

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Stabilizace kalů s vyšším obsahem huminových  
látek z potravinářského průmyslu**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Diplomant: Bc. Tereza Nováková

2023

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tereza Nováková

Ochrana přírody

Název práce

**Stabilizace kalů s vyšším obsahem huminových látek z potravinářského průmyslu**

Název anglicky

**Stabilisation of sludge with higher content of humic substances from the food industry**

### Cíle práce

Diplomová práce se zabývá problematikou složení kalů z potravinářského průmyslu, jejich charakteristikou, vlastnostmi, úpravou pomocí stabilizace a následným využitím stabilizovaných produktů. Zaměřuje se na chemické složení kalů z potravinářského průmyslu, které je problematické z důvodu vysoké koncentrace solí, kovů a zvýšeného obsahu huminových látek. Praktická část diplomové práce se věnuje procesu stabilizace odebraných vzorků potravinářského kalu, včetně stabilizačních testů a jejich výstupů, následnému zhodnocení a návrhu využití výstupních produktů s optimálním poměrem aditiva. Cílem práce bude určit optimální poměr aditiva a na základě výsledků stabilizačních testů stanovit jejich účinnost v rámci porovnání aplikovaných aditiv (pálené vápno, cement, DAS A, DAS B, DAS C) a navrhnout optimální využití stabilizovaného kalu z potravinářského průmyslu.

### Metodika

Pro zpracování teoretické části diplomové práce budou využity informační zdroje, které se zabývají problematikou potravinářského kalu, se zaměřením na jeho charakteristiku a zejména na složky, jež mohou negativně ovlivňovat životní prostředí, na následné procesy úprav kalu a možnosti využití produktu. V rámci praktické části práce bude proveden odběr vzorků s následnou úpravou procesem stabilizace aplikací aditiv a na základě výstupů stabilizačních testů bude navržena optimální metoda využití stabilizovaných produktů včetně návrhu optimálního poměru aditiva. Dostupné podklady budou získané především z odborné zahraniční literatury, z odborných vědeckých článků a internetových zdrojů, z vlastních poznatků a záznamů získaných v laboratoři v rámci provedení procesu stabilizace potravinářského kalu.



**Doporučený rozsah práce**

50 stran

**Klíčová slova**

kaly z potravinářského průmyslu, huminové látky, stabilizace, aditiva

---

**Doporučené zdroje informací**

- Ayuso L. M., Morales A. B., Pascual J. A., Ros M. et Segura P., 2018: Characterisation of sludge produced by the agri-food industry and recycling options for its agricultural uses in a typical Mediterranean area, the Segura River basin (Spain). *Waste Management* 82. 118-128.
- Bıyıklı M., Dorak S. et Aşık B. B., 2020: Effects of Food Industry Wastewater Treatment Sludge on Corn Plant Development and Soil Properties. *Polish Journal of Environmental Studies*. *Polish Journal of Environmental Studies* 29/4. 2565-2578.
- Błaszczak K. et Krzyśko-Lupicka T., 2013: Microbiological and physico-chemical composition of sewage sludge derived from the food industry. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology* 18. 89-95.
- Faustina N. et Rajan T. V., 2018: Stabilization of Industrial Sludge. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 7/1. 1025-1034.
- Filipovic S., Gardic V. et Obradovic L., 2013: Review of solidification and stabilization methods of hazardous waste. *Mining and Metallurgy Engineering Bor* 4. 85-92.
- Raj R. et Murthy S. B. M., 2015: Increasing the Sludge Treatment Efficiency of a Food Processing Industry. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2/6. 53-57.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2023

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2023

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2023

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Stabilizace kalů s vyšším obsahem huminových látek z potravinářského průmyslu vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Holýšově dne.....

.....

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucí práce Ing. Tereze Hnátkové Ph.D. za vedení této práce, odborné rady a připomínky a za čas, který mi věnovala ke konzultacím. Dále bych ráda poděkovala Tomášovi Stručovskému za cenné rady a společnosti Dekonta, a.s. za poskytnutí laboratoře. Děkuji také své rodině za jejich podporu v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá problematikou složení kalů z potravinářského průmyslu, jejich úpravou procesem stabilizace aplikací aditiv a následnými možnostmi využití. Vzhledem k obsahu škodlivin v kalech je v práci nejprve uvedena platná legislativa týkající se nakládání a využití tohoto druhu odpadu. V další části se práce detailně věnuje charakteru kalů, procesu stabilizace a nejčastěji používaným aditivům včetně jejich alternativ. V práci byly navrženy optimální dávky pro pět zvolených aditiv (pálené vápno, portlandský cement, DAS A, DAS B, DAS C), které byly následně aplikovány na vzorek kalu pocházejícího z ČOV z nejmenovaného potravinářského závodu vyrábějící hydrolyzáty rostlinných bílkovin. Pro stanovení optimální dávky a typu aditiva byly provedeny analýzy výluhů jednotlivých mísicích poměrů a neupraveného vzorku. V závěru práce je na základě výsledků analýzy výluhů stanoveno nejvhodnější aditivum a jeho optimální dávka, včetně využití tímto způsobem upraveného kalu.

## **Klíčová slova**

kalý z potravinářského průmyslu, huminové látky, stabilizace, aditiva

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the issue of the composition of sludge from the food industry, their treatment through the stabilization process using additives, and subsequent possibilities for utilization. Due to the presence of harmful substances in sludge, the thesis first introduces the valid legislation regarding the handling and use of this type of waste. In the next section, the thesis focuses on the characteristics of sludge, the stabilization process, and the most commonly used additives, including their alternatives. The thesis proposes optimal doses for five selected additives (burnt lime, Portland cement, DAS A, DAS B, DAS C), which were subsequently applied to a sample of sludge from an unnamed food factory's wastewater treatment plant that produces hydrolyzed vegetable protein. To determine the optimal dose and type of additive, analyses of the leachates of each mixture ratio and the untreated sample were conducted. At the conclusion of the thesis, based on the results of the leaching analysis, the most suitable additive and its optimal dosage, including the use of the treated sludge in this way, are determined.

## **Key words**

sludge from the food industry, humic substances, stabilization, additives

## Obsah

1. Úvod .....	11
2. Cíle práce.....	13
3. Metodika.....	14
3.1 Návrh optimálního poměru .....	14
3.2 Stanovení podílu sušiny v zájmovém vstupním kalu .....	14
3.3 Postup stabilizace .....	15
4. Přehled legislativy .....	16
4.1 Legislativa České republiky .....	17
4.1.1 Zákon .....	17
4.1.2 Vyhláška .....	17
4.1.3 Metodický návod .....	22
4.2 Legislativa Evropské unie .....	22
5. Kaly z potravinářského průmyslu.....	23
5.1 Charakteristika .....	23
5.1.1 Huminové látky .....	26
5.2 Typy kalů z ČOV .....	27
5.3 Metody úpravy kalů .....	27
5.4 Možnosti využití.....	28
6. Chemická stabilizace.....	35
6.1 Techniky stabilizace.....	36
7. Aditiva.....	38
7.1 Účinnost aditiv podle druhu odpadu .....	38

7.2 Typy aditiv .....	39
7.2.1 Vápno .....	39
7.2.2 Cement.....	40
7.2.3 Alternativy .....	41
8. Charakteristika výrobního procesu zájmového provozu .....	43
9. Charakteristika zájmového kalu .....	45
9.1 Vznik potravinářského kalu .....	45
9.2 Charakter potravinářského kalu .....	48
10. Fotodokumentace procesu.....	49
11. Výsledky práce.....	52
12. Diskuse.....	54
12.1 Srovnání mísicích poměrů.....	54
12.2 Srovnání mísicích poměrů ve světovém měřítku .....	58
13. Závěr .....	61
14. Přehled literatury a použitých zdrojů .....	62
15. Seznam obrázků .....	75
16. Seznam tabulek .....	75
17. Seznam příloh.....	76
18. Přílohy .....	77

## Seznam použitých zkratk

3-MCPD	3-monochlorpropandiol
BOD	Biologická spotřeba kyslíku
CCD	Cementový slínek
ČOV	Čistírna odpadních vod
DOC	Rozpuštěný organický uhlík
HS	Huminové látky
HVP	Hydrolyzáty rostlinných bílkovin
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
IC	Internal Circulation
pH	Potenciál vodíku
RL	Rozpuštěné látky
S/S	Souhrnné označení pro obě technicky stabilizace a solidifikace
TSS	Nerozpuštěné látky
ŽP	Životní prostředí



# 1. Úvod

Výroba potravin celosvětově roste a s ní i množství produkovaných odpadních vod z potravinářského průmyslu. Odpadní vody před jejich vypouštěním zpět do vodotečí je nutné vyčistit v čistírnách odpadních vod (ČOV), které bývají součástí potravinářských závodů. V případě, že potravinářský závod nemá vlastní ČOV, jsou odpadní vody čištěny v městských ČOV. Produktem čištění jsou kaly představující odpad, v němž jsou soustředěny veškeré nečistoty a škodliviny z odpadních vod. Vzhledem k vysokému obsahu znečištění je jejich nakládání upraveno legislativou. Na základě přílohy č. 1 k vyhlášce č. 8/2021 Sb. o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů mohou být tyto kaly zařazeny do jednotlivých podskupin skupiny 02 jako odpady z prvovýroby v zemědělství, myslivosti, zahradnictví, rybářství, lesnictví a z výroby a zpracování potravin nebo do skupiny 19 pod katalogovým číslem 19 08 12 jako kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod neobsahující nebezpečné látky. V rámci skupiny 02 mohou být kaly řazeny do podskupin 02 03 jako odpady z výroby a zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, konzervářského průmyslu z výroby droždí a kvasničného extraktu, 02 04 jako odpady z výroby cukru, 02 05 jako odpady z mlékárenského průmyslu či do podskupiny 02 06 jako odpady z pekáren a výroby cukrovinek.

Nakládání a likvidace takového druhu odpadu představuje problém z důvodu negativního vlivu na životní prostředí (ŽP) a lidské zdraví v důsledku kontaminace půdy. Z hlediska ekonomické stránky musí mnohdy podniky vynaložit až 50 % provozních nákladů ČOV na zpracování kalů (Sanepar 1999). Současná doba upřednostňuje z těchto odpadů vytvořit užitečné suroviny prostřednictvím metod jejich úpravy např. zahušťováním, sušením, hygienizací či technikami stabilizace. Jednou z používaných technik je chemická stabilizace, která spočívá v aplikaci aditiva za vzniku fyzikálně-chemických vazeb a tím pozitivně ovlivňuje obsah škodlivin v kalech. Výhodou stabilizace kalů je snížení obsahu těžkých kovů, biologicky rozložitelných rozpustných látek, redukce patogennů, snížení množství pevných látek a potenciálu pro zahnívání. Využívanými aditivami pro proces chemické stabilizace jsou nejčastěji různé druhy vápna a cementu (Faustina et Rajan 2018).

Diplomová práce se zabývá procesem chemické stabilizace kalu zařazeného pod katalogovým číslem 19 08 12 aplikací aditiv: páleného vápna, portlandského cementu a aditiv typu DAS A, DAS B a DAS C (aditiva zapůjčena od nejmenované české firmy) ve dvou navrhovaných poměrech. Důvodem stabilizace kalu je vysoký obsah těžkých kovů, solí a organické hmoty, jejíž hlavní složkou jsou huminové látky, které mohou ovlivňovat proces úpravy kalu. Obsah kalu bez úpravy procesem stabilizace by v případě jeho využití mohl způsobit kontaminaci půdy a negativně ovlivnit lidské zdraví.

## 2. Cíle práce

Cílem diplomové práce je procesem stabilizace přeměnit kal ze zájmového potravinářského závodu vyrábějící hydrolyzáty rostlinných bílkovin, jehož zpracování a likvidace může negativně ovlivnit životní prostředí, na zdroj surovin, který by byl využitelný a z hlediska ekonomické stránky ziskový. V rámci této práce byly stanoveny následující dílčí cíle:

- zpracování literární rešerše se zaměřením na charakteristiku kalů z potravinářského průmyslu, včetně jejich kritických parametrů, na související platnou legislativu, na metodu stabilizace a na využití kalů,
- vypočítání sušiny vstupního kalu ze zájmového potravinářského závodu,
- na základě literární rešerše navrhnutí optimální dávky aditiv,
- procesem stabilizace kalu ze zájmového potravinářského závodu a analýzou výluhů stanovení optimální dávky a vhodného typu aditiva,
- stanovení nejvýhodnějšího způsobu využití výstupního stabilizovaného produktu v souladu s platnou legislativou.

## **3. Metodika**

### **3.1 Návrh optimálního poměru**

Prvotní návrh poměru kalu a aditiv v rámci testovacího režimu vycházel z mé bakalářské práce, ve které jsem se již zabývala procesem stabilizace kalů aditivou (vápnem, cementem). Na základě literární rešerše této práce byl výsledný navrhovaný poměr kalu a aditiv 10:2 a 10:3. Pro stanovení optimálního poměru byl proces stabilizace kalu ze zájmového potravinářského závodu v praktické části proveden v obou navrhovaných poměrech u všech pěti aditiv. Následně na základě nejnižšího počtu jednotlivých parametrů (měřených škodlivin), u kterých došlo ke zvýšení jejich koncentrace vlivem aplikace aditiva, byl stanoven optimální poměr kalu a aditiva.

