologicky stabilizovaném kalu by již neměly probíhat intenzivní biologické pochody působící hygienické problémy.

I) Průměrné složení kalů [9]

	Primární	Sekundární	Stabilizovaný, odvodněný
Anorganický podíl (%)	30-53	18-37	38-66
Organický podíl (%)	47-70	63-82	34-62
Obsah vody (%)	88-97	95-98	64-83

Biologicky stabilizovaný kal je tekutým materiálem o sušině do 10 %. Pro jeho další zpracování je potřeba kal odvodnit a zvýšit podíl sušiny na hodnoty okolo 25–30 %. Odvodňování kalu probíhá na kalolisech, sítopásových lisech nebo odstředivkách. Kal s uvedeným obsahem sušiny je již tuhou hmotou, která je odvážena mimo objekt ČOV. Právě tento materiál je v praxi možno využít v zemědělství. I přes pokles organické frakce, ke kterému dochází při stabilizaci kalu, obsahuje čistírenský kal významné množství využitelné organické hmoty. Obsah organického uhlíku je v odvodněných čistírenských kalech nejčastěji v rozmezí 25-33 % sušiny.

Složení organických látek v kalech a vliv na změny organického uhlíku v půdě

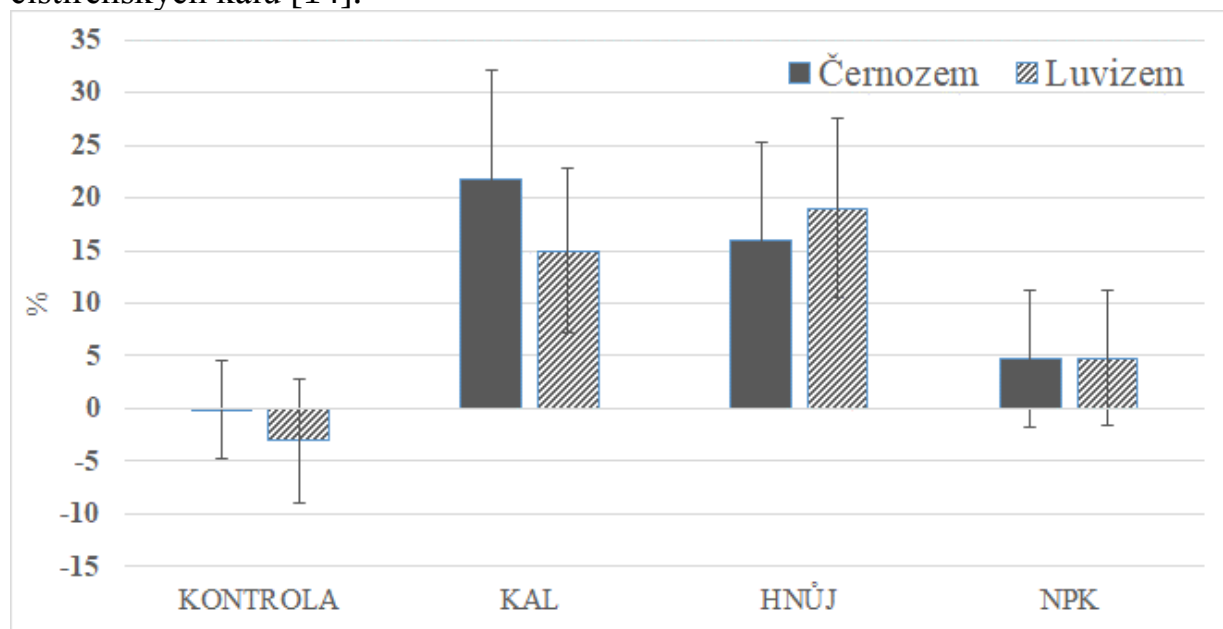
Mnoho studií se zabývá složením organické hmoty v čistírenských kalech, zejména stabilitou organických látek a jejich přeměnami po aplikaci do půdy nebo v průběhu kompostování. S ohledem na výše uvedené složení a procesy čištění odpadních vod organické látky čistírenských kalů mohou vykazovat nižší stabilitu, například v porovnání s kvalitním chlévským hnojem nebo kompostem. Avšak i po aplikaci kalu se mohou v půdě akumulovat stabilní organické frakce, které se stávají nedílnou součástí organických látek v půdě, především humusových frakcí (např. huminových kyselin) [10]. Organické látky z

čistírenských kalů sestávají hlavně z alifatických molekul, jako jsou mastné kyseliny, steroidy a bílkovinný materiál, avšak uspokojivý popis povahy organických sloučenin ve frakcích humusových látek je stále obtížné stanovit [11]. Amir *et al.* [12] při kompostování čistírenských kalů (90 %) se slámou (10 %) izolovali v jednotlivých fázích kompostování hlavní skupiny huminových kyselin a sloučeniny identifikované na chromatogramech, rozdělili do následujících hlavních skupin: aromatické sloučeniny odvozené od ligninu, aromatické sloučeniny jiné povahy než lignin, sloučeniny obsahující heterocyklický N, methylestery mastných kyselin. Jednotlivé skupiny organických látek z těchto frakcí pak odlišně působí po aplikaci čistírenských kalů na půdu.

Adani *et Tambone* [13] popisují změny v zastoupení prvků (C, H, O, N, S) v huminových kyselinách u půdy s pravidelnou aplikací čistírenských kalů (1 t sušiny/ha po dobu 10 let). Huminové kyseliny z ošetřené půdy vykazovaly vyšší obsah C a H a nižší obsah N, S a O ve srovnání s huminovými kyselinami z neošetřeného pozemku. Jelikož huminové kyseliny z čistírenských kalů měly vyšší obsah C a H a nižší obsah O, lze předpokládat účinek kalu na půdní huminové kyseliny.

Z výsledků dlouhodobých polních pokusů lze také dokumentovat, že organická hmota čistírenských kalů přispívá ke kladné bilanci organických látek a zvýšení obsahu organického uhlíku (C_{org}) v půdě.

2. Relativní změny obsahu C_{org} v půdě v dlouhodobých pokusech s aplikací čistírenských kalů [14].



Jak uvádějí Balík *et al.* [14] při pravidelné aplikaci čistírenských kalů na dvou stanovištích se zvýšil obsah C_{org} v půdě o 15–21 % ve srovnání s počátečním obdobím pokusů (20 let), přičemž účinek čistírenských kalů byl

srovnatelný s působením hnoje. Hnojiva byla v průběhu pokusu aplikována pravidelně v tříletém cyklu s průměrnou dávkou 9,38 t sušiny kalu/ha/3 roky a 15,82 t sušiny hnoje/ha/3 roky. Celkový přísun uhlíku za sledované období činil 16,91 t/ha v čistírenských kalech a 30,85 t/ha v chlévském hnoji.

Príspevek byl řešen v rámci Specifického výzkumu „S projekt“ MŠMT ČR – GA FAPPZ SV19-03-21140.

