

# THE EFFECT OF LONG-TERM SEWAGE SLUDGE APPLICATION ON COPPER UPTAKE BY CROPS AND THEIR YIELDS

## VLIV DLOUHODOBÉ APLIKACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ NA PŘÍJEM MĚDI PLODINAMI A JEJICH VÝNOSY

Čásová K., Černý J., Tlustoš P., Balík J.

Katedra agrochemie a výživy rostlin, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze, , Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchbát,

E-mail: casova@af.czu.cz, tlostos@af.czu.cz

---

### ABSTRACT

The aim of the study was to investigate the effect of long-term sewage sludge application on plant Cu uptake and crop yields. Field experiments have been conducted since 1996 on five sites with different soil and climate characteristics. In these experiments potatoes, winter wheat and spring barley have been grown in a three-year crop rotation. Two different application rates of sludge were compared to NPK and NPK+heavy metals mixture (inorganic salts) treatments. Sludge as well as the heavy metals in the inorganic salts were applied only under potatoes. We found a slightly higher uptake of Cu by plants treated with sewage sludge compared to NPK treatment. Crops planted on sewage sludge treated plots showed comparable yields only in potatoes. Wheat and barley, grown in the second and third year after sludge application, showed higher yields at NPK treated plots. The relative removal of sewage sludge born Cu by harvest was very low, with the maximum value 1.65 %. Most of the added heavy metals remained in the soil.

**Keywords:** sewage sludge, copper uptake, removal, yield

### ABSTRAKT

Cílem práce bylo zjistit vliv dlouhodobé aplikace čistírenských kalů na příjem Cu plodinami a jejich výnosy. Ke sledování byly využity dlouhodobé přesné polní pokusy založené v roce 1996. V těchto pokusech jsou ve tříletém sledu pěstovány brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen na pěti místech s odlišnými půdně klimatickými charakteristikami. Dvě dávky kalu byly srovnávány s aplikací minerálních NPK hnojiv a NPK+směsi anorganických solí těžkých kovů v roztoku. Kaly a těžké kovy v roztoku byly aplikovány pouze pod brambory. Rostliny pěstované na variantách hnojených kaly vykazovaly vyšší příjem Cu ve srovnání s variantou NPK. Srovnatelný hnojivý vliv kalů a NPK byl zjištěn pouze u brambor. Pšenice a ječmen, které jsou pěstovány ve druhém a třetím roce po aplikaci kalů, dosahovaly vyšších výnosů na variantách hnojených NPK. Odběr mědi dodané aplikací kalů byl velice nízký, s nejvyšší hodnotou 1,65 %. Většina z dodaného množství kovů se vážala v půdě.

**Klíčová slova:** čistírenský kal, příjem mědi, odběr, výnos

## ÚVOD

Aplikace čistírenských kalů na zemědělskou půdu představuje energeticky a ekonomicky nejvýhodnější způsob odstranění tohoto odpadu. Zároveň je výhodná z agronomického hlediska. Čistírenské kaly jsou bohatým zdrojem organické hmoty, hlavních živin i stopových prvků a mohou zlepšovat fyzikálně-chemické i biologické vlastnosti půd. Z hlavních živin jsou v kalech významně zastoupeny především dusík a fosfor, obsah draslíku bývá většinou nízký. Hodnota pH kalu je většinou neutrální až alkalická (Kolektiv, 2000).

Vedle výhody recyklace cenných živin zpět do agroekosystému však představuje aplikace kalů na zemědělskou půdu i významné riziko. Kaly zpravidla obsahují též nežádoucí složky - těžké kovy, organické polutanty a patogenní mikroorganismy. Neuvážené používání čistírenských kalů může tedy způsobit hromadění rizikových látek v půdě a následně snížení půdní úrodnosti, snížení kvality a výnosu plodin, kontaminaci povrchové i podzemní vody a vstup rizikových látek do potravního řetězce (Sadovnikova et al., 1995).