### **3.2 Stanovení podílu sušiny v zájmovém vstupním kalu**

Sušina byla stanovena na základě ČSN ISO 11465 Gravimetrickou metodou, která spočívá v měření změny hmotnosti vzorku. Ke stanovení byly využity analytické váhy s přesností na 0,5 mg, skleněné Petriho misky, sušárna s regulací teploty umožňující nastavení na  $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , laboratorní lžičky a skříňový exsikátor. Nejprve byly zváženy dvě prázdné Petriho misky s přesností na 1 mg. Následně pomocí lžičky byly odebrány části vzorku o hmotnosti přibližně 5 g a rozprostřeny na Petriho misky. Misky se vzorky byly opět zváženy s přesností na 1 mg. Takto připravené misky byly sušeny v horkovzdušné sušárně při  $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  do konstantní hmotnosti (tzn. rozdíl hmotnosti dvou po sobě jdoucích měřeních s časovým intervalem 4 h je méně než 1 mg). Po vysušení se misky nechaly vychladnout v exsikátoru na laboratorní teplotu a vychladnuté byly vyjmuty a okamžitě zváženy.

Výpočet sušiny byl proveden podle následujícího vzorce:

Obrázek 1: Vzorec pro výpočet podílu sušiny (ČSN ISO 11465).

$$w_{dm} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100$$

$w_{dm}$  – hmotnostní podíl sušiny v %  
 $m_0$  – hmotnost čisté Petriho misky v g  
 $m_1$  – hmotnost misky s původním vzorkem v g  
 $m_2$  – hmotnost misky s vysušeným vzorkem v g

Pro zvýšení přesnosti byl konečný podíl sušiny ve vstupním kalu z potravinářského průmyslu vypočítán jako průměr ze dvou získaných výsledků.

### 3.3 Postup stabilizace

Proces stabilizace kalu z potravinářského průmyslu byl proveden na základě interní metodiky laboratorních zkoušek stabilizace, solidifikace, hygienizace firmy Dekonta, a.s. (Najmanová 2018).

Při stabilizaci kalu byla využita analytická váha, mísa od homogenizačního mísiče, špachtle k úplné homogenizaci, digestoř pro sušení stabilizátů, destilovaná voda, třepačka pro přípravu vodných výluhů a filtrační papír. Z celkového objemu bylo odebráno na každý z deseti mísících poměrů 400 g kalu, což byl objem dostačující pro 3 válečky. Z toho jeden byl využit pro následnou analýzu výluhů a dva byly zhotoveny pro případ replikace či pro případ rozhodnutí doplnit rozbory materiálu o další parametry. Odebraný kal byl smíchán špachtlí v poměrech dle tabulky 1 s aditivou: DAS A, DAS B, DAS C (aditiva zapůjčena pro tuto práci od nejmenované české firmy), s páleným vápnem a s portlandským cementem do úplné homogenizace (dokud směs neměla jednotnou barvu bez světlých skvrn). U některých mísících poměrů byla přidána v určitém množství destilovaná voda, aby vznikla kašovitá hmota stejné konzistence jako u ostatních poměrů. Kašovité hmoty byly nality a stlačeny do speciálně připravených forem z PVC o průměru 40 mm a výšce 80 mm. Formy byly uloženy do digestoře, kde zrály 28 dní. Po dvou dnech od vložení byly stabilizáty vyjmuty z PVC formy a uloženy zpět do digestoře.

Tabulka 1: Mísicí poměry.

aditiva	označení	dávka	mísicí poměr kal:aditivum (g)	destilovaná voda (ml)
DAS A	DA 20	20 %	400:80	20
DAS B	DB 20	20 %	400:80	0
DAS C	DC 20	20 %	400:80	0
vápno	CA 20	20 %	400:80	0
cement	CE 20	20 %	400:80	0
DAS A	DA 30	30 %	400:120	80
DAS B	DB 30	30 %	400:120	80
DAS C	DC 30	30 %	400:120	50
vápno	CA 30	30 %	400:120	0
cement	CE 30	30 %	400:120	0

Vyluhovací zkouška byla provedena se stabilizáty ve stáří 28 dnů dle normy ČSN EN 12457-4 (838005). Do skleněné uzavíratelné nádoby byly připraveny vodné výluhy v poměru 1 000 ml destilované vody na 100 g stabilizátu. Pro získání výluhu bylo použito normované třepání na třepačce způsobem hlava-pata po dobu 24 hodin. Vzhledem k uvolnění stabilizátu byly výsledné vodné výluhy filtrovány přes filtrační papír a následně byly filtrované výluhy o objemu 1 litr poslány do laboratoře k analýzám výluhů.

#### 4. Přehled legislativy

Výroba surovin v potravinářském průmyslu produkuje značně znečištěné odpadní vody. Při jejich čištění jsou nežádoucí složky soustředovány do kalů. Nakládání se vzniklými produkty je opatřeno legislativou Evropské unie, kterou má každý členský stát povinnost implementovat do své národní legislativy. Osoby manipulující s kaly z potravinářského průmyslu mají povinnost se řídit podle této legislativy.

## **4.1 Legislativa České republiky**

### **4.1.1 Zákon**

Nejdůležitějším právním předpisem v České republice z hlediska odpadového hospodářství je zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech (dále jen „zákon o odpadech“), který mimo jiné definuje pojmy jako je kal a upravený kal, určuje povinnosti úpravy kalů před použitím na zemědělské půdě a při používání kalů na zemědělské půdě. Součástí paragrafů týkajících se kalů (§ 67- § 69) je i seznam ploch, na kterých je jejich aplikace zakázána. Mezi tyto plochy patří např.: zemědělské půdy v chráněných územích přírody a krajiny, ochranná pásma vodních zdrojů, zaplavené půdy, zamokřené plochy a zemědělská půda, kde bylo zjištěno překročení preventivních hodnot dle zákona č. 334/1192 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu. Kaly je rovněž zakázáno aplikovat na zemědělské půdy, pokud nesplňují mikrobiologická kritéria stanovená vyhláškou č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

Kalem je dle § 67 zákona o odpadech označován kal z čistíren odpadních vod, které zpracovávají městské odpadní vody a odpadní vody stejného složení, kal ze septiků a kal pocházející z odpadních vod ze zemědělství a z potravinářského průmyslu.

Z hlediska problematiky nakládání s kaly je důležitým pojmem upravený kal. Na základě definice zákona o odpadech se jedná o kal, jenž byl podroben biologické, tepelné či chemické úpravě, při které došlo ke snížení obsahu patogenních organismů, a tím i k eliminaci negativního vlivu na lidské zdraví nebo ŽP v případě následného použití. Za upravený kal je označován i takový, který splňuje mikrobiologická kritéria stanovená vyhláškou č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady.

V případě, že kal nebyl podroben metodám úpravy, je zařazován jako ostatní odpad a manipulace s ním musí probíhat s ohledem na možná zdravotní rizika.

### **4.1.2 Vyhláška**

Nezbytným prováděcím právním předpisem k zákonu o odpadech je vyhláška č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady (dále jen „vyhláška č. 273/2021 Sb.“), která stanovuje podrobnosti provozu skládek odpadů,

přepravy odpadů, povinnosti při nakládání s odpady a konkrétně s některými druhy odpadů např. s nebezpečnými odpady, s biologicky rozložitelnými odpady, s odpady ze zdravotní péče, s odpadními oleji a mimo jiné i s kaly z čistíren odpadních vod. V rámci § 57 - § 64 vyhlášky č. 273/2021 Sb. jsou definovány podmínky označování kalů, soustřeďování kalů, používání upravených kalů na zemědělské půdě, metody odběrů vzorků i postupy analýz kalů a půd, na které bude kal aplikován.

V případě používání kalů na zemědělské půdě, které se na základě vyhlášky č. 273/2021 Sb. provádí za dodržení obecných podmínek zasypávání, je nutné, aby obsah anorganických i organických škodlivin ve výluhu kalu byl nižší než stanovené nejvyšší přípustné hodnoty uvedené v tabulce 2.

Tabulka 2: Stanové nejvyšší přípustné hodnoty pro použití kalů na zemědělské půdě (vyhláška č. 273/2021 Sb.).

parametr	jednotky	limitní hodnota
DOC <sup>a</sup>	mg/l	50
Jednosytné fenoly	mg/l	0,1
Chloridy	mg/l	80
Fluoridy	mg/l	1
Sírany	mg/l	100
As	mg/l	0,05
Ba	mg/l	2
Cd	mg/l	0,004
Cr celkový	mg/l	0,05
Cu	mg/l	0,2
Hg	mg/l	0,001
Ni	mg/l	0,04
Pb	mg/l	0,05
Sb	mg/l	0,006
Se	mg/l	0,01
Zn	mg/l	0,4
Mo	mg/l	0,05
RL <sup>b</sup>	mg/l	400

<sup>a</sup> rozpuštěný organický uhlík

<sup>b</sup> rozpuštěné látky



Na základě seznamu uvedeného v příloze č. 4 vyhlášky č. 273/2021 Sb. je zakázáno na skládky ukládat kal, který nebyl podroben přípustným úpravám před uložením na skládku, jenž jsou popsány v příloze č. 8. Mezi způsoby a postupy úprav se řadí biologická úprava, používající přirozené i vybrané mikrobiální kultury. Dále fyzikálně–chemická úprava, jenž zahrnuje postupy pro stabilizaci odpadu: solidifikaci (zpevňování), sušení, neutralizaci – změnu potenciálu vodíku (pH), změnu chemického složení nebo např. odvodnění či srážení a úpravu složení odpadů, která spočívá v oddělení jednotlivých složek odpadu. Odpady jsou ukládány na různé skupiny skládek na základě příslušných výluhových tříd číslo I, IIa, III, jenž stanovují nejvyšší přípustné hodnoty ukazatelů škodlivin ve vodném výluhu z odpadu (viz tabulka 4). U kalů upravených solidifikací je nutno vodní výluh zhotovit z nedrceného válce o průměru 4 cm a hmotnosti 100 g s odchylkou  $\pm 10$  g.

Skládky jsou v § 10 vyhlášky č. 273/2021 Sb. rozděleny na základě technického zabezpečení na skupiny S–inertní odpad, S–ostatní odpad a S–nebezpečný odpad. Z hlediska technického zabezpečení skládek jsou vyhláškou stanovené podmínky, které určují, jaké materiály lze na konkrétní skupinu skládky uložit (viz tabulka 3).

Tabulka 3: Rozdělení skládek a souvislost s výluhovými třídami (PORTÁL CENIA ©2007, Dlouhý 2020, vyhláška č. 273/ 2021 Sb., LO HANÁ ©2021, EKOSO ©2022).

skupina	označení	co lze ukládat	příklady	výluhová třída
S–inertní odpad	S-IO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- odpady bez nebezpečných vlastností</li> <li>- odpady, které jsou za normálních klimatických podmínek bez fyzikálních, chemických a biologických změn</li> </ul>	<p>cihly, odpadní štěrky, kamenivo, nerosty (písek), beton, dřevo</p>	I *
S–ostatní odpad	S-OO	-	-	-
	S-OO1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- odpady z kategorie ostatní odpad s nízkým obsahem organických biologicky rozložitelných látek</li> <li>- odpady obsahující azbest</li> <li>- odpady na bázi sádry</li> </ul>	<p>asfalt, fotografické filmy, pneumatiky, odpadní písek a jíl, odpady obsahující síru</p>	IIa *
	S-OO3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- odpady z kategorie ostatní odpad s podstatným obsahem organických biologicky rozložitelných látek</li> <li>- odpady obsahujících azbest</li> <li>- odpady, jež nelze podle vodného výluhu hodnotit,</li> <li>- zakázáno ukládat odpady na bázi sádry</li> </ul>	<p>škvára, struska, kotelní prach, odpadní sklo, shrabky z česlí, uliční smetky</p>	IIa *
S–nebezpečný odpad	S-NO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- odpad mající alespoň jednu z patnácti stanovených nebezpečných vlastností např. výbušnost, hořlavost, infekčnost</li> </ul>	<p>barvy, lepidla, oleje, pesticidy, léky, chemikálie</p>	III *

\* obsah škodlivin ve vodném výluhu nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce 4 pro příslušnou výluhovou třídu

Tabulka 4: Nejvyšší stanovené hodnoty pro jednotlivé výluhové třídy (vyhláška č. 273/2021 Sb.).

legislativa	vyhláška č. 273/2021 Sb.				
výluhová třída	jednotky	I	IIa	IIb	III
DOC	mg/l	50	80	80	100
Jednosytné fenoly	mg/l	0,1	-	-	-
Chloridy	mg/l	80	1 500	1 500	5 000
Fluoridy	mg/l	1	30	15	50
Sírany	mg/l	100	3 000	2 000	5 000
As	mg/l	0,05	2,5	0,2	2,5
Ba	mg/l	2	30	10	30
Cd	mg/l	0,004	0,5	0,1	0,5
Cr celkový	mg/l	0,05	7	1	7
Cu	mg/l	0,2	10	5	10
Hg	mg/l	0,001	0,2	0,02	0,2
Ni	mg/l	0,04	4	1	4
Pb	mg/l	0,05	5	1	5
Sb	mg/l	0,006	0,5	0,07	0,5
Se	mg/l	0,01	0,7	0,05	0,7
Zn	mg/l	0,4	20	5	20
Mo	mg/l	0,05	3	1	3
RL	mg/l	400	8 000	6 000	10 000
pH	-	> = 6	-	> = 6	-

Z tabulky 3 a 4 vyplývá, že nejvyšší stanovené hodnoty výluhové třídy číslo IIb nejsou podmínkou pro ukládání odpadů na skládky, tak jako ostatní výluhové třídy. Tyto hodnoty jsou limitní pro odpady používané k vytváření uzavírací těsnící vrstvy skládky, jejichž seznam je uveden v příloze č. 11 vyhlášky č. 273/2021 Sb. Příloha obsahuje seznam odpadů, jenž mohou být využívány pro technické zabezpečení skládky, pro odplyňovací vrstvy, vyrovnávací vrstvy nebo právě pro uzavírací těsnící vrstvy skládky. Používané odpady k vytváření uzavírací těsnící vrstvy skládky musí rovněž odpovídat požadavkům projektové dokumentace příslušné skládky odpadů.