Literatura

- [1] J. Černý *et al.*, *Plant. Soil. Environ.* 2010, 56, 28.
- [2] R.P. Singh *et al.*, *Rev. Environ. Contam. T.* 2011, 214, 41.
- [3] J. Drewes *et P. Fox*, *Water Sci. Technol.* 1999, 40, 241.
- [4] T.G Ellis, in: *Encyclopedia of Life Support System*, 2004, Oxford, UK.
- [5] A.D. Levine *et al.*, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 1985, 57, 805.
- [6] M. Petrović *et al.*, *Trends Anal. Chem.*, 2003, 22, 685.
- [7] M.F. Dignac *et al.*, *Water Res.* 2000, 37, 4185.
- [8] D.J Barker *et D.C Stuckey*, *Water Environ. Res.* 2001, 73, 173.
- [9] J. Mata-Alvarez *et al.*, *Bioresour. Technol.* 2000, 74, 3.
- [10] M.L Pacheco *et al.*, *Chemosphere*, 2003, 51, 95.
- [11] V. Re´veille´ *et al.*, *Org. Geochem.* 2003, 34, 615.
- [12] S. Amir *et al.*, *Process Biochem.* 2006, 41, 410.
- [13] F. Adani *et F. Tambone*, *Chemosphere*, 2005, 60, 1214.
- [14] J Balík *et al.*, *Plant. Soil. Environ.* 2018, 64, 578.

VYUŽITÍ KALŮ Z ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

(Land application of sewage sludge)

Jindřich Černý, Jiří Balík, Martin Kulháněk, Filip Vašák, Václav Vaněk
Department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition, Faculty of
Agrobiological, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences
Prague, Kamýcká 129, 165 21 Prague – Suchbátka, Czech Republic,
cernyj@af.czu.cz

Abstract

The increasing numbers of plants for the treatment of wastewater have brought about an increase in the generation of sewage sludge. Sewage sludge is a by-product of sewage treatment processes. Land application of sewage sludge is one of the important disposal alternatives. Characteristics of sewage sludge depend upon the quality of sewage and type of treatment processes followed. Being rich in organic and inorganic plant nutrients, sewage sludge may substitute for fertilizer, but availability of potential toxic metals often restricts its uses. Sludge amendment to the soil modifies its physico-chemical and biological properties. Crop yield in sludge-amended soil is generally corresponding to soil fertilized by mineral fertilizers. The purpose of this paper is to review the available information on various aspects of sewage sludge application on soil fertility and consequent effects on plant production to explore the possibility of exploiting this material for agronomy use.

Key words: long-term field experiments, organic matter, plant nutrients, soil

Čistírenské kaly představují odpadní materiál, o jehož využití je v podmínkách České republiky v posledních dvaceti letech často diskutováno. Toto souvisí jednak se zvýšenou snahou o čištění odpadních vod, ale také ve vztahu s problematikou sledování rizikových látek vnesených do prostředí. Z pohledu čistíren odpadních vod (ČOV) představuje kalové hospodářství a nakládání s kaly často více než poloviční podíl nákladů na čištění odpadních vod. Přestože počet ČOV v ČR narůstal, celková produkce čistírenských kalů se snižovala (graf 1). Je to dáno především změnami v technologických postupech minimalizace množství kalů při jejich zpracování v kalovém hospodářství ČOV. V podmínkách ČR je produkováno ročně více než 150 tisíc tun čistírenských kalů.

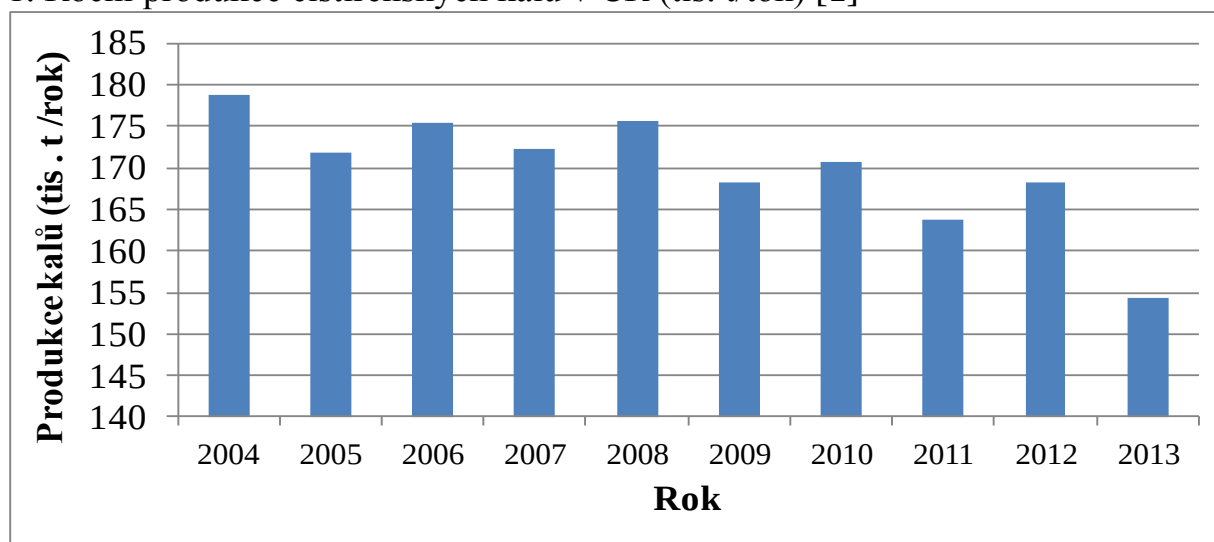
Čistírenské kaly lze využívat mnoha způsoby. Běžně jsou uváděny především následující postupy finálního nakládání s kaly:

- různé způsoby spalování a energetického využití, jako například mokré spalování; spalování v cementárenské peci; spoluspalování (spalování společně s energeticky bohatším palivem v teplárnách, elektrárnách, spalovnách komunálního odpadu); termické zpracování (různé způsoby pyrolýzy a zplyňování a kombinace termické a chemické hydrolýzy);

- skládkování (deponie) - uložení materiálu na zabezpečenou skládku;
- kompostování;
- aplikace na zemědělskou půdu - využití kalů jako hnojiva v zemědělské výrobě.

Způsoby využití kalů v České republice v období posledních 10 let jsou uvedeny v tabulce I.

1. Roční produkce čistírenských kalů v ČR (tis. t/tok) [1]



I. Množství kalů (t) podle způsobu využití a podíl z celkové roční produkce (%) [1]

Rok	Aplikace a rekultivace		Kompostování		Skládkování		Spalování		Jinak	
	t	%	t	%	t	%	t	%	t	%
2004	29 119	16	87 469	49	25 447	14	39	0	36 675	21
2005	34 467	20	88 820	52	12 027	7	20	0	36 554	21
2006	48 304	28	89 932	51	13 979	8	27	0	23 229	13
2007	55 349	32	80 393	47	8 536	5	47	0	27 978	16
2008	46 776	27	78 289	45	11 986	7	712	0	37 945	22
2009	42 442	25	80 727	48	5 931	4	2 179	1	36 885	22
2010	60 639	36	45 528	27	6 177	4	3 336	2	55 009	32
2011	61 750	38	45 985	28	9 527	6	3 538	2	43 018	26
2012	51 912	31	53 222	32	9 340	6	3 528	2	50 188	30
2013	54 713	35	50 384	33	7 123	5	3 232	2	38 882	25

V tomto příspěvku se budeme dále zabývat především možností aplikace na zemědělskou půdu. Jak je zřejmé z údajů v tabulce I, podíl kalů využívaných pro přímou aplikaci (a rekultivaci) postupně stoupá. Statistické zdroje v ČR však nerozdělují, jaký podíl z produkovaných kalů je skutečně využit pouze pro přímou aplikaci na zemědělské půdě, a jaký podíl připadá na rekultivace. Tato

data jsou zatím jen obtížně zjištělná. Ve srovnání s jinými zeměmi Evropské unie (EU), kde je na zemědělskou půdu většinou aplikováno více než 50 % z produkce čistírenských kalů, je ale v ČR aplikován menší podíl produkovaných kalů. V některých zemích EU však kaly na zemědělskou půdu nejsou aplikovány přímo, ale jako kompostovaný materiál (např. Finsko, Estonsko) [2].