Výskyt těžkých kovů v čistírenském kalu pochází především z domácích zdrojů, povrchového smyvu z ulic a průmyslových odpadních vod vypouštěných do kombinovaných stokových systémů (Smith, 1996). Nejvýznamnějšími polutanty jsou Zn, Cu, Co, Pb, Hg, Cr a Cd (Kolář a Kužel, 2000). Na rozdíl od organických polutantů nejsou těžké kovy biodegradovatelné a v prostředí i organismech se kumulují. Při aplikaci čistírenských kalů na půdu se kovy v nich obsažené stanou součástí organominerálního komplexu. To může vést ke zvýšené rozpustnosti některých kovů (díky tvorbě rozpustných organických komplexů) nebo naopak k jejich imobilizaci a následnému snížení přístupnosti pro rostliny (García et al., 1990).

Výzkum ohledně aplikace čistírenských kalů na zemědělskou půdu vyžaduje dlouhodobé pokusy, protože mnoho vlivů, například nárůst organické hmoty či možné zvýšení obsahu rizikových prvků v půdě, se vyvíjí pomalu a dají se obtížně předvídat (Bergkvist et al., 2003). Navíc by měl být hodnocen na bázi rotace osevního postupu, aby bylo možné posoudit vliv na následné plodiny.

V této práci jsou představeny výsledky dlouhodobého polního pokusu, kde je sledován vliv aplikace kalů na příjem mědi zemědělskými plodinami a jejich výnosy ve srovnání s minerálním hnojením a aplikací roztoku anorganických solí těžkých kovů.

## MATERIÁL A METODIKA

Ke sledování vlivu aplikace čistírenských kalů na příjem Cu plodinami a jejich výnosy byly využity dlouhodobé přesné polní pokusy založené v roce 1996 katedrou agrochemie a výživy rostlin ČZU v Praze. V těchto pokusech jsou v tříletém sledu pěstovány brambory, ozimá pšenice a jarní ječmen na pěti místech s odlišnými půdně klimatickými charakteristikami (Červený Újezd a Hněvčoves - luvizem, Humpolec a Lukavec - kambizem, Praha Suchdol - degradovaná černozem). Charakteristika půd je uvedena v tabulce 1.

Tab. 1 Charakteristika půd

| Lokalita                                   | Červený Újezd    | Hněvčeves | Humpolec | Lukavec  | Suchdol          |
|--------------------------------------------|------------------|-----------|----------|----------|------------------|
| Půdní typ                                  | luvizem          | luvizem   | kambizem | kambizem | černozem         |
| Půdní druh                                 | jílovito-hlinitá | hlinitá   | hlinitá  | hlinitá  | jílovito-hlinitá |
| pH <sub>KCl</sub>                          | 6,2              | 5,7       | 4,5      | 6,1      | 7,0              |
| C <sub>ox</sub> (%)                        | 1.5              | 1.8       | 2.0      | 1.8      | 2.3              |
| KVK (mval.kg <sup>-1</sup> )               | 158              | 179       | 159      | 128      | 255              |
| P Mehlich III (mg.kg <sup>-1</sup> )       | 134              | 84        | 123      | 124      | 112              |
| K Mehlich III (mg.kg <sup>-1</sup> )       | 249              | 251       | 286      | 245      | 223              |
| Mg Mehlich III (mg.kg <sup>-1</sup> )      | 144              | 157       | 137      | 114      | 259              |
| Cu <sub>Total</sub> (mg.kg <sup>-1</sup> ) | 37,1             | 76,9      | 62,6     | 36,8     | 43,8             |

Všechny plodiny jsou na všech lokalitách pěstovány v následujících variantách:  
 1. **NPK** jako kontrola (dávky za tříleté období představují celkem 330-90-300 kg.ha<sup>-1</sup>),  
 2. **kal 1** - základní dávka kalu odpovídající tříleté dávce N v NPK 330 kg N.ha<sup>-1</sup>, 3. **kal 3** - trojnásobná dávka kalu, 4. **NPK+směs** - hnojeno jako var. NPK + aplikace roztoku anorg. solí těžkých kovů před založením porostu, dávka kovů odpovídá jejich obsahu ve variantě kal 3. Velikost parcelky každé varianty je 60 m<sup>2</sup>.