### **4.1.3 Metodický návod**

Součástí platné české legislativy upravující nakládání s kalem je i metodický návod č.j.: MZP/2021/720/1240, který stanovuje jednotný postup při nakládání s obsahem z bezodtokových jímek odpadních vod. Primárním krokem je likvidace obsahu jímky podle zákona č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (dále jen „vodní zákon“), jenž stanovuje obsah jímky jako odpadní vodu, která může být odstraňována v bioplynové stanici v rámci ČOV. Povinností majitele bezodtokové jímky je zajistit vývoz oprávněnou osobou určenou na základě vodního zákona, kterou je buď provozovatel ČOV nebo osoba oprávněná podle zákona č. 455/1991 Sb. o živnostenském podnikání (živnostenský zákon). Pokud nelze s obsahem z bezodtokové jímky nakládat podle vodního zákona, je stanoven sekundární postup zákonem o odpadech, na základě kterého je obsah jímek zařazen do odpadů pod katalogovým číslem 20 03 04 Kal ze septiků a žump. V tomto případě je povinností původce zajistit předání odpadu do zařízení pro využití či odstranění odpadu, mezi které se řadí kompostárny a bioplynové stanice mimo ČOV (MŽP 2021).

## **4.2 Legislativa Evropské unie**

Do legislativy České republiky zabývající se nakládáním s kalem jsou implementovány dvě směrnice Rady a jedna směrnice Evropského parlamentu a Rady upravující nakládání s odpadem.

Směrnice Rady 86/278/EHS o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství je v české legislativě implementována do vyhlášky č. 273/2021 Sb., která na základě směrnice definuje podmínky používání upravených kalů na zemědělské půdě. Dále stanovuje hraniční hodnoty koncentrací těžkých kovů v půdě či v kalech používaných v zemědělství a také určuje metody odběrů vzorků a následných rozborů půd a kalů. Směrnice je zapracována i do zákona o odpadech např. v rámci definice pojmů kal a upravený kal.

Do vyhlášky č. 273/2021 Sb. a do zákona o odpadech je implementována směrnice Rady 1999/31/ES o skládkách odpadů, jenž zahrnuje definice pojmů komunální odpad, nebezpečný odpad či interní odpad a stanovuje obecné požadavky na všechny kategorie skládek.

Součástí směrnice jsou i předepsané postupy přijímání odpadů na skládky, postupy kontrol a monitoringu skládek během jejich provozu a v době následné péče.

Do české legislativy je v neposlední řadě implementována i směrnice Evropského parlamentu a Rady 98/2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic. Součástí směrnice jsou definice základních pojmů v oblasti nakládání s odpady (nebezpečný odpad, původce odpadu, zpracování odpadu, využití či odstranění odpadu a jiné). Směrnice stanovuje povinnosti členských států např. přijmout nezbytná opatření k zabránění směšování nebezpečného odpadu, k vyžadování povolení ke zpracování odpadů či definuje způsoby odstranění odpadů. Mezi stanovené způsoby odstraňování odpadů je zařazován i rozklad kalů v půdě či vypouštění kalů do prohlubní, vodních nádrží nebo do lagun.

## **5. Kaly z potravinářského průmyslu**

### **5.1 Charakteristika**

Všeobecně kalem z odpadních vod se rozumí pevné, polotuhé či kapalné zbytky vznikající v obecních, městských či v průmyslových čistírnách odpadních vod při fyzikálních, chemických nebo při biologických procesech (Bazrafshan et Farzadkia 2014). Kaly jsou vedlejšími produkty z čištění odpadních vod a představují pouhé 2 % objemu vyčištěné odpadní vody, na rozdíl od jejich zpracování a likvidace, kdy musí být mnohdy vynaloženo 30–50 % provozních nákladů ČOV, včetně 8-10 % na stabilizaci kalu (Sanepar 1999).

Odpadní vody z potravinářského průmyslu jsou rozdílné v závislosti na druhu vyráběných výrobků, použitých surovinách či na technice jejich zpracování. Znečištění vody způsobuje mnohdy velké problémy kvůli její vysoké hodnotě chemické spotřeby kyslíku (CHSK), biologické spotřeby kyslíku (BOD), nerozpuštěným látkám (TSS), obsahu chloridu, sodíku a nadměrným sloučeninám živin (dusíku a fosforu). Zatížení vody znečištěním zvyšují suroviny, které jsou přidávány do výroby různých potravin (např. konzervanty, barvy, oleje, cukr, želatina a jiné) (Raj et Murthy 2015).

Vlastnosti a složení kalu je velmi různorodé a proměnlivé, protože se odvíjí od původu odpadních vod, které se liší podle typu výrobního procesu a podle použitých materiálů při výrobě potravin (Garcia et Pereira 2017). Potravinářské kaly obvykle obsahují:

- 1) vysoký podíl vody
- 2) organické látky (např. huminové látky, cukry, bílkoviny)
- 3) rizikové látky – těžké kovy (Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd, As, Hg, Se)
- 4) patogenní mikroorganismy – v závislosti na původu odpadních vod.

Vzhledem k odlišnosti jednotlivých kalů z potravinářského průmyslu je nutné, aby následnému použití či využití předcházelo individuální stanovení složení těchto produktů z každé ČOV. Tyto studie by měly zahrnovat fyzikálně–chemické stanovení parametrů a mikrobiologické složení kalů.

Fyzikálně–chemická analýza kalů by měla stanovit hodnotu pH, teplotu kalů, sušinu, sedimentační vlastnosti, množství minerálních látek, obsahy těžkých kovů a biogenních prvků. Z hlediska těžkých kovů je nutné posoudit jejich vyluhovatelnost, chemické vazby a formy kovů v jednotlivých frakcích (např. zbytková frakce či vyměnitelná frakce kovových iontů) (Gawdzik et Latosińska 2012, Błaszczuk et Krzyško–Łupicka 2014). Pokud je koncentrace vyluhovatelných kovů (zejména chromu, niklu či mědi) vysoká, kal se stává nebezpečným a ekotoxickým. Pro následné využití je nezbytné ho přeměnit z nebezpečného odpadu na netoxickou formu různými technologiemi (např. stabilizací a solidifikací). Faustina et Rajan (2018) ve své studii uvádí, že mezi nejrozšířenější vyluhovatelné kovy patří nikl, chrom, měď a zinek. Tyto kovy jsou podle nich nejzajímavějšími z hlediska recyklace kalů.

Z hlediska mikrobiologické analýzy patogenních mikroorganismů je sledována přítomnost koliformních bakterií, patogenních bakterií rodu *Salmonella* a vajíček střevních parazitů (škrkavka dětská či tenkohlavec) (Carducci et Verani 2013).

Výluhy kalů z potravinářského průmyslu v důsledku jejich zvýšené salinity obsahují vysoké koncentrace látek jako jsou chloridy a sírany. Chloridy se do kalů dostávají z odpadní vody z výroby potravin v důsledku používání kuchyňské soli. V rámci potravinářského průmyslu nejvyšší obsah soli obsahují právě zpracované potraviny jako jsou hotová jídla, polévky či omáčky.

Chloridy v kalech mohou při jejich spalování vytvořit kyselinu chlorovodíkovou, která se dostává do atmosféry a v důsledku toho může způsobovat kyselé deště a poškozovat chemosféru. Chlór přítomný v kalu může rovněž zvyšovat odpařování těžkých kovů (Hu et al. 2017, Yu et al. 2017, NZIP 2023).

Znečišťovat ovzduší a přispívat k tvorbě kyselých dešťů mohou i plynné oxidy síry, zejména oxid siřičitý, který vzniká při spalování kalů přeměnou sloučenin síry a uvolňuje se společně se spalinami. V atmosféře se přeměňuje na siřičitany a po kontaktu s vodním vzduchem vzniká kyselina sírová, jenž se sráží jako kyselý déšť. V kalech se nachází organické i anorganické sloučeniny síry, která je jeho běžným prvkem. Organické sloučeniny síry se v kalech vyskytují s esterovou nebo uhlíkovou vazbou v organickém materiálu, jelikož se jedná o stavební prvek bílkovin. V rámci anorganických sloučenin se v kalech nachází buď sírany nebo sulfidy kovů. Koncentrace síry se během zpracování kalů mění, při zahušťování kalu v aerobních podmínkách se do kalové vody uvolňuje značné množství síry, v důsledku vysoce rozpustných síranů. Po vyhnívání, kdy se koncentrace zvyšuje vlivem destrukce organického materiálu a po odvodňování z anaerobní digesce, kdy omezené množství síry odchází jako sulfan v bioplynu, se v kalové vodě nachází pouze menší část síry, vlivem redukce rozpustných síranů na již nerozpustné sulfidy. V rámci procesu stabilizace a solidifikace sírany v kalech snižují rychlost jeho tuhnutí a při aplikaci cementu jako aditiva způsobují bobtnání (US EPA 1993, Baeynes et al. 2008, Baeyens et al. 2009).

Ve výluzích kalů se v nízké koncentraci mohou nacházet i fluoridy, ačkoliv jsou prováděny různé metody pro jejich odstranění z odpadních vod (např. adsorpce či iontová výměna). Fluoridy jsou anorganické sloučeniny soli kyseliny fluorovodíkové, které se nacházejí i v pitné vodě a v některých surovinách pro výrobu potravin, kam se mohou dostávat např. z hnojiv. Pokud je v kalech vysoký obsah fluoridů a nejsou dostatečně upraveny, může jejich následnou aplikací na zemědělskou půdu docházet ke znečištění životního prostředí a ke zvýšení jejich koncentrace ve vodách, což může mít negativní vliv na lidské zdraví (Olejarczyk et al. 2022).

Mimo koncentrace těžkých kovů, chloridů, síranů a fluoridů je pro využití a skládkování kalů stanovena i nejvyšší přípustná hodnota DOC v jejich výluzích (viz tabulka 2 a 4). DOC pochází z různých zdrojů organické hmoty a obsahuje organické

kyseliny, které mohou napomáhat mobilizaci toxických těžkých kovů (McColl et Pohlman 1988). Baskaran et al. (2008) ve své studii uvádí, že se zvyšující hodnotou pH může docházet ke zvýšení množství DOC. V případě, že z kalů bude nedostatečně odstraněna rozpuštěná organická hmota, bude hodnota DOC ve výluzích vysoká. DOC jako samostatný parametr ale nemá významný vliv na životní prostředí (McColl et Pohlman 1988).

### 5.1.1 Huminové látky

Nejčastější složkou a zároveň nejvýznamnější složkou organické hmoty kalů z potravinářského průmyslu jsou huminové látky (HS) neboli humáty. HS všeobecně vznikají v důsledku dvou procesů, ve větší míře se jedná o produkt hydrolyzy organických zbytků vypouštěných do ČOV, v menší míře vznikají v důsledku rozkladu organických látek během biologického procesu čištění odpadních vod či při nakládání s kaly (např. anaerobní digesce). V zájmovém kalu vznikaly HS právě rozkladem organické hmoty, což byly třeba zbytky zeleniny z výroby potravin. Vzhledem k jejich širokému spektru chemického složení se dosud nepodařilo stanovit konečnou strukturu těchto sloučenin (de Melo et al. 2016, Dudlo et al. 2022). Franciso et al. (2021) ve své studii uvádí, že mezi hlavní prvky určující strukturu těchto látek patří uhlík, dusík, kyslík, vodík a v menší míře i síra. Na základě rozpustnosti HS ve vodních roztocích je lze rozdělit na tři skupiny: huminové kyseliny, fulvové kyseliny a huminy. Tyto skupiny se od sebe mohou významně lišit chemickým složením, velikostí molekul a vlastnostmi (např. hydrofobností) (Campos et al. 2017). V kalech se podíl zastoupení huminových látek pohybuje mezi 7–29 % (de Kreuk et al. 2018).

Strukturní vlastnosti, kapacita a mnohostranné působení HS je řadí mezi důležité látky, které v prostředí, v němž se nachází, ovlivňují fyzikální, chemické i biologické vlastnosti (Jeon et al. 2021). V rámci využití kalu mohou HS ovlivňovat strukturu půdy, snížit její praskání, zvýšit zadržování vody, posílit příjem živin a prodloužit růst postranních kořenů u rostlin, zabránit vyplavování uhlíku a dusíku z půdy, zvýšit mikrobiální diverzitu, zároveň poskytovat zdroj živin mikroorganismům či vázat těžké kovy (Cu, Cd, Zn) a eliminovat jejich toxicitu. Právě díky jejich potenciálu odstraňovat toxické látky by mohly být využitelné v problému degradace ŽP, jelikož pozitivně působí na půdu a na úrodu bez toho, aniž by poškozovaly ŽP (Antonietti et al. 2021).