Charakteristika čistírenských kalů

Čistírenské kaly jsou látky značně rozmanitého složení. Heterogenní povaha je dána jednak jejich původem (různé zdroje odpadních vod s odlišným způsobem znečištění), dále odlišnostmi v technologických postupech čištění odpadních vod na ČOV a případně obdobím produkce kalů. Výsledky dlouhodobých sledování složení kalů ale také ukazují, že kaly ze stejné ČOV často vykazují poměrně stabilní obsahy některých živin, organické hmoty a sušiny. Nejen z legislativních důvodů, ale též ve vztahu k bilanci živin v půdě je nezbytné znát složení kalů před jejich aplikací na zemědělskou půdu.

Z pohledu využití kalů jako hnojiva je významný zejména obsah rostlinných živin. Kaly jsou zdrojem důležitých makroprvků, především N a P. V posledních letech je také příznivě hodnocen obsah síry. Uvedené živiny jsou z čistírenských kalů dobře přístupné pro rostliny, jelikož část živin je již v minerální formě (amonný N, dihydrogenfosforečnany, sírany). Další podíl je součástí lehce hydrolyzovatelných organických látek a mikrobiální biomasy. Poměr C/P a C/S je v kalech většinou nižší, než 50:1. V půdě tedy převládá uvolňování těchto živin v průběhu mineralizace.

II. Nejčastěji uváděné obsahy živin, organických látek (OL) a pH v sušině čistírenských kalů

	Rozsah (%)	Průměr (%)		Rozsah mg/kg	Průměr mg/kg
N	2,2-4,8	3,2	Zn	135-1819	795
P	0,8-2,5	1,9	Cu	205-1347	486
K	0,2-0,6	0,4	Mn	187-558	270
Mg	0,4-2,3	0,9	B	24-71	48
S	0,3-2,3	0,9	Mo	3-13	6
OL	33-57	47			
pH	6,5-8,6	7,1			

Význam čistírenských kalů je důležité také posuzovat s ohledem na obsah a kvalitu organické hmoty. Organické látky čistírenských kalů vykazují nižší stabilitu, například v porovnání s chlévským hnojem. V půdě jsou tak poměrně rychle mineralizovány. Při krátkodobém hodnocení je největší vliv kalů na výnos plodin v prvním, případně druhém roce po jejich aplikaci na zemědělskou půdu. V případě pravidelného hnojení čistírenskými kaly je ale příznivě hodnoceno i

jejich dlouhodobé působení. Rychlý průběh mineralizace kalů je dán užším poměrem C/N (nejčastěji 6-12:1), ale také složením organické hmoty obsažené v kalech. V porovnání s hnojem vykazují kaly průkazně menší obsah humusových látek a nižší stupeň humifikace (tab. III).

III. Parametry humifikace čistírenských kalů a hnoje [3].

Parametr		Kal	Hnůj
Celkový organický uhlík	C_t (%)	31,9	31,7
Celkový extrahovatelný uhlík	C_{ex} (%)	7,5	9,2
Obsah huminových kyselin (HK) v C_{ex}	(%)	39,6	65,8
Obsah fulvokyselin (FK) v C_{ex}	(%)	3,5	10,1
Stupeň humifikace $[100(C_{HK} + C_{FK})/C_{ex}]$		43,1	75,9
Humifikační poměr $[100(C_{HK} + C_{FK})/C_t]$		10,1	22,1

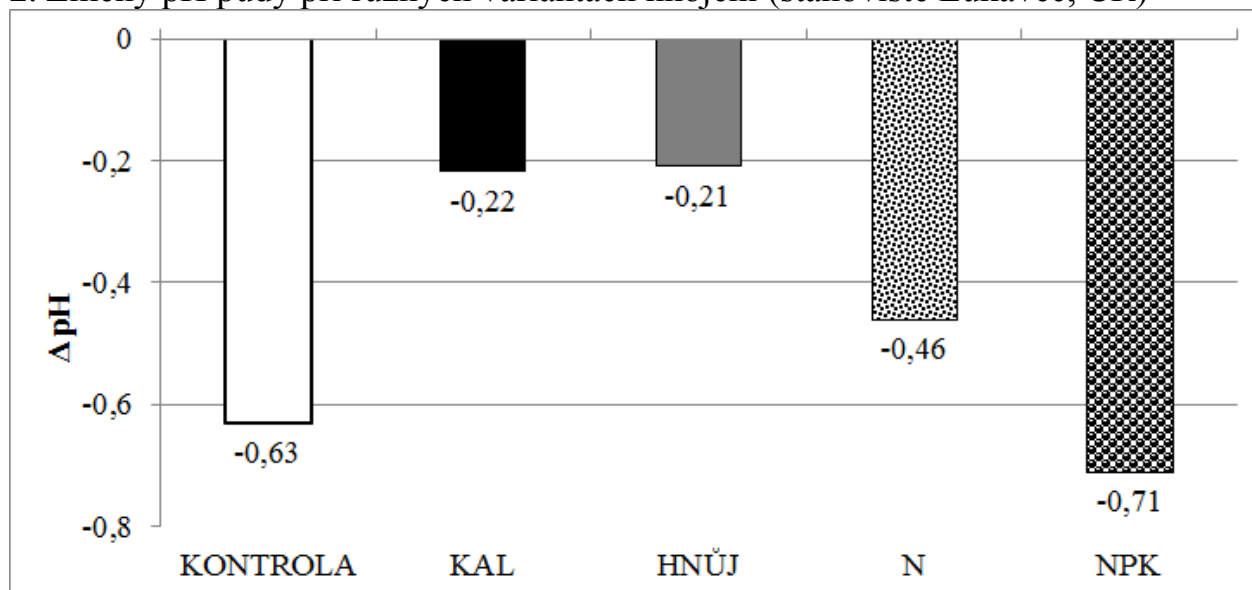
Z výše uvedených důvodů některé půdy po aplikaci kalů vykazují také vyšší rozklad půdní organické hmoty než půdy, kde byl například aplikován hnůj. Přestože přísun organického uhlíku v aplikovaných kalech převyšuje úbytek půdní organické hmoty a ve výsledku se obsah organického uhlíku v půdě zvyšuje, může však klesat kvalita organické hmoty. Z tohoto důvodu ani čistírenské kaly nelze považovat za organické hnojivo, které může nahradit kvalitní chlévský hnůj. Lepší výsledky vlivu na kvalitu půdní organické hmoty poskytují až kompostované kaly.