Na všech lokalitách je používán shodný anaerobně stabilizovaný kal, pocházející každoročně z těžé čistírny odpadních vod. Kal je aplikován pouze pod brambory, tzn. na danou parcelku jednou za tři roky. Aplikační dávka je každoročně stanovena na základě obsahu dusíku. Základní dávka kalu odpovídá 330 kg N.ha<sup>-1</sup>, trojnásobná 990 kg N.ha<sup>-1</sup> na celý tříletý cyklus. Chování těžkých kovů pocházejících z kalu je porovnáváno s chováním kovů dodaných v roztoku anorganických solí, jejichž dávka je každoročně stanovena na základě obsahu těžkých kovů v kalu. Těžké kovy v roztoku jsou shodně jako kal aplikovány pouze pod brambory. V této práci jsou vyhodnoceny výsledky za osm let trvání pokusu. Během těchto let se obsah Cu pohyboval v rozmezí 156,26 - 391,26, v průměru 277,73 mg.kg<sup>-1</sup>. Rovněž je sledován vliv aplikace kalů na výnosy plodin.

Rostliny byly sklizeny v plné zralosti a odebrané vzorky byly sušeny, homogenizovány a mineralizovány metodou suchého rozkladu. Popel byl rozpuštěn v 1,5 % roztoku HNO<sub>3</sub> a obsah Cu byl stanoven metodou atomové absorpční spektrometrie (AAS) přístrojem Varian SpectrAA-400. Kvalita analýz byla ověřena pomocí referenčního materiálu RM 12-02-03 Lucerne.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

V průběhu osmi let pokusu hodnoty obsahu mědi kolísaly a nebyl prokázán rostoucí trend jejího příjmu rostlinami. Výsledky jsou ohodnoceny na základě průměrného obsahu mědi v rostlinách, který je znázorněn v grafu 1. Námi zjištěné hodnoty odpovídají hodnotám obsahu prvků v zemědělských plodinách dle Beneše (1994).

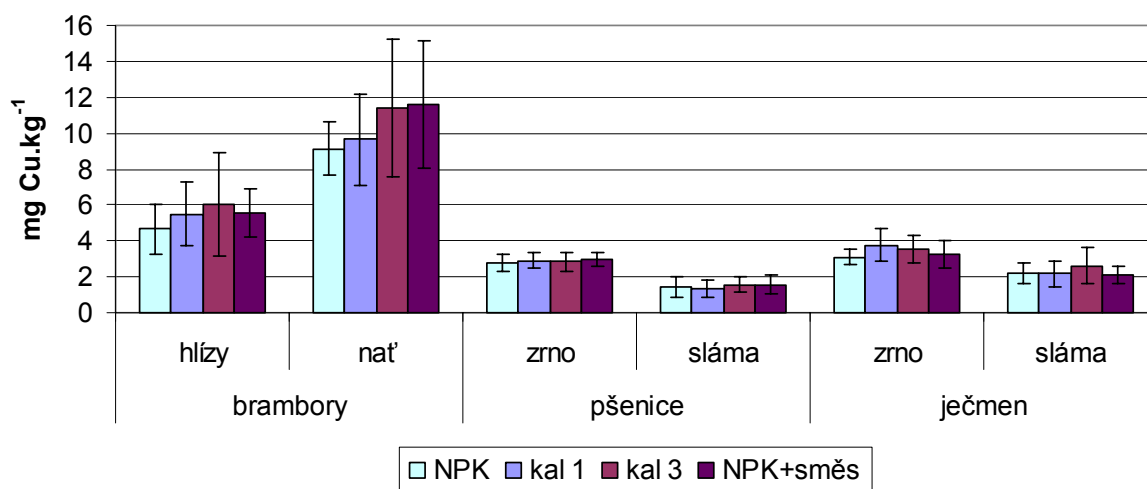
U všech sledovaných variant byla nejvyšší akumulace mědi zaznamenána u brambor a její obsah v nati výrazně převyšoval obsah v hlízách. Rovněž u obilovin byl vyšší obsah Cu zaznamenán v nekonzumní části rostliny, tedy ve slámě. To koresponduje s poznatky z literatury, že u běžných rostlin, které se vyskytují v prostředí bohatém na těžké kovy, dochází k většímu hromadění přijatých kovů listech a stoncích než v zásobních orgánech a semenech (Grant et al., 1999; Adriano, 2001).

Aplikace kalů vedla ve většině případů ke zvýšení obsahu mědi v biomase rostlin oproti variantě NPK. Ke stejným závěrům došel Mantovi et al. (2005) při pěstování pšenice, cukrové řepy a kukuřice.