Naproti tomu vysoký obsah HS v kalech negativně ovlivňuje nakládání s ním a jeho účinné zpracování. Cao et al. (2019) ve své studii identifikovali HS jako významné blokátory anaerobní digesce kalů, při které ovlivňují rychlost hydrolýzy a methanogeneze. U hydrolýzy může docházet k omezení procesu díky přítomnosti HS, které v digestoři mohou snižovat aktivitu anaerobních mikroorganismů a ovlivňovat tak či dokonce inhibovat (snižovat aktivitu enzymů) celý proces konverze na bioplyn. Podobně i u methanogeneze mohou HS snižovat aktivitu methanogenních enzymů a v důsledku toho snižovat produkci metanu (Azman et al. 2017, Cao et al. 2019).

## 5.2 Typy kalů z ČOV

Obecně mezi dva typy produktů vznikající v ČOV se řadí primární a sekundární kaly. Tyto dva typy kalů mohou být spojeny do výsledného produktu označovaného jako směsný surový kal.

V primární usazovací nádrži vzniká kal označovaný jako primární, jehož struktura je zrnitá a skládá se převážně z různých anorganických suspendovaných (nerozpuštěných) pevných látek. Obsah sušiny primárního kalu se pohybuje v rozmezí 2,5–5 % (Fečko et al. 2009, Wu et al. 2012).

Sekundárním (aktivovaným) kalem je označován produkt z biologického stupně čištění, ve kterém je nahromaděno velké množství biomasy s organickou hmotou. Tento typ kalu má na rozdíl od primárního vločkovitou strukturu a obsah sušiny se pohybuje v nízkém rozmezí 0,5–1,5 % (Fečko et al. 2009, Hu et al. 2010).

## 5.3 Metody úpravy kalů

Jednou z metod úpravy kalu při zpracování může být jeho zahušťování či odvodňování, protože pokud je kal řídký, manipulace s ním je velice obtížná. Zahušťování se může provádět dvěma způsoby, buď flotací nebo v nádrži označené jako gravitační zahušťovací nádrž, kde je zahuštěný kal odtahován z jejího dna. Při flotaci rozpuštěným vzduchem jsou vynášeny pevné látky vzduchovými bublinami na povrch a dochází k vytvoření vrstvy zahuštěného kalu. Při těchto metodách úpravy je podstatné, aby došlo ke zvýšení obsahu sušiny v kalech (Curley 2012).

Dohányos (2006) uvádí, že obsah sušiny v kalech po zahuštění či odvodnění by měl být do 40 %. Metodou úpravy kalů, která rovněž snižuje obsah vody a zároveň objem a hmotnost kalů je sušení. Princip této metody spočívá v dodání tepelné energie k sušení kalů, při kterém dochází k odpařování vody. Sušením lze zároveň kaly stabilizovat a následně je využít při aplikaci na zemědělskou půdu nebo jako uzavírací těsnící vrstvy skládek (SUEZ ©2023). Pokud v kalu přežívá velké množství nežádoucích patogenních mikroorganismů (např. *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*), je nezbytnou metodou úpravy jeho hygienizace. Redukce těchto patogenů může probíhat před, po nebo zároveň s procesem stabilizace a buď chemickými (aplikace činidla např. vápna), fyzikálními (např. vlivem teploty, ultrazvuku) či biologickými metodami (probíhá zároveň stabilizace i hygienizace) (TNV 75 8090 2015). Proces stabilizace kalů, kterým se zabývá tato práce, je detailně popsán v kapitole 6.

## 5.4 Možnosti využití

Všeobecně průmyslové kaly včetně potravinářských jsou ekologickým a ekonomickým problémem firem, které musí vynaložit výdaje na řádné nakládání podle legislativy pro jejich likvidaci (viz kapitola 4). Mimo legislativu upravující pouze nakládání s kaly neexistuje žádná jiná, která by vynucovala nakládání s kaly od jejich vzniku až po jejich konečné odstranění. V současné době jsou studovány možnosti, jak přeměnit odpad ve formě kalu, kdy nakládání s ním představuje ekonomickou zátěž, na využitelný zdroj, který bude prostředkem k dosažení zisku (Ayuso et al. 2018). Nalézt způsoby likvidace kalů, které nebudou trvale zhoršovat stav životního prostředí, je nezbytné pro dosažení udržitelného nakládání s tímto typem odpadu (Clarkson et al. 2011).

Mezi nejběžnější způsoby likvidace kalů se řadí aplikování na zemědělskou půdu, skládkování a spalování (Xue 2010, Kelessidis et Stasinakis 2012). Nejrozšířenějším způsobem je skládkování, neboť se jedná o nejjednodušší a nákladově efektivní způsob jejich likvidace. Do budoucna je ale tento způsob neproveditelný z důvodu zvyšující se přísnosti ekologických norem a snižování dostupného prostoru pro skládky vlivem rychlosti zástavby území (Werther et Ogada 1999, Araujo et al. 2011).

Z hlediska snížení objemu kalů je výhodnější likvidace spalováním, i když není nejpobulárnější, její celosvětové využívání roste. Hlavním problémem spalování je obsah vody v kalech, které by měly být odvodněny na méně než 50 % z důvodu zajištění soběstačnosti procesu. Odvodnění kalů na takový obsah by muselo být prováděno chemickou úpravou, což tento způsob likvidace činí neudržitelným. Oba dva způsoby likvidace odstraňují organickou hmotu a živiny užitečné pro růst rostlin, jenž jsou obsaženy v kalech a tím snižují potenciál jeho opětovného využití (Clarkson et al. 2011, Hait et Tare 2012, Samolada et Zabaniotou 2014).

Nejpreferovanějším způsobem likvidace je aplikování na zemědělskou půdu, při kterém jsou využívány živiny a vysoký obsah organické hmoty potravinářských kalů pro podporu růstu plodin (Clarkson et al. 2011). Agrawal et Singh (2010) ve svém výzkumu uvádí, že přímá aplikace kalů do půdy je jedním z neekonomičtějších a nejužitečnějších způsobů likvidace, neboť vyžaduje pouze náklady na dopravu, na monitoring a na analýzu kalů i půdy. Důležitým faktorem je množství aplikovaného kalu, kdy v mnoha studiích (Arbestain et al. 2008, Agrawal et Singh 2010, Mahajan et al. 2019, Bıyıklı et al. 2020, Guo et al. 2020) bylo prokázáno, že s rostoucím množstvím kalu se zvyšuje obsah organické hmoty, celkový dusík, fosfor, hořčík, draslík, vápník a některé mikroprvky (železo, zinek, měď). Zároveň z těchto studií vyplývá, že zvyšující se množství aplikovaného kalu má pozitivní vliv na růst plodin a na kvalitu půdy. Tento způsob likvidace představuje rovněž riziko pro životní prostředí, díky akumulaci a vyplavování toxických prvků a nerovnováze živin. Těžké kovy z kalů aplikovaných do půdy jsou přenášeny do podzemních vod a do rostlin, což přináší enviromentální a zdravotní rizika pro lidskou populaci, v důsledku přenosu do lidské stravy (McBride et al. 1997, Bhogal et al. 2003, Bıyıklı 2020). Proto je nezbytné znát složení kalů, vlastnosti zemědělské půdy, na kterou má být kal aplikován, druh pěstované plodiny a na základě těchto znalostí optimalizovat aplikační dávku kalů (Alpaslan et al. 2007).

Dalším způsobem využití je sušení kalu v pásové, rotační, bleskové či ve fluidizační sušičce, kdy výstupním produktem je vysušený kal, který lze využít na zemědělské půdě. Baldoni et al (2005) uvádí, že po aplikaci vysušeného kalu došlo k zlepšení fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy a rovněž ke zvýšení zemědělských výnosů.

Kal, jakožto užitečný produkt lze rovněž využít v rámci kompostování, kdy dochází k termofilní aerobní stabilizaci za vzniku stabilizovaného organického materiálu kompostu, který lze využít v zemědělství, k půdním rekultivacím, k terénním úpravám či v zahradnictví (Chen et al. 2014, Foller et al. 2020). Gallardo et al. (2012) uvádí, že pro zlepšení vlastností kompostovaného kalu je nutné přidání objemového činidla např. dřevěné štěpky či pilin. Biotechnologickou variantou kompostování je vermikompostování, při němž jsou k vyhnívání kalu využívány žížaly, které se snadno nasatí na jednotlivých složkách kalu. Konzumují těžké kovy, odstraňují škodlivé patogeny a mineralizují dusík i fosfor v kalu na biologicky dostupné formy v podobě živin pro rostliny. Jedná se spíše o nízkonákladový způsob s investicí do násady žížal, kdy cena 20 kg kalifornských žížal se pohybuje okolo 600 Kč (Garg et Yadav 2011, Vermikompostování ©2019).

Alternativní nebo doplňkovou technologií ke kompostování může být anaerobní digesce, která se v dnešní době řadí mezi nejoblíbenější procesy stabilizace čistírenských kalů. V rámci kalů z potravinářského průmyslu není ale příliš využívána, v důsledku ovlivnění rychlosti procesu vysokým obsahem HS. Nevýhodou jsou i vyšší počáteční náklady a potřeba specializovaného personálu pro její řízení (Cao et Pawłowski 2012, Farrow et al. 2014). Výstupním produktem je digestát, jenž prošel anaerobní digescí v bioplynových stanicích při výrobě bioplynu a následně může být využíván jako hnojivo (Prudil 2022).

Arduzzo et al. (2021) ve své studii použil kal z potravinářského průmyslu jako částečnou náhražku jílu při výrobě stavebních cihel. Výsledkem jeho studie bylo, že organické látky přítomné v kalu ovlivňují tvarování cihel, ale podstatným faktorem bylo množství přidaného kalu. V případě, kdy velikost náhražky jílu překročila 20 %, cihly svými vlastnostmi nesplňovaly zednické předpisy.

Naproti tomu Akbor et al. (2023) využil kal z potravinářského průmyslu ve své studii k výrobě biouhlu procesem pyrolýzy kalů sušených v peci. Biouhel je produkt velice bohatý na uhlík, jehož fyzikálně-chemické vlastnosti (např. velikost pórů, pH, elektrická vodivost) napomáhají bezpečnému a dlouhodobému ukládání uhlíku v ŽP (Boguta et al. 2020). Přeměna kalů na biouhel je bezpečnou likvidací odpadu, zároveň i alternativní metodou obnovy zdrojů a nakládání s uhlíkem (Amarasinghe et al. 2016).

Z hlediska udržitelného rozvoje je preferována recyklace a opětovné použití kalů před skládkováním či spalováním. Využití potravinářských kalů v zemědělství poskytuje velké výhody, ale naproti tomu anaerobní digesce v kombinaci s kompostováním může být ještě výhodnější. V důsledku kombinace těchto dvou metod je využíván vzniklý bioplyn k výrobě energie a výstupní digestát jako hnojivo v zemědělství (Fuerhacker et Haile 2011, Ayuso et al. 2018). Výhody a nevýhody jednotlivých způsobů využití jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Výhody a nevýhody způsobů využití potravinářských kalů (Manios 2004, Baldoni et al. 2005, Alpaslan et al. 2007, Appels et al. 2008, Lira et al. 2008, Singh et Suthar et 2008, Adani et al. 2010, Bergmanová et al. 2010, Bernal-Vicente et al. 2010, Dignac et al. 2010, Fernández et al. 2010, Mosquera - Losada et al. 2010, Garg et Yadav 2011, Bennamoun 2012, Blaya et al. 2013, Dai et al. 2013, Chanakya et al. 2013, Fuess et Garcia 2014, Leibold et al. 2018, Arduzzo et al. 2021, Akbor et al. 2023).