Vliv aplikace kalů na půdní vlastnosti

Souhrnné studie uvádějí ve většině případů příznivý vliv na chemické, fyzikální i biologické půdní vlastnosti (tab. IV). Při hnojení čistírenskými kaly je často popisováno mírné zvýšení hodnoty pH, ačkoliv mineralizační procesy organické hmoty a přeměny některých živin (N, S) spíše předpokládají pokles pH půdy. Změny pH půdy jsou především v korelaci s obsahem uhličitánů v kalech, zvláště, pokud je při stabilizaci a hygienizaci kalů využíváno vápnění. U ostatních typů kalů je spíše zaznamenáván mírný pokles pH půdy. Půda si ale udržuje dobrou pufrální schopnost a pokles hodnoty pH je menší ve srovnání s aplikací minerálních hnojiv. To potvrzují například výsledky dlouhodobých polních pokusů (graf 2), kde byly sledovány změny pH po 15 letech trvání pokusů při aplikaci kalů v tříletém intervalu [4]. Udržení vhodného pH půdy je velice důležité z důvodu snížení mobility rizikových prvků, které mohou být v čistírenských kalech obsaženy.

Organická hmota dodávaná v kalech do půdy přispívá ke zlepšení vlastností půdy, jako jsou objemová hmotnost, pórovitost a s tím související vodní režim půdy. Půdy hnojené kaly vykazují lepší schopnost infiltrace vody, a zároveň schopnost vodu zadržet. Není tak většinou pozorován nepříznivý jev vyšší promyvnosti půd spojené s vyplavováním živin, případně některých rizikových prvků.

2. Změny pH půdy při různých variantách hnojení (stanoviště Lukavec, ČR)



IV. Vliv hnojení čistírenskými kaly na vybrané půdní vlastnosti [5-8].

Půdní vlastnost	Vliv	Hodnocení vlivu + příznivé / – negativní
<i>fyzikální</i>		
Objemová hmotnost	snížení	+
Vodní kapacita	zvýšení	++
Pórovitost	zvýšení	+
Eroze	snížení	+
Stabilita půdních agregátů	zvýšení	+
<i>chemické (fyzikálně-chemické)</i>		
pH	zvýšení / snížení	+ / –
Obsah organického uhlíku	zvýšení	+
Obsah N a P	zvýšení	++
Kationtová výměnná kapacita	zvýšení	+
Elektrická vodivost	zvýšení	+
Obsah organického C	zvýšení	+
Obsah rizikových prvků	zvýšení	–
<i>biologické</i>		
Obsah/aktivita mikroorganismů	zvýšení	++
Aktivita enzymů	zvýšení	+
Výskyt patogenních organismů	zvýšení/ neprokázáno	– / +

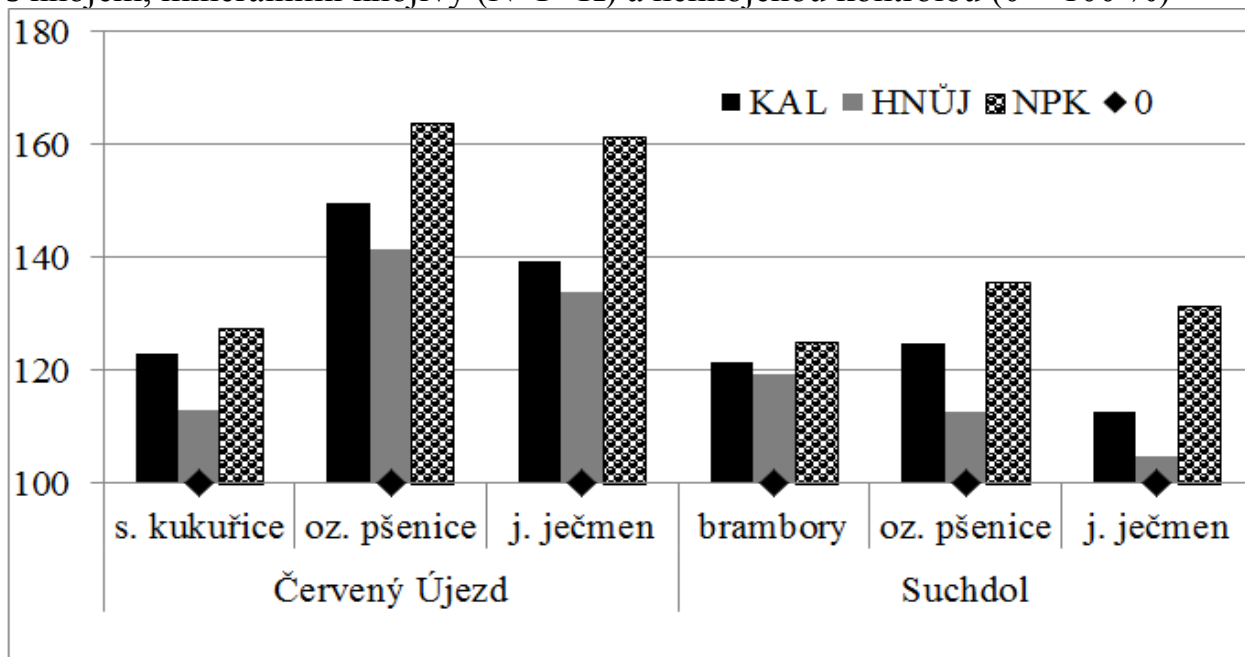
Organická hmota také příznivě působí na mikrobiální aktivitu půd. Již v kalech jsou obsaženy odumřelé buňky mikroorganismů, které představují snadno rozložitelný substrát pro půdní mikroorganismy. Původní předpoklady, že obsah rizikových prvků, případně organická rezidua, obsažená v kalech budou

snížovat mikrobiální aktivitu v půdě, se ve většině případů nepotvrdila. Naopak, díky přítomnosti dobře rozložitelných sloučenin dusíku, fosforu, síry dochází k průkaznému zvýšení aktivity enzymů, jako například ureázy, fosfatázy, arylsulfatázy, β -glukosidázy apod. Převážně je však popisován pouze krátkodobě vyšší obsah mikrobiální biomasy, mikrobiální, či enzymatické aktivity, což potvrzuje rychlou mineralizaci organické hmoty čistírenských kalů. Při hodnocení mikrobiologických vlastností půd je také často uváděn vliv čistírenských kalů na změny mikrobiálních společenství [9].