Vliv zvýšené dávky kalu na obsah mědi v rostlinách nebyl jednoznačný. Hlízy i nať brambor a sláma obilovin dosáhly vyšších hodnot obsahu Cu na variantě kal 3, zatímco zrno obilovin na variantě kal 1.

Při porovnání varianty NPK+směs s variantou kal 3 nebyl potvrzen předpoklad, že Cu dodaná ve formě roztoku soli bude snáze přijatelná než Cu pocházející z kalu. Nepatrně vyššího obsahu mědi na variantě NPK+směs bylo dosaženo pouze u nati brambor. V ostatních případech byl obsah mědi na této variantě obdobný nebo nižší.

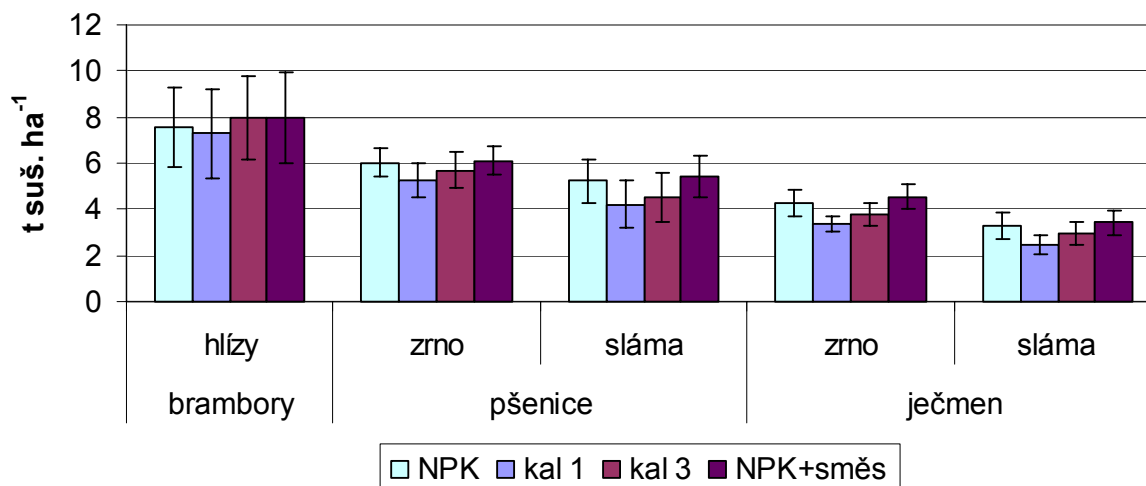
*Graf 1 Obsah mědi v sušině rostlin*



Dále byl sledován vliv kalů na výnosy plodin ve srovnání s účinkem minerálních hnojiv. Průměrné výnosy jednotlivých plodin jsou znázorněny v grafu 2. Brambory hnojené trojnásobnou dávkou kalu dosáhly vyšších výnosů a brambory hnojené základní dávkou kalu nepatrně nižších výnosů než při hnojení NPK. Výnos zrna i slámy obilovin, u kterých je sledováno následné působení kalů, byl na variantách ošetřovaných kaly nižší než na variantách hnojených NPK. Obiloviny, které následují v druhém a třetím roce po aplikaci kalů, reagují více na pohotový dusík dodaný minerálními hnojivy. U všech plodin byly zjištěny vyšší výnosy u varianty kal 3 než kal 1. Nejvyšších výnosů dosáhly varianty

NPK+směs, což je v rozporu s poznatky z literatury (Adriano, 1996), že přítomnost těžkých kovů v půdě má negativní vliv na růst rostlin.

Graf 2 Průměrné výnosy jednotlivých plodin



V tabulce 2 je uvedeno průměrné množství mědi dodané aplikací čistírenských kalů a roztoku TK do zemědělské půdy a průměrné odběry mědi sklizní pěstovaných rostlin. Ve výpočtech je uvažováno pouze dodané množství kovu, měď obsažená v půdě je zanedbána. Stejně tak je zanedbána měď obsažená v NPK hnojivech a její přisun ve variantě NPK je považován za nulový.