Autor	Využití	Výhody	Nevýhody
Leibold et al. 2018	skládkování	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nejjednodušší a nákladově efektivní způsob využití kalu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vyžaduje velký zábor půdy</li> <li>- riziko znečištění okolní půdy a vody vyluhováním</li> <li>- nutná předúprava kalu</li> </ul>
Bergmanová et al. 2010	spalování	<ul style="list-style-type: none"> <li>- snížení vypouštění pevných látek až o 90 %</li> <li>- vyrobené teplo lze využít na výrobu energie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vypouštění toxických výparů (oxidů dusíku a oxidů síry)</li> </ul>
Alpaslan et al. 2007, Lira et al. 2008, Chanakya et al. 2013, Fuess et Garcia 2014	přímá aplikace na zemědělskou půdu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ekonomicky nejlepší varianta</li> <li>- vytváří příznivé podmínky pro růst rostlin – dodávání živin – N, P <ul style="list-style-type: none"> <li>- zvýšení kvality půdy</li> </ul> </li> <li>- zvýšení pH a schopnosti půdy zadržovat vodu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kontaminace půdy patogeny a přítomnost toxických prvků v kalu <ul style="list-style-type: none"> <li>- nutná předúprava</li> </ul> </li> <li>- způsobuje zasolení půdy <ul style="list-style-type: none"> <li>- snížení půdních živin</li> </ul> </li> <li>- kontaminace podzemních vod</li> </ul>
Mosquera - Losada et al. 2010, Baldoni et al. 2005, Bennamoun 2012	sušení	<ul style="list-style-type: none"> <li>- minimální nároky na prostor v případě použití sušiček kalu <ul style="list-style-type: none"> <li>- nižší dopravní náklady</li> </ul> </li> <li>- snazší skladování a distribuce</li> <li>- odvodňovaný kal zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- investice do zařízení – sušárny <ul style="list-style-type: none"> <li>- vysoká spotřeba energie</li> </ul> </li> <li>- nutnost kvalifikovaného personálu pro kontrolu zařízení</li> </ul>

Autor	Využití	Výhody	Nevýhody
Manios 2004, Dignac et al. 2010, Fernández et al. 2010, Blaya et al. 2013, Bernal- Vicente et al. 2010	kompostování	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jednoduchá a levná technologie</li> <li>- efektivní s vhodnou konstrukcí kompostovacího systému               <ul style="list-style-type: none"> <li>- eliminace patogenů</li> </ul> </li> <li>- úspora místa v uzavřených prostorech               <ul style="list-style-type: none"> <li>- kontrola nad procesem</li> <li>- umožňuje získat živiny</li> </ul> </li> <li>- zpracování velkého objemu kalů               <ul style="list-style-type: none"> <li>- nízká spotřeba energie</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nutnost objemových činidel</li> <li>- ztráta dusíku jako amonia</li> <li>- nízká investice, ale v závislosti na typu systému               <ul style="list-style-type: none"> <li>- problémy se zápachem v závislosti na typu systému</li> </ul> </li> </ul>
Garg et Yadav 2011, Singh et Suthar et 2008	vermikompostování	<ul style="list-style-type: none"> <li>- výroba kvalitního kompostu za krátký čas</li> <li>- získané biohnojivo bohaté na živiny</li> <li>- nízkonákladová technika z hlediska vybavení a pracovních sil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- náklady na koupě žížal</li> <li>- absence termofilní fáze – určité patogeny nemusí být zabity</li> </ul>
Appels et al. 2008, Dai et al. 2013, Adani et al. 2010	anaerobní digesce	<ul style="list-style-type: none"> <li>- snížení množství pevných látek v kalu</li> <li>- eliminace většiny patogenů v kalu</li> <li>- omezení možných problémů se zápachem při degradaci kalu</li> <li>- výroba energie pro výrobu tepla a elektřiny</li> <li>- flexibilní proces – mnoho možností na trhu</li> <li>- snižuje emise skleníkových plynů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- složitý proces – vyžaduje neustále kontrolování</li> <li>- vysoké náklady na digestory</li> <li>- potenciál pro získání energie závisí na těkavých pevných látkách               <ul style="list-style-type: none"> <li>- pokud není provedena předúprava – špatný výkon</li> </ul> </li> <li>- získaný bioplyn musí být čištěn</li> <li>- spotřeba velkého množství energie</li> <li>- výstupní digestáty by měly podléhat poprocesní úpravě</li> </ul>

Autor	Využití	Výhody	Nevýhody
Arduzzo et al. 2021	náhražka jílu do stavebních cihel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- minimalizace dopadu na ŽP</li> <li>- využití pro běžné zednické práce a omítané exteriéry</li> <li>- zvyšuje poréznost (výhodné pro tepelnou a zvukovou izolaci, snížení hmotnosti budovy)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- nevypálené vzorky cihel s více než 20 % kalu vykazují vady v podobě prasklin</li> <li>- nižší plasticita díky organické hmotě kalu</li> <li>- nižší tuhost keramiky s rostoucím obsahem kalu v cihlách</li> </ul>
Akbor et al. 2023	výroba biouhlu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bezpečná likvidace odpadu</li> <li>- snížení objemu kalu přeměnou na biouhel</li> <li>- odstranění toxických sloučenin</li> <li>- zlepšení kvality půdy a růstu rostlin <ul style="list-style-type: none"> <li>- zmírňuje změnu klimatu ukládáním uhlíku</li> </ul> </li> <li>- zvyšuje mikrobiální aktivitu v půdě</li> <li>- snižuje emise skleníkových plynů a amonia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- biouhel jako přídavek do hnojiva snižuje dostupnost kovů pro rostliny</li> <li>- náklady na vznik biouhlu procesem pyrolýzy kalů sušených v peci</li> </ul>



## 6. Chemická stabilizace

Chemická stabilizace je proces, který zamezuje či podstatně zpomaluje vyluhovatelnost škodlivých látek z kontaminovaných materiálů (v rámci této práce ze zájmového kalu z potravinářského průmyslu) do okolního prostředí, v důsledku chemických a fyzikálně-chemických procesů. Princip procesu spočívá ve smíchání kalu s vhodným aditivem (viz kapitola 7.2), aby došlo k vytvoření fyzikálně-chemické vazby, což má za následek eliminování vyluhovatelnosti v důsledku zvýšení pH. Hodnota pH je v tomto případě důležitým faktorem, protože ovlivňuje rozpustnost jednotlivých kontaminantů. Příkladem jsou hydroxidy kovů, jenž jsou nejstálější, pokud je hodnota pH vyšší než 7. Stabilizací jsou kaly se svými nebezpečnými složkami transformovány do formy, která snižuje úroveň toxicity a rychlost migrace kontaminantů do ŽP (US EPA 1999, Kafka et Punčochářová 2002, Dekonta ©2017, Faustina et Rajan 2018).

Chemická stabilizace aplikací aditiva nejčastěji vápna může proběhnout, buď před odvodnění v rámci předúpravy či po odvodnění jako následná úprava kalu. Tato technika je nákladově výhodnější než ostatní techniky stabilizace (viz kapitola 6.1), náklady mohou být dokonce nižší až o 60 % oproti alternativním technikám. Aplikace aditiva např. vápna zvyšuje obsah pevných látek v kalu, a tím usnadňuje manipulaci a skladování takového druhu odpadu (National Lime Association ©2023). Výhodou této techniky jsou nízké technické požadavky, zlepšení procesu odvodňování, potlačení pachů a eliminace patogenů (Brinkmann et al. 2016). Vzhledem k různému složení kalů je důležité řešit typ a dávku aditiva, která by měla být optimální pro proces stabilizace.

Tato technika je často spojována se solidifikací (S/S = souhrnné označení pro obě techniky), která spočívá v přeměně stabilizovaných kalů, případně i nestabilizovaných na jednodílnou pevnou látku. Výstupem této techniky je pevná forma kalu vykazující dobré fyzikální vlastnosti (např. pevnost v tlaku) a mechanické vlastnosti, které zajišťují bezpečný transport na místo konečného uložení a zároveň umožňují vícevrstvé ukládání. Procesem S/S dochází i ke snižování obsahu těžkých kovů (viz tabulka 6) (Kay et al. 1996, Kafka 2004).

Proces stabilizace kalů je využíván z několika důvodů:

- 1) redukuje množství zapáchajících složek
- 2) snižuje potenciál pro zahnívání
- 3) redukuje patogeny
- 4) zlepšuje odvodňování kalu
- 5) redukuje množství pevných biologicky rozložitelných látek v kalech
- 6) snižuje množství biologicky rozložitelných rozpustných látek – přeměňuje organickou hmotu na materiál bohatý na huminové látky
- 7) snižuje koncentrace těžkých kovů (CIAA 2002).

## 6.1 Techniky stabilizace

Proces stabilizace kalů zahrnuje čtyři techniky: chemickou stabilizaci, teplotní stabilizaci, anaerobní digesce a aerobní digesce. Při teplotní stabilizaci dochází k zahřátí kalu v tlakové nádobě až na teploty do 260 °C a tlaku do 2,8 MPa. Výhodou této techniky jsou nízké požadavky na prostor, účinné odvodnění kalů a odstranění bakterií. Potřebné teplo buď spotřebovává energii nebo je přirozené či dokonce získané jako vedlejší produkt z ostatních zařízení v procesu. V rámci anaerobní digesce je vylučován vzduch v mezofilní (30–38 °C) či v termofilní (49–57 °C) fázi procesu. Produktem anaerobní digesce je hořlavá směs plynů čili bioplyn skládající se z methanu (65–70 %), z oxidu uhličitého (25–30 %) a v menším množství z dusíku, sirovodíku, vodíku a jiné. Na rozdíl od anaerobní digesce probíhá aerobní digesce za přítomnosti vzduchu, kdy je kal provzdušňován a dochází k jeho zmineralizování (Tchobanoglous 1991, Bilitewski et al. 2011).

Tabulka 6: Výsledné koncentrace těžkých kovů z příkladů studií procesu stabilizace kalů (Abdel Moniem et al. 2013, Amini et Saeedi 2009, Li et al. 2012).

autor	typ kalu	dávka aditiva	jednotky	Cr	Ni	Pb	Zn	Cu	Cd
Li et al. 2012	kal z městské ČOV	neupravený kal	mg/l	<0,1	0,55	<0,2	1,087	2,416	<0,01
		10 % vápna	mg/l	<0,1	0,13	<0,2	0,01	1,539	<0,01
		20 % vápna	mg/l	<0,1	0,09	<0,2	0,01	1,044	<0,01
Abdel Moniem et al. 2013	kal z městské a průmyslové ČOV	2,5 % CCD	mg/l	0,08	2	0,088	0,58	0,34	0,18
		5 % CCD	mg/l	0,03	0,92	0,058	0,24	0,25	0,039
		35 % CCD	mg/l	0,03	0,73	0,042	0,13	0,15	0,020
Amini et Saeedi 2009	kal z tepelné elektrárny	neupravený kal	mg/l	5,5	209,1	0,6	24,8	-	-
		10 % cementu	mg/l	2,29	20,97	2,05	2,54	-	-
		20 % cementu	mg/l	3,68	32,11	1,86	3,57	-	-
		30 % cementu	mg/l	4,91	36,28	1,62	4,45	-	-
		40 % cementu	mg/l	5,36	42,12	1,45	4,84	-	-
		50 % cementu	mg/l	5,86	54,14	1,40	5,32	-	-

CCD – cementový slínek

## 7. Aditiva

### 7.1 Účinnost aditiv podle druhu odpadu

Výběr aditiva a jeho dávka může ovlivnit úspěšnost procesu stabilizace a rovněž náklady na její provedení. Filipovic et al. (2013) ve své studii popsali metody procesu S/S a navrhli optimální aditiva v závislosti na druhu odpadu. V případě, že se zpracovává kal nebo jiný odpad s vysokým obsahem kapalné fáze neboli tekutý odpad je nutné ho nejprve stabilizovat, protože takový druh odpadu nelze bez předúpravy uložit na skládky či jinak využít. Navrhovaným aditivem podle jejich studie byl cement, který při reakci s vodou vytvořil chemickou vazbou hydratovaný cement. Výsledná pevnost v tlaku ukazovala, že stabilizace kalu cementem jeho kapalnou fází zcela pohltila.

Obecně odpad obsahující hlavně anorganické znečišťující látky kontaminované těžkými kovy je nebezpečný právě možností vysokého vyplavovacího potenciálu těžkých kovů a jeho toxickými vlastnostmi. Proces S/S aplikací aditiva snižuje mobilitu těžkých kovů v těchto odpadech a snižuje tak jejich potenciál vyplavování. Předúpravou se kovy přeměňují z iontové formy a snižuje se jejich toxicita v důsledku změny valence (počet chemických vazeb, které jsou vytvořeny atomem konkrétního chemického prvku) (Nelson 1997, Zinck 2005, Filipovic et al. 2013). Filipovic et al. (2013) i v tomto případě doporučují jako aditivum cement v důsledku snížení pohyblivosti iontů kovů. Tento stejný postup platí i pro odpady s vysokým obsahem těžkých kovů, kdy je rovněž žádoucí snížení mobility těžkých kovů.

V případě odpadu obsahujícího převážně organické znečišťující látky Filipovic et al. (2013) rovněž použili jako aditivum cement v důsledku vysokého obsahu volné vody v odpadu. Proces S/S účinně snižuje mobilitu nebezpečných a škodlivých látek (např. polycyklických aromatických uhlovodíků či polychlorovaných bifenyly). Pokud se jedná o odpad s vysokým obsahem tuků a olejů, tak S/S cementem je neúčinná, protože částice cementu jsou potaženy olejem a nemůže tak dojít ke kontaktu vody z odpadu s aplikovaným cementem. Problémem v odpadech mohou být i organické sloučeniny, které mohou prodloužit dobu vytvrzování.

Složení odpadu je podstatným faktorem, pokud odpad obsahuje vysoké množství těkavých nebezpečných a škodlivých složek, budou stejné škodliviny vypouštěny do ovzduší během procesu S/S. Z toho důvodu je nutné hledat optimální aditiva pro jednotlivé druhy odpadu a pokud nelze najít optimální, tak je nezbytné vznikající odpadní plyny pomocí zařízení sbírat a zpracovávat.

## 7.2 Typy aditiv

Nejčastěji využívanými aditivy jsou různé druhy vápna a cementu. Jako alternativní aditiva pro proces stabilizace se využívá např. popílek, bentonit či kaolinit. Mezi chemické a fyzikální vlastnosti těchto aditiv je zařazená adsorpční schopnost a schopnost snižovat pohyblivost nebezpečných a škodlivých látek (Zinck 2005).