Vliv aplikace kalů na výnos plodin

Výsledky polních pokusů obecně ukazují, že použití kalů na zemědělské půdě příznivě působí na růst rostlin a zvyšuje výnos sklizených produktů. Zvýšení výnosu plodin v důsledku aplikace kalů je často srovnatelné, nebo i přesahuje výnos plodin hnojených obdobnou dávkou živin v minerálních hnojivech. Sledování již byla uskutečněna u celé řady plodin, jako jsou obilniny (pšenice, ječmen, kukuřice na zrna); okopaniny (brambory, cukrová řepa); olejnin (ozimá a jarní řepka, slunečnice); pícniny (silážní kukuřice, trvalé travní porosty); případně další plodiny, jako například pro energetické využití (vrby, topoly), nebo ovocné stromy (jabloně). Jednoznačně nelze popsat, o kolik se zvýší výnos po aplikaci kalů, neboť jejich působení je ovlivněno ostatními půdními vlastnostmi a klimatickými podmínkami stanoviště. Obecně platí, že zvýšení výnosu na úrodných půdách je malé a větší vliv je na půdách méně úrodných. Toto je například dokumentováno v grafu 3, kde byly vyhodnoceny výsledky z dlouhodobých polních pokusů KAVR [10]. Kaly byly do půdy

3. Relativní přírůstek výnosu (%) po aplikaci čistírenských kalů ve srovnání s hnojem, minerálními hnojivy (N+P+K) a nehnojenou kontrolou (0 = 100 %)



pravidelně aplikovány jednou za tři roky k silážní kukuřici/bramborům, kde bylo hodnoceno přímé působení hnojení. U ozimé pšenice a jarního ječmene (2. a 3. plodina v osevním postupu), bylo hodnoceno následné působení. Zároveň bylo v pokusech prokázáno příznivé působení živin dodaných v kalech. Například dusík z kalů ovlivňuje růst během vegetace, a také v době tvorby semen. U plodin pěstovaných po aplikaci kalů byl vyšší obsah bílkovin v semenech, případně jsou prokázány lepší kvalitativní parametry zrna (HTS, objemová hmotnost, pádové číslo apod.). Jak dokumentují i jiné studie, v důsledku dodání fosforu a jeho dobré přístupnosti pro rostliny je v semenech vyšší obsah zásobních látek (fytinu), ale zvyšuje se také podíl P ukládaného do slámy. Využitelnost fosforu z čistírenských kalů je uváděna často vyšší, než z minerálních hnojiv. Záleží však, jakým způsobem je v technologii čištění odpadních vod fosfor odstraňován. Pokud je více využíván princip chemického vysrážení P, je v kalech obsah P nižší (vlivem následné separace), nebo se vyskytuje v méně rozpustných formách (např. fosforečnanů hořečnatoamonných).

Možnosti aplikace a požadavky legislativy

S ohledem na rizika související s používáním čistírenských kalů jsou upraveny možnosti jak nakládat s kaly v právních předpisech. V ČR se především jedná o následující dokumenty:

zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů;

zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd;

vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva;

vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv;

vyhláška č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě.

Legislativní požadavky ČR jsou poměrně přísné, což na jednu stranu může zajišťovat potřebnou regulaci při používání kalů na zemědělské půdě, na druhé straně snižuje zájem pěstitelů o využívání kalů jako hnojiva. V podmínkách ČR se nesmí použít více než 5 tun sušiny kalů na jeden hektar v průběhu 3 po sobě následujících let. Toto množství může být zvýšeno až na 10 tun sušiny kalů v průběhu 5 po sobě následujících let, pokud použité kaly obsahují méně než polovinu limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků.

Přesné stanovení dávky sušiny se vypočte ze zjištěného obsahu dusíku. Dávka dusíku dodaného v kalech nesmí překročit 70 % celkového potřebného množství dusíku pro hnojenou plodinu.

Nejpozději do 48 hodin od umístění kalů na zemědělskou půdu musí být kaly zapraveny do půdy. Obdobně jako u ostatních organických hnojiv však platí, že zapravení do půdy je nejlépe provést bezprostředně po aplikaci kalů.

Závěr

Použití čistírenských kalů jako hnojiva umožňuje recyklaci cenných složek, jako je organická hmota, N, P a další rostlinné živiny. Aplikace kalů tak může snížit potřebu minerálních hnojiv a zároveň představuje možnost, jak zvýšit úrodnost půdy.

Príspevek byl řešen za podpory specifického výzkumu „S grant MŠMT ČR“ a v rámci grantové podpory SGS FAPPZ č. 21140/1312/3102.

Literatura

- [1] Český statistický úřad, *Vodovody, kanalizace a vodní toky*
<http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/p/280021-14>
- [2] A. Kelessidis et A.S. Stasinakis, *Waste Manage.* 2012, 32, 1186-1195.
- [3] A. Saviozzi et al., *Biol. Fert. Soils.* 1999, 30, 100-106.
- [4] F. Vašák et.al., *Soil Water Res. in press.*
- [5] R.P. Singh et M. Agrawal, *Waste Manage.* 2008, 28, 347-358.
- [6] A. Hemmat et al., *Soil Till. Res.* 2010, 108, 43-50.
- [7] R.P. Singh et al., *Rev. Environ. Contam. T.* 2011, 214, 41-61.
- [8] N. Roig et al. *Agr. Ecosyst. Environ.* 2012, 158, 41-48.
- [9] S.P. Val-Moraes et al., *World J. Microb. Biot.* 2011, 27, 1997-2003.
- [10] J. Černý et al., *Plant. Soil. Environ.* 2010, 56, 28-36.

VYUŽITÍ ODPADŮ Z ČOV JAKO ZDROJE ORGANICKÝCH LÁTEK A ŽIVIN (Use of Waste from Sewage Disposal Plant as Source of Organic Matter and Nutrients)

Jindřich Černý, Jiří Balík, Pavel Švehla, Martin Kulháněk,
Department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition, Faculty of
Agrobiological, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences
Prague, Kamýcká 129, 165 21 Prague – Suchbátka, Czech Republic,
cernyj@af.czu.cz

Abstract

Since supplies of farmyard manure have diminished, the application of organic wastes such as sewage sludge to agricultural soils has received considerable attention in recent years. However, there are various opinions on the benefits of sludge amendment. Application of sewage sludge provides not only a means for its disposal but also improves the levels and availability of soil nutrients, humus status and other chemical and biochemical soil properties, causing an increase in crop yield.