Tab. 2 Průměrné dodané a odebrané množství mědi

| ošetření | dodané množství Cu (g.ha <sup>-1</sup> ) | odběr těžkého kovu |       |                    |       |                    |       |
|----------|------------------------------------------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|          |                                          | brambory           |       | pšenice            |       | ječmen             |       |
|          |                                          | g.ha <sup>-1</sup> | %     | g.ha <sup>-1</sup> | %     | g.ha <sup>-1</sup> | %     |
| NPK      | -                                        | 37,798             | -     | 24,223             | -     | 20,587             | -     |
| kal 1    | 2512,7                                   | 41,380             | 1,647 | 21,210             | 0,844 | 17,362             | 0,691 |
| kal 3    | 7448                                     | 49,505             | 0,665 | 22,669             | 0,304 | 19,948             | 0,268 |
| NPK+směs | 7448                                     | 45,326             | 0,608 | 27,144             | 0,364 | 22,923             | 0,308 |

Z

dodaného množství mědi byla sklizní rostlin odebrána jen velmi malá část. Nejvíce mědi bylo odebráno hlízami brambor. Nejvyšší procentický podíl odebraného prvku z dodaného množství (relativní odběr) byl zjištěn u brambor hnojených základní dávkou kalu, a to 1,65 %. Nať brambor byla zaorána a těžké kovy v ní obsažené se tedy navracely do půdy. Obiloviny nebyly kaly přímo hnojeny, ale bylo u nich sledováno následné působení kalů v rotaci osevního postupu. Vyššího odběru mědi bylo dosaženo u pšenice, která následovala po kalem

hnojených bramborách. Hodnoty relativního odběru mědi se u obilovin pohybovaly v rozmezí 0,27 % - 0,84 %.

Při porovnání kalem hnojených variant s kontrolní variantou NPK bylo zjištěno, že rozdíly v odběru mědi nejsou významné, v případě obilovin dosahovala varianta NPK dokonce vyšších odběrů než varianty s kaly.

## **ZÁVĚR**

Výsledky pokusu ukázaly, že ve srovnání s minerálním hnojením vedla aplikace kalů ve většině případů ke zvýšení příjmu mědi rostlinami. Vyhodnocením dosahovaných výnosů bylo zjištěno, že hnojivý efekt kalů byl srovnatelný s minerálním hnojením pouze u brambor, tedy plodin pod které je kal přímo aplikován. Obiloviny, které následují v druhém a třetím roce po aplikaci kalů, reagují více na pohotový dusík dodaný minerálními hnojivy. Sklizní plodin bylo odebráno jen velmi malé množství mědi dodané aplikací kalů. Většina mědi se vázala v půdě. Proto bude třeba další výzkum zaměřit na sledování změn mobility rizikových prvků v půdě.

Problematika byla řešena v rámci grantu FAPPZ ČZU v Praze č. 21140/1312/3114 a NAZV č. QF 4063.

## **LITERATURA**

Adriano, D.C. (2001): Trace elements in terrestrial environments. Springer-Verl. New York Inc. USA. 867 str.

Beneš S. (1994): Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí (II.část). MZe ČR, Praha. 159 str.

Bergkvist, P., Jarvis, N., Berggren, D., Carlgren, K. (2003): Long-term effects of sewage sludge applications on soil properties, cadmium availability and distribution in arable soil. *Agr. Ecosys. and Env.* 97:167-179

García C., Hernández, T., Costa, F. (1990): The influence of composting and maturation processes on the heavy metal extractability from some organic wastes. *Biol. Wastes*, 31:291-301

Grant, C.A., Bailey, L.D., McLaughlin, M.J., Singh, B.R. (1999): Management factors which influence cadmium concentrations in crops. In: McLaughlin, M.J., Singh, B.R. (1999): *Cadmium in soils and plants*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 300 str.

Kolář, L., Kužel, S. (2000): Odpadové hospodářství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta. 193 s.

Kolektiv (2000): Možnosti využití kalů z ČOV v zemědělství. Sborník přednášek z odborného semináře. Komise výživy rostlin. VÚRV Praha. 69 s.

Mantovi, P., Baldoni, G., Toderi, G. (2005): Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Wat. Res.* 39:289-296

Sadovnikova, L., Ottabong, E., Iakimenko, O., Nilsson, I., Persson, J., Orlov, D. (1996): Dynamic transformation of sewage sludge and farmyard manure components. 2. Copper, lead and cadmium forms in incubated soils. *Agr. Ecosys. and Env.* 58:127-132.

Smith, S.R. (1996): *Agricultural recycling of sewage sludge and the environment*. CAB International. Wallingford. 382s.