### 7.2.1 Vápno

Již více než 100 let je vápno využíváno k úpravě biologických organických odpadů buď jako nehašené vápno (skládající se z oxidu vápenatého) nebo jako hydratované vápno (skládající se z hydroxidu vápenatého). Tyto dva typy vápna lze využít všeobecně k úpravě pH v procesu stabilizace, ať už čistírenských kalů či kalů z různých odvětví průmyslu. Nehašené vápno se dodává v různých formách: drcené, práškové a oblázkové. Pro proces stabilizace je nejvýhodnější prášková forma vápna, protože její jemné částice okamžitě reagují s vodou v kalu (Willow Technology Inc. 1981, National Lime Association ©2023). Všeobecně vápno jako aditivum patří mezi nejuniverzálnější sloučeniny pro stabilizaci všech druhů kalů, protože snižuje patogenní obsah, napomáhá odvodnění kalu, zadržuje kovové ionty v nerozpustné formě a je výhodnější než ostatní alternativní aditiva. Jeho aplikováním jsou kaly obohacovány o vápník, který jej činí výhodným pro použití na zemědělskou půdu (Selvam et Wong 2006, Lhoist ©2023). Ekonomická náročnost této metody se rovněž odvíjí i od množství potřebného aditiva do kalu. V současné době se 25 kg nehašeného vápna pohybuje v rozmezí 300–500 Kč (DEK ©2023, DSK stavebniny ©2023). Błaszcyk et Krzyško-Łupicka (2014) ve své studii aplikovali vápno v dávce 1,5 kg/t kalu z potravinářského průmyslu.

Výsledkem bylo, že aplikované vápno nikterak neovlivnilo fyzikálně-chemické parametry (teplotu kalu, sušinu), jen u pH došlo k mírnému nárůstu z 6,9 na 7,1. Zároveň došlo k nárůstu celkového dusíku, kadmia, mědi i vápníku a ke snížení koncentrace většiny kovů. Koncentrace fosforu a amoniakového dusíku zůstala však po aplikaci vápna neměnná. Z jejich výzkumu plyne, že dávka vápna byla nedostatečná pro stabilizování kalu z potravinářského průmyslu. Naproti tomu Li et al. (2012) zkoumali účinky 10% a 20% dávky vápna na odvodněný kal a zjistili, že již při 10% dávce došlo ke snížení obsahu niklu, mědi a zinku ve vyluhovaném roztoku. Rovněž Aarab et al. (2006) ve své studii aplikovali 10 % vápna, což mělo za následek snížení obsahu mědi. Ibrahim et Jasim (2020) ve svém výzkumu na 100 g kalu aplikovali vápno v dávkách: 1 g, 2 g, 3 g, 4 g, 5 g, 15 g a 25 g. Výsledkem jejich výzkumu byla optimální dávka, která nejvíce snížila obsah zinku, mědi, chromu, olova, niklu a molybdenu. Optimální dávka vápna byla 25 g na 100 g kalu.

### **7.2.2 Cement**

Nejčastějším používaným typem cementu pro proces stabilizace je obyčejný portlandský cement, jehož klíčovou schopností je vysoká vazebnost. Alternativou k portlandské cementu může být prach z cementářské pece či CCD. Při stabilizaci tímto typem aditiva dochází k tomu, že voda v kalech reaguje s aplikovaným cementem, za produkce hydratovaných křemičitanových i hlinitanových sloučenin. Cement snižuje pohyblivost iontů kovů a tvoří méně rozpustné hydroxidy kovů (Zinck 2005). Faustina et Rajan (2018) ve své studii zjistili, že při stabilizaci cementem dochází ke zvyšování vyluhování hliníku, v důsledku obsahu oxidu hlinitého v aplikovaném cementu. Naproti tomu cement vykázal dobré imobilizační vlastnosti pro chrom, olovo a baryum a všeobecně pro všechny kovy mimo hliník. Z jejich studie plyne, že je podstatné zjišťovat obsah kovů v kalech a pokud je v kalu vyšší obsah hliníku, tak je doporučeno nepoužívat jako aditivum cement, ale jiný typ aditiva. Filipovic et al. (2013) ve své studii navrhovali aplikovat cement na všechny různé druhy odpadu: pro kaly a odpad s vysokým obsahem kapalné fáze, pro odpad s převažujícím obsahem anorganických znečišťujících látek, pro odpad s převažujícím výskytem organických znečišťujících látek i pro odpad s obsahem těžkých kovů.

Na rozdíl od vápna je aplikace cementu ekonomicky výhodnější, protože cena 25 kg cementu se pohybuje okolo 100–200 Kč (Heidelbergcement ©2023).

### **7.2.3 Alternativy**

Proces S/S, jak již bylo zmíněno, využívá řadu let hydraulická pojiva jako je vápno a cement, jenž se budou využívat i v budoucnu. Přesto je v dnešní době snaha najít alternativní aditiva, která by byla nákladově a charakteristicky výhodnější. Z těchto důvodů bývají pro proces S/S aditiva míchaná v různých poměrech mezi sebou a následně experimentálně aplikovaná (Kafka 2004). Níže jsou uvedeny alternativní aditiva, která již byla předmětem studií (Andrés et al. 1998, Faustina et Rajan 2018, Han et al. 2013, Ibrahim et Jasim 2020).

#### **Anhydrit**

Andrés et al. (1998) ve své studii použili ke stabilizaci kalů s vyšším obsahem těžkých kovů anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ ), což je vedlejší průmyslový produkt. Výsledkem aplikace anhydritu bylo značné snížení vyluhovatelnosti kovů a snížení mobility olova, chromu a kadmia až o 90 %. Experimentem prokázali, že anhydrit lze využít jako aditivum v S/S procesu nebezpečných odpadů s vysokým obsahem těžkých kovů, tak aby splňovaly předpisy pro uložení na skládky.

#### **Popílek**

Faustina et Rajan (2018) využívali jako aditivum mimo jiné i popílek s nízkým obsahem vápníku, který pocházel z tepelné elektrárny. Aditivum smíchali s kalem v dávkách 10 %, 20 % a 30 %. Již po 7 dnech vytvrzování při dávce 30 % došlo ke snížení olova, chromu, mědi, hliníku a barya. Z jejich studie vyplývá, že po 28 dnech vytvrzování bylo neoptimálnější dávkou 30 % popílku, který zastavil vyluhování barya, hliníku, arsenu a snížil vyluhovatelnost olova, chromu a mědi. Popílek jako aditivum je využíván běžně jako náhrada cementu.

## **Bentonit**

Druhým typem aditiva, který zkoumali ve své studii Faustina et Rajan (2018) byl bentonit, který vzniká zvětráváním sopečného popela. Jedná se o jílový minerál, jenž je tvořený z velké části hlavně montmorillonitem. Na rozdíl od účinku popílku, bentonit vykázal nižší účinnosti při imobilizaci chromu. Při 20% dávce zcela zamezil vyluhovatelnosti barya a při 30% dávce vykázal největší účinnost na vyluhovatelnost olova. Při této dávce, ale již po 7 dnech došlo ke zvýšení obsahu hliníku. Naproti tomu jen 10 % bentonitu dokázalo imobilizovat arsen až o 90 % za pouhých 7 dní. Na základě výsledků jejich stanovenou optimální dávkou bylo 20 % bentonitu s dobou vytvrzování 7 dní. Tento typ aditiva se ukázal nevhodný pro stabilizaci galvanických kalů, protože obsahuje hlavně chrom.

## **Bentonit vápenatý**

Han et al. (2013) ve své studii nahradili z části portlandský cement bentonitem vápenatým, který je v Číně o polovinu levnější než portlandský cement a je rovněž dostupnější než bentonit sodný či organický bentonit. Jedná se o drcený prášek složený hlavně z oxidu křemičitého, oxidu hlinitého a oxidu vápenatého. Výsledkem studie po aplikaci bentonitu vápenatého bylo zlepšení účinnosti cementu při procesu stabilizace kalů v důsledku podpory větší hydratace cementu. Oproti samotnému cementu vykázal vzorek s bentonitem vápenatým mnohem vyšší pevnost v tlaku. V porovnání s dalšími typy aditiv jako je popílek a kaolinit byl bentonit vápenatý lepší, protože napomáhá okamžitě dosáhnout zlepšení vlastností kalu za aplikace malé dávky, dokáže minimalizovat alkalitu znečištění a snížit vyluhovatelnost těžkých kovů. Byl rovněž lepší z důvodu uspokojivějších výsledků v S/S, ale jeho nadměrná aplikace by mohla mít negativní vliv na imobilizaci škodlivin (Li et al. 2007, Han et al. 2013).

## **Kaolinit**

K procesu S/S lze jako aditivum použít i kaolinit, což je jílový materiál vznikající chemickým zvětráváním hlinitokřemičitanových minerálů (např. živce). Od výše zmíněných aditiv se odlišuje imobilizací nejen chromu, ale i olova a mědi.



Tento typ aditiva vykazoval významné účinky při dávce 30 % již za 7 dní, kdy došlo zcela k imobilizaci arsenu i hliníku a redukcí chromu, olova i mědi. Z výše uvedených aditiv pouze kaolinit vykazoval nejlepší výsledky pro imobilizaci hliníku. Pokud je kaolinit použit jako aditivum, tak je optimální doba vytvrzování pro zastavení migrace všech kovů pouhých 7 dní při dávce 30 %. Kaolinit není vhodný pro S/S kalu z čistíren odpadních vod, protože dosahuje nízké tlakové síly i po 28 dnech vytvrzování (Han et al. 2013, Faustina et Rajan 2018).

Vzhledem k výše uvedeným informacím je každý typ aditiva na základě jeho složení účinnější pro imobilizaci jiného druhu kovu např. 30 % dávka popílku je účinná pro imobilizaci chromu, jenž je vysoce obsažen v galvanických katech. Pro imobilizaci mědi a olova je optimální dávkou 30 % kaolinitu. V případě imobilizace arsenu a hliníku jsou účinnými aditivy popílek či kaolinit, naopak je nevhodné zvolit jako aditivum cement, vzhledem k jeho obsahu oxidu hlinitého. Pokud kal obsahuje hodně barya je optimální pro imobilizaci aplikovat bentonit. Pro imobilizaci zinku, mědi, chromu, olova a molybdenu je vhodné aplikovat nehašené vápno (Han et al. 2013, Faustina et Rajan 2018, Ibrahim et Jasim 2020).

## **8. Charakteristika výrobního procesu zájmového provozu**

Zájmový provoz je součástí společnosti vyrábějící dehydratované a předpřipravené potraviny a ochucovadla (polévky, omáčky, koření, hotová jídla, přílohy či přípravky na pečení). Na základě vyhlášky č. 398/2016 Sb. o požadavcích na koření, jedlou sůl, dehydratované výrobky, ochucovadla, studené omáčky, dresinky a hořčici se za dehydratované výrobky považují potraviny vzniklé smísením složek se sníženým obsahem vlhkosti, s pastovitou či sypkou konzistencí, která bývá před konzumací obnovena zejména tekutinou.

Konkrétním zájmovým provozem, kde byl odebrán vzorek kalu je závod vyrábějící hydrolyzáty rostlinných bílkovin (HVP – Hydrolysed Vegetable Proteins), které jsou základem kořeních přípravků. V potravinářském průmyslu jsou HVP využívány především pro zlepšení chuti a aroma celé řady pokrmů.

Používají se do instantních polévek, do omáček, při výrobě produktů z mletého masa, v konzervárenství (např. do paštik) a jako tekutá ochucovadla do pokrmů (Vitana Food Ingredients ©2014). HVP jsou vyráběny z těchto surovin: sojový šrot (obsahuje alergeny), pšeničný lepek (obsahuje alergeny), kukuřičný škrob a řepkový šrot. Suroviny na výrobu HVP mohou představovat určitá zdravotní rizika, z toho důvodu jsou využívány k výrobě hydrolyzátu chemické reakce spuštěné dávkováním kyseliny chlorovodíkové, uhličitanem sodným a hydroxidem sodným.

Pro výrobu hydrolyzátu jsou v provozu používány autoklávy, což jsou přístroje konstruované pro reakce, jenž probíhají za vysokého tlaku a teploty. Autoklávy jsou pravidelně vyvařovány sodou a jejich vnitřní smaltový plášť bývá pravidelně kontrolován. Do autoklávu je přiváděna pitná voda v předepsaném množství, následně je dávkována kyselina chlorovodíková a při teplotě cca 65 °C jsou poté nasypány suroviny v předepsaném pořadí pro požadovaný druh hydrolyzátu. Rychlost sypání surovin je upravována tak, aby bylo zamezeno tvorbě hrud a suroviny byly průběžně rozmíchány.

Hydrolyzáty jsou vyráběny kyselou hydrolyzou, která je prováděna koncentrovaným roztokem kyseliny chlorovodíkové (cca 20 % roztok). V provozu bývá využívána buď tlaková hydrolyza, která probíhá při teplotách 114–124 °C a přetlaku 170–200 kPa po dobu minimálně 8 hodin (měřeno od dosažení 100 °C). Nebo bývá využívána beztlaková hydrolyza, která probíhá při teplotách 104–110 °C, ale za maximálního povoleného tlaku 100 kPa po dobu minimálně 20 hodin (měřeno od dosažení 90 °C). Dávkováním kyseliny chlorovodíkové dochází k rozštěpení bílkovinných molekul na základní stavební jednotky, kterými jsou aminokyseliny (hlavní produkty hydrolyzy). Vzniklá velmi kyselá suspenze (heterogenní směs) s hodnotou pH menší než 1 je přečerpána do neutralizační nádrže a následně neutralizována uhličitanem sodným na pH v rozmezí 5–6.

Po dosažení požadované hodnoty pH se suspenze přečerpává na vakuový pásový filtr k první filtraci, při které jsou oddělovány nerozpustné dusíkaté látky (huminy) od roztoku aminokyselin (hydrolyzátu). Hydrolyzát ze sběrné nádrže prvního filtrátu protéká do detoxikační (alkalizační) nádrže, kde dochází k detoxikaci hydrolyzátů hydroxidem sodným, který napomáhá upravit pH hydrolyzátu na vyšší než 9.