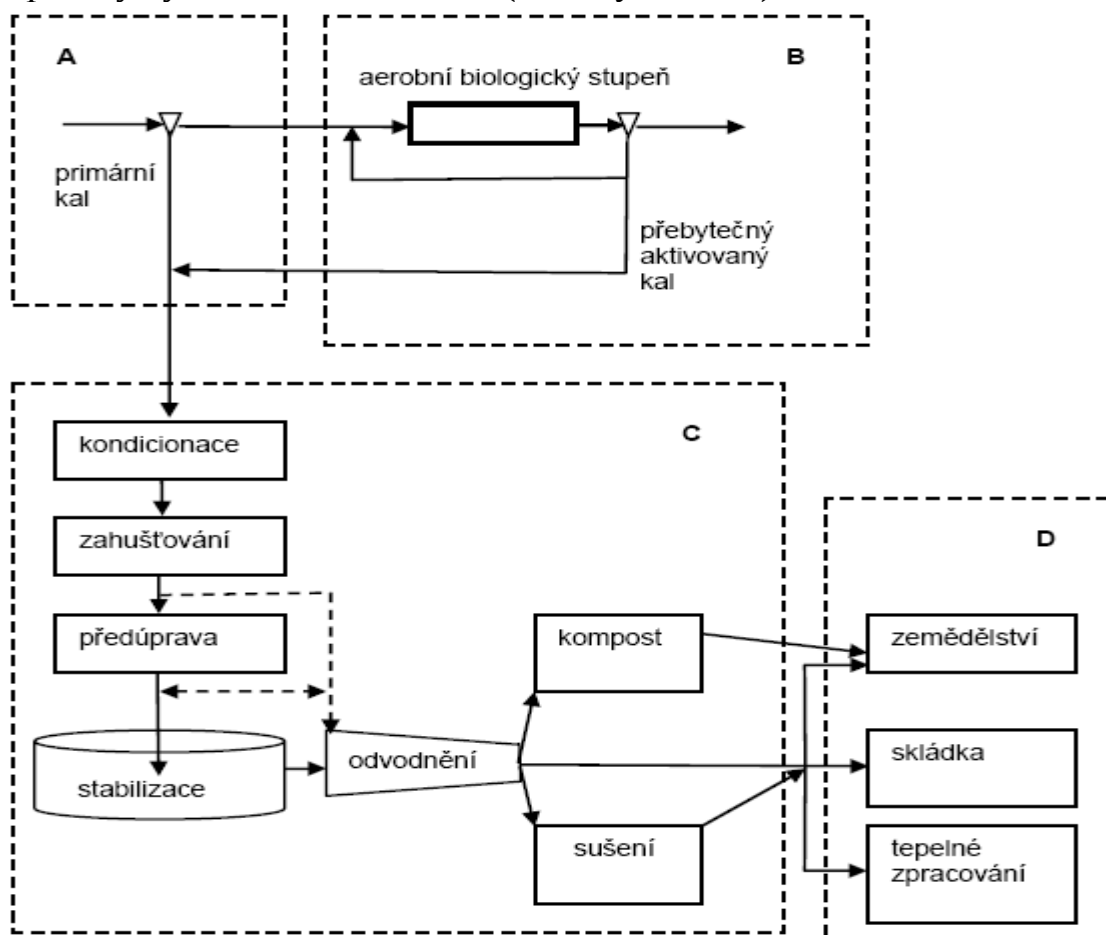
Pro dlouhodobé udržení produktivity agroekosystémů a ochrany životního prostředí je nezbytné vyvíjet a realizovat taková opatření, která zabezpečí udržení půdní úrodnosti, především s ohledem na obsah a kvalitu organické hmoty, obsah a přijatelnost živin a biologický režim půd. Zemědělská praxe, zvláště kultivace a aplikace organických hnojiv působí na činnost půdních mikroorganismů, které ovlivňují mineralizaci, koloběh živin a organické hmoty. Jelikož dávky chlévského hnoje v posledních letech výrazně klesly, je snahou nahradit hnůj jinými organickými materiály obdobných vlastností. Možné výhody poskytuje aplikace kalů z čistíren odpadních vod. Ačkoliv existují různé názory na využití kalů především s ohledem na obsah rizikových prvků a organických polutantů, představují kaly výhody v dlouhodobém vlivu na obsah a přijatelnost živin v půdě, obsah organických látek a tvorbu humusu a biochemických vlastností půdy.

Kal je podle základní definice suspenze nerozpuštěných látek ve vodě (Dohányos et al., 1998). Čistírenské kaly vznikají při různých procesech používaných při čištění odpadních vod. Hlavní podíl kalu vzniká na městských čistírnách odpadních vod (ČOV) při mechanickém (primárním) a biologickém (sekundárním) čištění odpadní vody. Kal je však pochopitelně produkován také na průmyslových čistírnách odpadních vod. Vlastnosti a složení kalu jsou závislé na skladbě čištěné odpadní vody a na způsobu zpracování kalu před jeho odvozem z objektu ČOV. Variabilita ve složení kalu je významná především u průmyslových čistíren odpadních vod.

Kal z mechanického čištění městských odpadních vod (primární kal) obsahuje nerozpuštěné látky vyskytující se v surové odpadní vodě. Vzhledem k tomu, že většina nerozpuštěných látek anorganické povahy je z odpadní vody odstraněna již při předčištění, převažují v tomto kalu organické látky.

Kal z biologického čištění (sekundární kal) obsahuje především přebytečnou biomasu využívanou při čištění odpadní vody.

Obr. 1. Schéma tvorby a zpracování čistírenského kalu; A - primární (mechanické) čištění odpadních vod, separace suspendovaných látek; B - biologické aerobní čištění s recyklem aktivovaného kalu a odvodem přebytečného aktivovaného kalu; C - operace úpravy a stabilizace kalu; D - způsoby využití a likvidace kalu (Dohányos, 2004)



Primární a sekundární kal se na ČOV zpravidla mísí a dále se zpracovává ve formě směsi. Zpracování směsi primárního a sekundárního kalu je založeno zpravidla na jeho biologické stabilizaci. Ta nejčastěji probíhá v anaerobních podmínkách (proces označujeme jako anaerobní stabilizaci kalu). Především na menších ČOV se však poměrně často setkáváme také s aerobní stabilizací kalu.

Principem biologické stabilizace kalu je rozklad biologicky rozložitelných organických látek způsobený činností mikroorganismů. Výsledkem stabilizace kalu je proto především pokles zastoupení organických látek v kalu. Zatímco obsah organických látek stanovených jako ztráta žháním dosahuje v surovém kalu většinou cca 70 %, u stabilizovaného kalu by neměl přesahovat 50 %. Významným způsobem je v důsledku stabilizace kalu snížen také výskyt patogenních organismů. V biologicky stabilizovaném kalu by již neměly probíhat

intenzivní biologické pochody působící senzorické a hygienické problémy. Zbylé organické látky jsou již poměrně obtížně a pomalu rozložitelné. Při anaerobní stabilizaci je podobně jako na zemědělských bioplynových stanicích produkován energeticky využitelný bioplyn (Chudoba et al., 1991, Dohányos et al., 1998).

Biologicky stabilizovaný kal je tekutým materiálem o sušině do 10 %. Pro jeho další zpracování je potřeba kal odvodnit a zvýšit podíl sušiny na hodnoty okolo 25 - 30 %. Odvodňování kalu probíhá na kalolisech, sítopásových lisech nebo odstředivkách. Kal s uvedeným obsahem sušiny je již pevnou hmotou, která je odvážena mimo objekt ČOV. Právě tento materiál je v praxi možno využít v zemědělství. Zajímavostí je, že s ohledem na výše uvedenou definici (suspenze nerozpuštěných látek ve vodě) se v pravém slova smyslu již o kal nejedná.

Přes pokles zastoupení organické frakce, ke kterému dochází při stabilizaci kalu, obsahuje čistírenský kal významné množství využitelné organické hmoty. Vzhledem k zabudování důležitých živin obsažených v odpadní vodě do buněk mikroorganismů při biologickém čištění odpadních vod jsou v čistírenském kalu zastoupeny v podstatě všechny důležité živiny. Obsah fosforu může být relativně vysoký především v případě tzv. zvýšeného biologického odstraňování fosforu, popřípadě při dávkování vhodných srážedel do mechanického nebo biologického stupně čištění.