Hydrolyzáty s roztokem jsou zahřívány na teplotu 102–106 °C (beztlaková detoxikace) nebo na teplotu 116–120 °C (tlaková detoxikace – přetlak max. 250 kPa). Tímto způsobem je zajištěno snížení obsahu nežádoucích chlorhydrinů, zejména 3-monochlorpropandiolu (3-MCPD), který je karcinogenní. Z detoxikační nádrže hydrolyzát natéká potrubím do acidifikační nádrže, kde je sypáno aktivní uhlí a dochází ke zpětné neutralizaci aplikací kyseliny chlorovodíkové. Jejím účinkem je pH hydrolyzátu upravováno opět na rozmezí 5–6. Do zpětně neutralizovaného hydrolyzátu je aplikována křemelina, která je využívána během druhé filtrace a napomáhá oddělování nerozpustných dusíkatých látek. Vzniklý druhý filtrát je uskladňován v zásobních nádrží nebo dále zpracováván bez skladování.

Uvedený proces zájmového provozu má za účinek destrukci téměř veškerých bílkovin a polysacharidů (díky hydrolyze) i vysrážení dalších, nehydrolyzovaných bílkovin (díky neutralizaci) a rovněž eliminaci obsahu karcinogenního 3-MCPD. Účinně také inaktivuje z původních surovin všechny bílkoviny i sacharidy s aktivitou alergenů, a tím vznikají hydrolyzáty zcela bezpečné z hlediska alergických reakcí (Kouřimská et al. 2014, Straková et Stránská 2020). Vzniklé hydrolyzáty jsou v zájmovém provozu dále využívány a skladovány.

## **9. Charakteristika zájmového kalu**

### **9.1 Vznik potravinářského kalu**

Zájmový vzorek kalu z potravinářského průmyslu pocházel z ČOV, která je nezbytnou součástí závodu vyrábějící dehydratované a předpřipravené potraviny a ochucovadla. Účelem ČOV v závodě je mechanické předčištění odpadních vod a jejich dočištění na anaerobně–aerobním stupni. Průměrný denní průtok odpadních vod v této ČOV je 700 m<sup>3</sup>/d. Ročně technologie ČOV vyčistí 200 000 m<sup>3</sup> průmyslových odpadních vod. Výstupním produktem je mimo jiné zájmový přebytečný anaerobní kal, který je zařazen podle přílohy č. 1 vyhlášky č. 8/2021 Sb. o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů) do kategorie 19 08 12. Do této kategorie jsou zařazovány kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod, které nejsou uvedeny pod číslem 19 08 11\*, kam spadají rovněž kaly z biologického čištění průmyslových odpadních vod obsahující nebezpečné látky.

Na základě vlastností je kal zařazen do skupiny ostatních odpadů. Průměrná denní produkce přebytečného anaerobního kalu je 57 kg/d.

Přebytečný anaerobní kal vzniká z anaerobního stupně čištění, kterému předchází mechanické (primární) čištění, při kterém odpadní a dešťové vody přitékající kanalizačními větvemi ze závodu protékají přes dešťový odlehčovač a mechanické předčištění na česlích až do čerpací jímky. V jímce je její obsah míchán pomocí tlakového vzduchu přes středněbublinné aerační elementy. Odpadní vody z jímky jsou v požadovaném množství čerpány pomocí dvou čerpadel do acidifikační nádrže o objemu 177 m<sup>3</sup>.

Úlohou této nádrže je zajištění vyrovnaného nátoku na IC reaktor (z angl. Internal Circulation), homogenizace odpadních vod, úprava pH odpadních vod a zajištění potřebné doby pro průběh acidifikačních reakcí. Nádrž je promíchávána míchadlem a vyhřívána topným hadem na požadovanou teplotu odpadní vody před vstupem na IC reaktor. Pro správnou činnost anaerobních organismů je upravována pH hodnota odpadní vody na rozmezí 6–8 pomocí neutralizačních činidel. Mezi využívaná činidla v tomto závodě patří v kapalně formě 40% roztok hydroxidu sodného a 35% roztok kyseliny chlorovodíkové. Dávkování se u obou činidel pohybuje dle potřeby okolo 8 kg denně. Po proběhnutí acidifikačních reakcí, temperaci a úpravě pH je odpadní voda čerpána dvěma čerpadly do IC reaktoru.

IC reaktor s objemem 100 m<sup>3</sup> je vysokozatěžovaný anaerobní reaktor s dvoustupňovým třífázovým separátorem vody, kalu a bioplynu. Dokonalou homogenitu objemu reaktoru zajišťuje speciální vestavěná vnitřní recirkulace. Do 16 m vysokého IC reaktoru je odpadní voda přiváděna zdola a postupuje nahoru, díky rovnoměrnému nátoku zajištěnému distribučním systémem je promíchávána s recirkulovaným kalem. Ve spodní, vysoko zatížené části reaktoru se nachází kalové lože, ve kterém je většina přivedeného organického znečištění konvertována na bioplyn, který je plynným produktem metanogenních mikroorganismů tvořících kulturu anaerobního kalu. Produkovaný bioplyn je sbírán v třífázovém separátoru a využíván při transportu směsi kalu a vody bioplynovou mamutkou na vrchol IC reaktoru do separátoru bioplynu a vody. V separátoru dochází k oddělení směsi kalu a vody od bioplynu, který je odváděn plynovým vedením z reaktoru. Směs kalu a vody je vedena na dno reaktoru vnitřním recyklem do distribučního systému.

Odtok z první vysoce zatížené části reaktoru je dočištěn v druhé nízko zatížené části a zde produkovaný bioplyn je sbírán v druhém třífázovém separátoru. Zachycený bioplyn je veden do separátoru bioplynu a vody. Z reaktoru je odtokovým potrubím odváděna anaerobně předčištěná odpadní voda z části do acidifikační nádrže a z části do denitrifikační nádrže aerobního stupně ČOV.

Konečným výstupem z anaerobního stupně čištění je anaerobně předčištěná voda, bioplyn a přebytečný anaerobní granulovaný kal. Produkovaný bioplyn je buď spalován v plynojemu nebo na hořáku zbytkového plynu. Vzniklá energie je využívána v ČOV na ohřev odpadní vody v acidifikační nádrži případně ve výrobním procesu.

V případě zpracování nových anaerobních reaktorů je žádoucí surovinou produkovaný anaerobní kal, který je z IC reaktoru získáván potrubím pro jeho odtah a veden do velkokapacitní přepravní cisterny. Cisterny jsou speciálně upraveny pro silniční přepravu granulovaného kalu a pro šetrné přečerpávání bez destrukce granulí, které by mělo být prováděno pomocí zařízení na přečerpávání do protitlaku nad 70 kPa. Odvoz kalu je zajišťován v součinnosti investora a dodavatele technologie ČOV (Čermák 2018).

## 9.2 Charakter potravinářského kalu

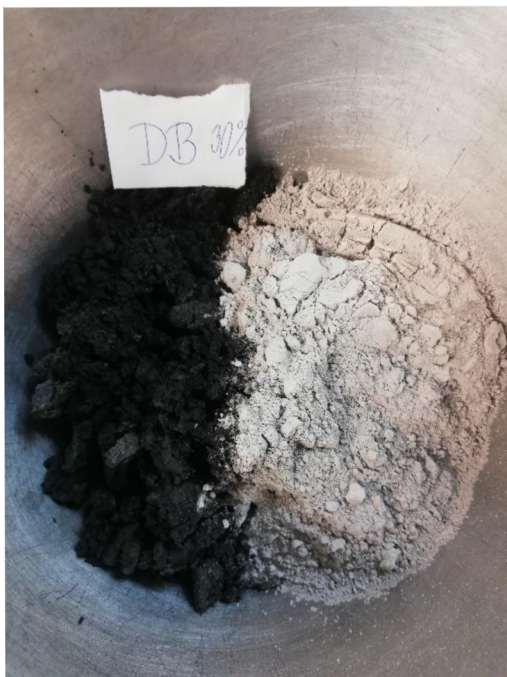
V následující tabulce jsou uvedeny výsledky koncentrací jednotlivých měřených parametrů v nestabilizovaném vzorku kalu ze zájmového potravinářského závodu.

Tabulka 7: Výsledky vyluhovacího testu neupraveného potravinářského kalu (Dekonta 2021).

parametr	jednotky	hodnota
DOC	mg/l	217
Chloridy	mg/l	385
Fluoridy	mg/l	<0,2
Sírany	mg/l	1 690
As	mg/l	0,0058
Ba	mg/l	0,017
Cd	mg/l	<0,001
Cr celkový	mg/l	0,0014
Cu	mg/l	0,0086
Hg	mg/l	<0,001
Ni	mg/l	0,0096
Pb	mg/l	<0,001
Sb	mg/l	<0,005
Se	mg/l	<0,005
Zn	mg/l	0,065
Mo	mg/l	<0,005
RL (105°C)	mg/l	4 900
pH	-	8,21
sušina	% hmot.	13,4

## 10. Fotodokumentace procesu

Obrázek 2: Kal se 30% dávkou aditiva DAS B před homogenizací.



Obrázek 3: Kal se 30% dávkou aditiva DAS B během procesu homogenizace.



Obrázek 4: Kal po homogenizaci se 30% dávkou aditiva DAS B a po přidání 80 ml destilované vody.





Obrázek 5: Hromadný obrázek všech naplněných PVC forem.



Obrázek 6: Naplněné PVC formy s mísicím poměrem DB 30 před vložením do digestoře.



Obrázek 7: Vzorek DB 30 po vyjmutí z PVC formy po dvou dnech v digestoři.



Obrázek 8: Vzorek DB 30 před vložením do třepačky





Obrázek 9: Třepačka se vzorky před jejich vyluhováním



Obrázek 10: Přefiltrování 1 litru výluhu do připravené nádoby k odeslání na analýzu výluhů



## 11. Výsledky práce

Následující tabulka 8 zahrnuje váhy jednotlivých Petriho misek v případě, že byly prázdné ( $m_0$ ), po naplnění přibližně 5 g kalu ze zájmového potravinářské závodu ( $m_1$ ) a po jejich vysušení v horkovzdušné sušárně při teplotě  $105\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  ( $m_2$ ). Paramter  $w_{dm}$  již představuje výsledné hodnoty sušiny v hmot. %. V tabulce 9 jsou přehledně uvedeny výsledky koncentrací měřených parametrů v jednotlivých výluzích v rámci deseti mísicích poměrů (originální výsledky testů viz přílohy 1-11). Do tabulky jsou zahrnuty i výsledky výluhů nestabilizovaného vzorku kalu ze zájmového potravinářského závodu.

Tabulka 8: Výpočet podílu sušiny.

parametr	jednotky	Petriho miska 1	Petriho miska 2
$m_0$	g	27,472	34,726
$m_1$	g	32,396	39,657
$m_2$	g	28,103	35,419
$w_{dm}$	%	12,815	14,054
průměr	%	13,434	

Tabulka 9: Výsledky vyluhovacích testů (Dekonta 2021).

parametr	vstup	DA 20	DB 20	DC 20	CA 20	CE 20	DA 30	DB 30	DC 30	CA 30	CE 30
DOC	217	172	767	209	503	762	211	444	168	354	3 140
Chloridy	385	82,9	98,8	93,7	57,1	103	83,1	50,8	83,3	44,2	136
Fluoridy	<0,2	<0,2	0,203	0,316	<0,2	0,302	0,331	<0,2	0,395	<0,2	<0,2
Sírany	1 690	482	249	<5	<5	355	1 060	96,2	<5	20,1	352
As	0,0058	0,015	<0,005	0,028	<0,005	0,0052	0,018	<0,005	0,031	<0,005	<0,005
Ba	0,017	0,031	0,035	0,017	0,045	0,090	0,041	0,041	0,021	0,029	0,180
Cd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Cr celkový	0,0014	0,0023	0,0039	0,0016	0,0016	0,027	0,0016	0,0025	0,0024	0,0014	0,032
Cu	0,0086	0,0060	0,529	<0,005	0,233	0,795	0,016	0,249	0,0057	0,172	0,230
Hg	<0,001	0,016	<0,001	<0,001	0,025	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Ni	0,0096	0,032	0,080	0,015	0,051	0,109	0,034	0,066	0,022	0,034	0,050
Pb	<0,001	<0,001	0,0011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sb	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,0069	<0,005	<0,005	0,0055	<0,005	<0,005	<0,005
Se	<0,005	0,014	0,0078	0,0071	<0,005	<0,005	0,015	0,0052	0,012	<0,005	<0,005
Zn	<0,065	0,013	0,0098	0,0061	0,0097	<0,005	0,0065	<0,005	0,0070	<0,005	<0,005
Mo	<0,005	0,029	0,048	0,059	<0,005	0,036	0,053	0,015	0,062	<0,005	0,023
RL (105°C)	4 900	1 040	2 270	2 590	2 285	2 330	1 430	1 245	2 850	1 650	1 885
pH	8,21	7,51	10,4	7,94	12,4	11,1	8,66	11,0	8,27	12,1	8,56

Veškeré hodnoty mimo hodnoty pH jsou uvedeny v mg/l.