Stabilizované odvodněné čistírenské kaly tak představují vhodný typ hnojiva pro zemědělskou půdu. Hnojivý účinek kalů spočívá v obsahu organické hmoty, makroprvků (především N a P), obsahu stopových prvků a biologicky aktivních látek. Hlavním limitujícím faktorem využívání kalů v zemědělství je obsah cizorodých látek v kalech a přítomnost patogenních mikroorganismů. Z cizorodých látek jsou to především těžké kovy. Jejich koncentrace v kalech se daří postupně snižovat. Druhou a v současné době nebezpečnější skupinou cizorodých látek jsou organické chlorované látky (PCB, dioxiny aj.), polycyklické aromatické uhlovodíky a dále organické sloučeniny, jako jsou farmaceutika, endokrinní disruptory, chemikálie pro domácnost a další.

V současné době se u nás použití čistírenských kalů v zemědělství řídí vyhláškou č. 382/2001 Sb. Tato vyhláška je plně v souladu se směrnicemi Rady EU č. 86/278/EEC, která určuje, za jakých podmínek lze čistírenské kaly v zemědělství využívat.

Chemické a biologické složení čistírenských kalů závisí na technologii čistírny odpadních vod a na průběhu procesů ošetření kalů. Živiny obsažené v čistírenských kalech zvyšují význam jejich aplikace na zemědělskou půdu. Obsah živin, především dusíku, je jedním z hlavních ukazatelů pro stanovení dávky kalů. V tabulce I. jsou uvedeny obsahy živin v čistírenských kalech. Zastoupení živin, zvláště dusíku, může významně kolísat, a je proto nezbytné provést analýzu aplikovaného kalu. Obsah živin v kalech je zpravidla vyšší než ve stájových hnojivech, s výjimkou draslíku, kterého je většinou méně než 0,5 %.

I. Obsahy živin v čistírenských kalech přepočtené na sušinu kalu

Živina	1)	2)	3)	4)	5)	6)
N (%)	3,3	2,8	4,8	2,8	2,2	3,7
P (%)	2,5	1,6	2,2	0,8	1,7	2,2
K (%)	0,4	0,3	0,2	0,4	0,47	0,6
Ca (%)	4,9	3,5	3,1	5,7		3,0
Mg (%)		0,5	0,4	2,3		0,8
Fe (%)	1,3			1,5		
Mn (mg/kg)		321		270	226	
Zn (mg/kg)	1202	1819	705	1807	731	800
Cu (mg/kg)	741	652	511	270	205	263
Ni (mg/kg)	42,7	90	22	64	<25	39,2
Mo	9,2	12,7	8,2			

¹⁾ Sommers (1977), ²⁾ Wang (1997) ³⁾ Stehouver (1999)

⁴⁾ Bozkurt a Yarilgac (2003), ⁵⁾ Antolín et al. (2005), ⁶⁾ Černý et al. (2009)

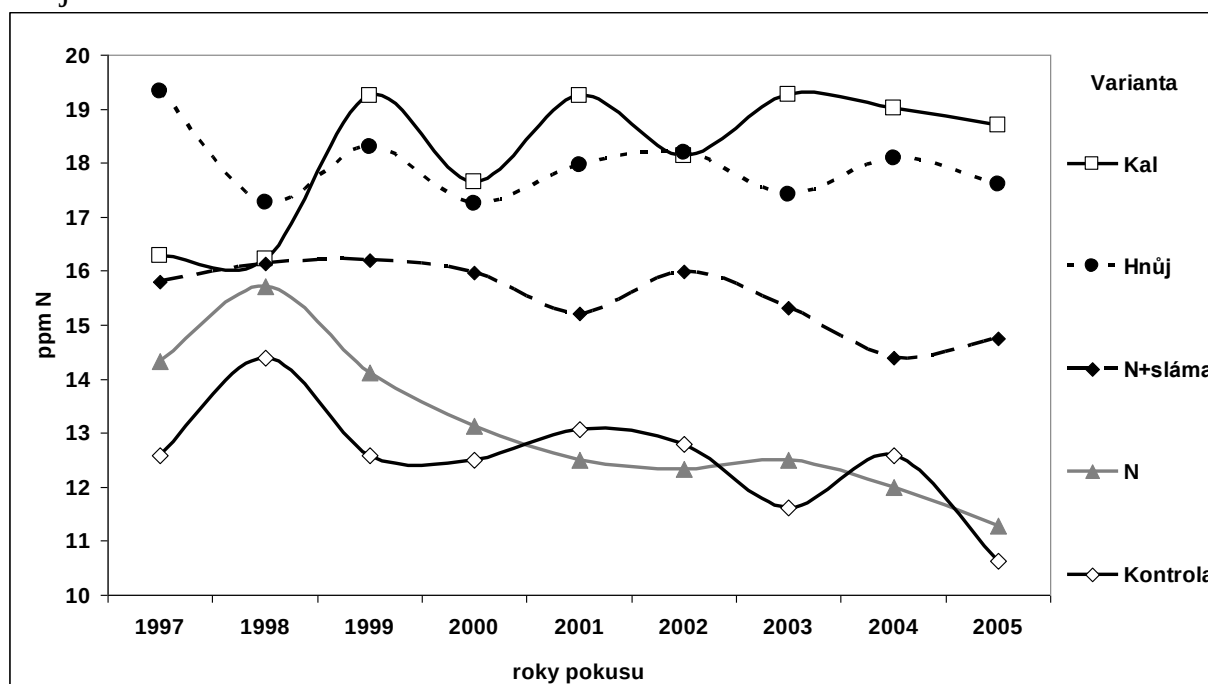
Dusík je obsažen v čistírenských kalech v organické formě a ve formě minerální, jako amonný nebo nitrátový dusík. Forma dusíku je důležitá pro stanovení přístupnosti dusíku pro rostliny. Koncentrace organického a anorganického dusíku v čistírenských kalech je ovlivněna způsobem ošetření kalů manipulací při použití. Velký podíl organického dusíku je vázaný k pevné části kalů, a tak je obsah organického dusíku značně ovlivněn procesy odvodnění, nebo sušení. Koncentrace minerálních forem dusíku výrazně klesá odvodněním. Také zahřívání, nebo aerace vedou ke snížení amonného dusíku především vlivem volatilizace amoniaku. Aerobní podmínky také přispívají k rychlejšímu průběhu nitrifikace v čistírenském kalu, které naopak anaerobní ošetření inhibuje. Běžně je v čistírenských kalech většina minerálního dusíku ve formě amonné (až 90 %), jestliže byly kaly ošetřeny anaerobním způsobem. Ve stabilizovaných odvodněných čistírenských kalech tvoří obsah minerálního dusíku 10 % z celkového obsahu dusíku, v tekutých kalech však představuje obsah minerálního dusíku 25 – 50 % z celkového obsahu dusíku. Organický dusík zahrnuje hlavně aminokyseliny, což je ovlivněno především obsahem látek bílkovinné povahy. Po aplikaci čistírenských kalů do půdy je tak organický dusík poměrně rychle mineralizován mikroorganismy. U dusíku v organických vazbách čistírenských kalů je uváděn poločas rozpadu jeden rok (Hall, 1984).

Čistírenské kaly jsou také výrazným zdrojem uhlíku a organické hmoty. Obsah organických látek je 33 – 57 %, což je dvakrát až třikrát více než v chlévském hnoji. Organické látky čistírenských kalů však vykazují nižší stabilitu v porovnání s chlévským hnojem (Saviozzi et al. 1999).

S ohledem na obsah dusíku a uhlíku v čistírenských kalech je důležitá stabilita organických látek kalu a procesy rozkladu nebo stabilizace po jejich aplikaci na

zemědělskou půdu. Při porovnání s hnojem je v čistírenských kalech užší poměr C/N. Poměr C/N nižší než 20 průměrně odráží stupeň stability komponentů organické hmoty (Levi-Minize et al. 1986). Saviozzi et al. (1999) uvádějí u čistírenských kalů poměr 4,7, u hnoje 8,4. U čistírenských kalů byl ale stanoven nižší obsah uhlíku v huminových kyselinách a nižší stupeň humifikace v porovnání s hnojem. To vysvětluje rychlejší rozklad organických látek čistírenských kalů v půdě po jejich aplikaci v porovnání s hnojem.

1: Změny v obsahu dusíku mikrobiální biomasy v ornici po aplikaci různých hnojiv



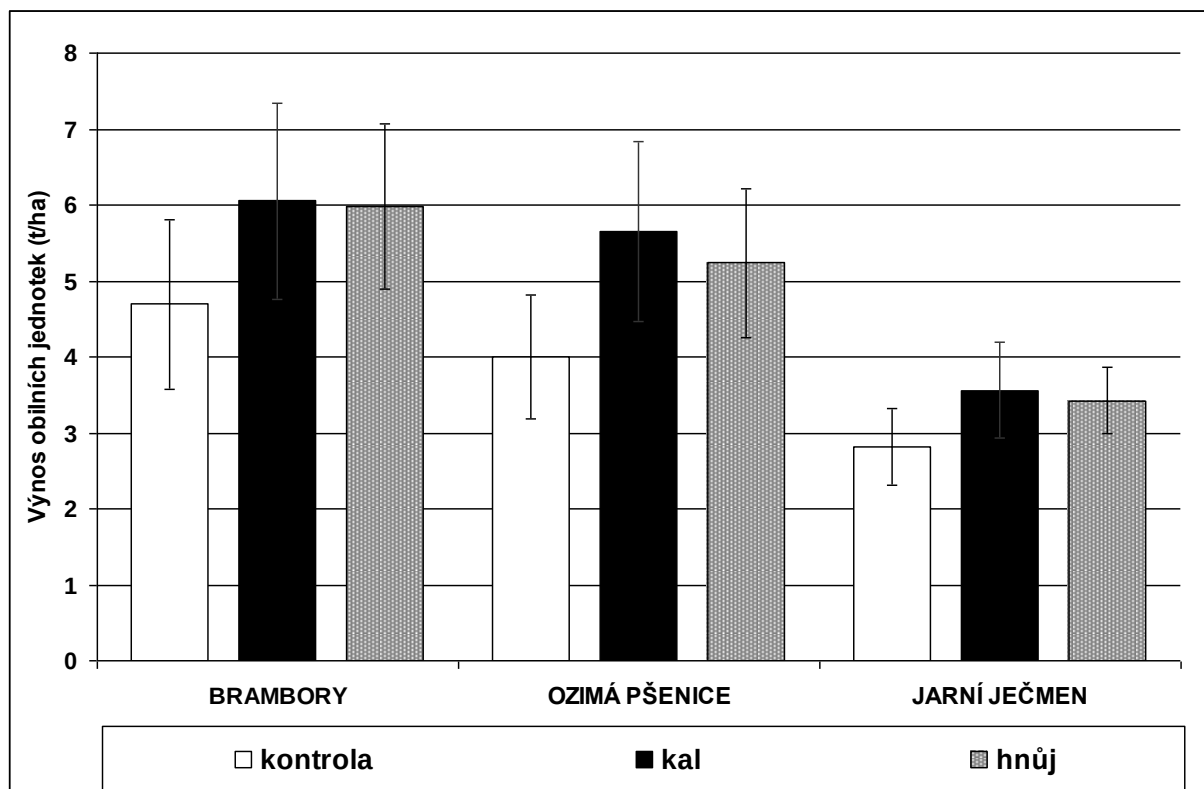
Živiny z čistírenských kalů jsou tak rostlinám rychleji přístupné. Přesto organická hmota čistírenských kalů představuje stabilnější komponenty ve srovnání s rostlinnými zbytky, které se používají pro doplnění organických látek (sláma, zelené hnojení aj.) (Barzegar et al. 2002). Z mnoha prací dále vyplývá kladný vliv aplikace čistírenských kalů na fyzikální a chemické vlastnosti půd (vyšší vododržnost půd, vyšší retenční kapacitu, zvýšení agregace půd, zvýšení aerace, vyšší propustnost a infiltrace, snížení tvorby půdního škraloupu. Antoline et al. (2005) uvádějí, že aplikace čistírenských kalů snižuje pH půdy, zvyšuje obsah rozpustných solí, organického uhlíku v půdách a zvyšuje sorpční schopnost půd. Po aplikaci čistírenských kalů byly stanoveny vyšší obsahy extrahovatelných makroprvků i mikroprvků (Cu, Zn, Ni, Mn, Fe) (Mendoza et al. 2006). Aplikace čistírenských kalů výrazně ovlivňuje činnost mikroorganismů, rychlost mineralizace (Wong et al. 1998) a z dlouhodobého hlediska také obsah mikrobiální biomasy (Černý et al. 2007). Změny v obsahu dusíku mikrobiální biomasy v ornici po aplikaci čistírenských kalů ve srovnání s ostatními hnojivy

jsou prezentovány v grafu 1. Organická hnojiva byla aplikována v říjnu a půdní vzorky byly odebírány jeden rok po aplikaci tj v září následujícího roku.

Mnoho studií také uvádí příznivý vliv aplikace čistírenských kalů na výnos plodin (Logan et al. 1997, Barzegar et al. 2002, Bozkurt a Yarılgac 2003, Antolín et al. 2005, Hussein 2009). Vyšších výnosů bylo především dosaženo následně po aplikaci kalů k pěstovaným plodinám, nebo při jejich opakované aplikaci. Jednorázové hnojení má většinou krátkodobý a malý vliv na výnos plodin.

Z výsledků dlouhodobých pokusů katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin je patrný pozitivní vliv aplikace kalů především k obilninám. Výsledky jsou uvedeny v grafu 2. Plodiny jsou pěstovány ve sledu brambory, pšenice, ječmen. Čistírenské kaly a hnůj jsou aplikovány k bramborám ve stejné dávce dusíku odpovídající 330 kg N/ha za celý tříletý cyklus. Výsledky představují hodnocení pokusů za čtyři cykly aplikace, tj za 12 let trvání pokusů.

2: Výnos brambor, ozimé pšenice a jarního ječmene (t/ha OJ) - průměr pěti stanovišť v ČR za 12 let



Poděkování

Príspevek byl řešen za podpory Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky, projekt č. MSM 6046070901 a Ministerstva zemědělství České republiky, projekt č. QH 91081