## 12. Diskuse

### 12.1 Srovnání mísicích poměrů

Z výsledků analýzy výluhů (viz tabulka 9) vyplývá, že po chemické stabilizaci aplikací aditiv (DAS A, DAS B, DAS C, vápna a cementu) v dávkách 20 % a 30 % docházelo k tomu, že se koncentrace jednotlivých měřených parametrů snižovaly, zvyšovaly či v případě některých parametrů zůstaly konstantní. Aplikace 20% dávky DAS A snížila koncentrace zinku o 80 %, rozpuštěných látek o 79 %, chloridů o 78 %, síranů o 71 %, mědi a DOC. Naproti tomu 20% dávkou DAS A došlo ve výluhu ke zvýšení koncentrací molybdenu (z  $<0,005$  mg/l na 0,029 mg/l), niklu (z 0,0096 mg/l na 0,032 mg/l), arsenu, selenu, barya, chromu a rtuti. Koncentrace fluoridů, kadmia, olova a antimonu zůstaly po stabilizaci konstantní, stejně tak i po aplikaci 30% dávky DAS A s výjimkou fluoridů, u kterých došlo ke zvýšení koncentrace o 65 %. Také v případě použití 30% dávky DAS A došlo ke snížení koncentrací zinku (o 90 %), rozpuštěných látek (o 71 %), chloridů, síranů a DOC. Stejně tak došlo ke zvýšení koncentrací arsenu, barya, chromu, rtuti, niklu, molybdenu, selenu a na rozdíl od 20% dávky aditiva DAS A jeho 30% dávka způsobila zvýšení koncentrace mědi o 86 %.

V dalších dvou vzorcích výluhů byly vzorky kalu stabilizované aditivem DAS B, které při 20% dávce nejvýznamněji zvýšilo koncentraci mědi (z 0,0086 mg/l na 0,529 mg/l), dále zvýšilo koncentrace DOC, fluoridů, barya, chromu, niklu, selenu a molybdenu. V případě vzorku DB 20 došlo jako u jediného k 10% nárůstu koncentrace olova ve výluhu. Aplikací 20% dávky DAS B se snížily koncentrace chloridů (o 74 %), síranů (o 85 %), arsenu, zinku a rozpuštěných látek (o 53 %). Rovněž jako po aplikaci aditiva DAS A tak i po aplikaci aditiva DAS B zůstaly koncentrace kadmia a antimonu (pouze při 20% dávce) konstantní a ve vzorcích DB zůstala konstantní i koncentrace rtuti. Navíc ve výluhu DB 30 zůstala konstantní i koncentrace fluoridů. Aditivum DAS B při aplikaci 30% dávky rovněž zvýšilo koncentrace mědi (z 0,0086 mg/l na 0,249 mg/l), DOC, molybdenu, chromu, niklu a selenu, ale v porovnání méně než 20% dávka. Naproti tomu 30% dávka DAS B zvýšila koncentraci barya a antimonu více než 20% dávka. Ve výluhu DB 30 došlo ke snížení koncentrací síranů (o 94 %), chloridů (o 87 %), rozpuštěných látek (o 75 %), zinku (o 92 %) a arsenu (o 13 %).

Třetím typem aplikovaného aditiva typu DAS bylo aditivum DAS C, které v případě obou dávek zvýšilo koncentrace nejméně měřených ukazatelů ve výluzích na rozdíl od ostatních aditiv typu DAS. Po aplikaci 20% dávky DAS C se zvýšily ve výluhu koncentrace fluoridů, arsenu, chromu, niklu, selenu a molybdenu. Aplikace DAS C v dávce 30 % koncentrace těchto škodlivin zvýšila ještě víc, mimo koncentraci selenu, která byla vyšší u vzorku DC 20. Ve vzorku DC 30 navíc došlo i ke zvýšení koncentrace barya o 24 %. Konstantní koncentrace v obou vzorcích DC 20 i DC 30 zůstaly v případě kadmia, rtuti, olova, antimonu a u vzorku DC 20 navíc i barya. Po aplikaci 20% dávky DAS C se nejvíce snížila koncentrace síranů (o 99 %), zinku (o 90 %), mědi (o 41 %), rozpuštěných látek (o 47 %), chloridů (o 76 %) a DOC (o 3 %). Naproti tomu aplikací 30% dávky DAS C došlo k většímu snížení koncentrací DOC (o 23 %) a chloridů (o 78 %). Koncentrace síranů, mědi, zinku a rozpuštěných látek se snížily v podobném množství jako při aplikaci 20% dávky DAS C.

Pro srovnání účinku aditiv typu DAS byly vzorky kalu stabilizované i portlandským cementem a páleným vápnem. Ve vzorcích výluhů po aplikaci cementu v obou dávkách koncentrace zůstaly konstantní v případě kadmia, rtuti, olova, antimonu, selenu a u vzorku CE 30 i v případě fluoridů. Aditiva typu DAS zvýšila koncentrace selenu v případě obou aplikovaných dávek. Aplikací 20% dávky cementu došlo ve výluhu ke zvýšení koncentrace DOC (z 217 mg/l na 762 mg/l), fluoridů (z 0,2 mg/l na 0,302 mg/l), barya, chromu, mědi, niklu a molybdenu. Naproti tomu došlo u stejného vzorku ke snížení koncentrací zinku až o 92 %, síranů o 79 %, chloridů, arsenu a rozpuštěných látek. V případě těchto škodlivin došlo k podobnému poklesu koncentrací i aplikací 30% dávky cementu. Aplikace 30% dávky cementu zvýšila koncentrace barya, chromu, mědi, niklu, molybdenu a nejvýrazněji zvýšila koncentraci DOC z 217 mg/l na 3 140 mg/l. Koncentrace DOC ve výluzích mohou být podle studie Guimaraes et al. (2006) ovlivněny vápníkem z aplikovaného cementu a může tak ve výluzích docházet ke vzniku komplexů DOC-Ca.

Poslední dva vzorky kalu z potravinářského průmyslu byly stabilizovány páleným vápnem rovněž ve 20% a 30% dávce. Po stabilizaci kalu u obou vzorků zůstaly koncentrace ve výluzích konstantní v případě fluoridů, kadmia, olova, selenu a molybdenu. U vzorku CA 30 zůstaly po stabilizaci konstantní koncentrace chromu, rtuti a antimonu.

Vápnem v dávce 20 % zvýšila koncentrace DOC (z 217 mg/l na 503 mg/l), mědi (z 0,0086 mg/l na 0,233 mg/l), niklu, rtuti, barya, chromu a antimonu, naproti tomu výrazně snížila koncentraci síranů (o 99 %), chloridů (o 85 %), rozpuštěných látek (o 53 %) a arsenu i zinku. Aplikace 30% dávky páleného vápna zvýšila koncentrace pouze čtyř měřených škodlivin, konkrétně koncentrace DOC (z 217 mg/l na 354 mg/l), barya, mědi a niklu. Naproti tomu pozitivně snížila koncentrace chloridů o 88 %, síranů o 99 %, arsenu o 14 %, zinku o 92 % a rozpuštěných látek o 66 %.

V rámci využití stabilizovaných kalů byly výsledky koncentrací měřených parametrů ve všech výluzích srovnány s nejvyššími přípustnými hodnotami stanovenými vyhláškou č. 273/2021 Sb. pro aplikaci na zemědělskou půdu, pro uložení na skládky ostatních odpadů (výluhová třída číslo IIa) a pro využití jako uzavírací těsnicí vrstva skládky (výluhová třída číslo IIb).

V případě aplikace kalů na zemědělskou půdu byly koncentrace chloridů, síranů, DOC a rozpuštěných látek ve výluhu zájmového vzorku kalu před stabilizací vyšší než maximální stanovené hodnoty vyhláškou. Stabilizací vzorků klesly koncentrace chloridů a síranů ve výluzích o tolik, že byly nižší než stanovené nejvyšší přípustné hodnoty. K takovému poklesu došlo v případě koncentrace chloridů u vzorků DB 30, CA 30, CA 20 a koncentrace síranů klesly u vzorků DB 30, DC 30, CA 30, DC 20 a CA 20. Stabilizace kalu sice snížila koncentrace těchto parametrů, ale v případě DOC a rozpuštěných látek ani v jednom z deseti mísicích poměrů nebyly výsledné koncentrace nižší než maximální hodnoty stanovené vyhláškou pro aplikaci na zemědělskou půdu (DOC – 50 mg/l, RL – 400 mg/l). Dokonce aplikací téměř všech aditiv (s výjimkou CA 30) došlo ke zvýšení koncentrací kovů ve výluzích nad maximální hodnoty stanovené vyhláškou pro aplikaci na zemědělskou půdu, i přestože ve výluhu zájmového nestabilizovaného kalu byly tyto koncentrace pod maximálními stanovenými hodnotami. Aplikace 20% dávky DAS A zvýšila koncentrace rtuti a selenu a 30% dávka i koncentraci molybdenu oproti původním koncentracím v nestabilizovaném vzorku. Naproti tomu 30% i 20% dávka DAS B a cementu zvýšila koncentrace mědi a niklu. Pro srovnání aditivum typu DAS C aplikací 30% dávky zvýšilo koncentrace selenu a molybdenu, ale při 20% dávce zvýšilo jen koncentraci molybdenu. Co se týče vápna při jeho aplikaci v dávce 20 % došlo ke zvýšení koncentrace mědi, rtuti, niklu i antimonu nad maximální hodnoty stanovené vyhláškou č. 273/2021 Sb. pro aplikaci na zemědělskou půdu.

Naproti tomu aplikace 30% dávky vápna významně nezvýšila koncentrace žádných ukazatelů s výjimkou koncentrace DOC, která byla již před stabilizací vyšší než maximální stanovené hodnoty pro aplikaci kalu na zemědělskou půdu.

Všechny výluhy překračovaly maximální stanovenou hodnotu parametru DOC pro výluhovou třídu číslo IIa, která stanovuje maximální přípustné hodnoty pro ukládání na skládky ostatních odpadů. V případě ostatních měřených parametrů byly jejich koncentrace nižší než maximální přípustné hodnoty. Vyhláška č. 273/2021 Sb., ale uvádí, že pokud koncentrace DOC překračují maximální stanovenou hodnotu, lze odpad uložit na skládku za podmínky nepřekročení limitních hodnot pro organické ukazatele v sušině kalu (uhlovodíky C10-C40, polycyklické aromatické uhlovodíky, benzo(a)pyren a extrahovatelné organicky vázané halogeny).

Devět výluhů z deseti překračovalo limitní hodnoty koncentrací DOC stanovené výluhovou třídou číslo IIB ve vyhlášce č. 273/2021 Sb. pro využití kalů jako uzavírací těsnící vrstvy skládky. Poslední vzorek CA 20 překračoval stanovené limitní hodnoty nejen pro koncentraci DOC, ale i pro koncentraci rtuti.

Na základě výše uvedeného porovnání byla 30% dávka vápna stanovena jako nejvhodnější v důsledku nízkého počtu měřených ukazatelů, u kterých její aplikací došlo ke zvýšení koncentrací ve výluhu a zároveň v důsledku vysokého počtu ukazatelů, u kterých došlo ke snížení koncentrací či jejich koncentrace zůstaly konstantní. V rámci nejvyšších přípustných hodnot stanovených vyhláškou č. 273/2021 Sb. pro aplikaci na zemědělskou půdu koncentrace ukazatelů výluhu DC 30 splňovaly přípustné hodnoty u nejvyššího počtu (sedmnáct) měřených ukazatelů v porovnání s ostatními výluhy. Aplikaci tohoto vzorku na zemědělskou půdu brání vysoké koncentrace rozpuštěných látek a koncentrace DOC, která výrazně překračuje i maximální hodnoty pro uložení na skládky ostatních odpadů nebo pro využití jako uzavírací těsnící vrstva skládky. Vzorek DC 30 by mohl být uložený na skládku ostatních odpadů v případě, že splňuje výše uvedenou podmínku s obsahem organických parametrů v sušině kalu.

Cokgor et al. (2014) uvádí, že Evropskou unií stanovena maximální hodnota koncentrace DOC pro uložení na skládky není stanovena na základě vědeckých kritérií, protože snížit koncentraci DOC ve výluzích kalu pod maximální stanovenou hodnotu 80 mg/l je na základě ekonomicky dostupných technologií nereálné.

Mnoho autorů (Aydin et al. 2007, Aimin et al. 2009, Ayol et al. 2011, Corgkor et al. 2014) studujících i čistírenské kaly uvádí, že koncentrace DOC tuto stanovenou hodnotu několikanásobně překračují. Což uvádí i výsledky této práce, ve které koncentrace DOC byly 2krát až 10krát vyšší ve vzorcích výluhů a u vzorku CE 30 byla koncentrace dokonce 39krát vyšší než maximální hodnoty stanovené vyhláškou č. 273/2021 Sb. pro uložení na skládky a pro využití jako uzavírací těsnící vrstva skládky. Vysoké koncentrace DOC všeobecně ve výluzích McColl et Pohlman (1988) ve své studii vysvětlují jako nedostatečné odstranění organické hmoty, jejíž nejvýznamnější složkou jsou huminové látky.

Další možnosti (uvedené v tabulce 5) využití kalu stabilizovaného 30% dávkou vápna nejsou vhodné, protože odstraňují organickou hmotu a živiny užitečné pro růst rostlin v případě spalování, u kterého je značnou nevýhodou vypouštění toxických výparů do ovzduší. Výroba biouhlu a sušení kalu je naproti tomu finančně nákladnější než kompostování kalu. V případě využití jako náhražky jílu do stavebních cihel je využíváno jen malé množství kalu, aby cihly nevykazovaly vady v podobě prasklin. Možností využití je i anaerobní digesce kalu, ale její nevýhodou je poprocesní úprava digestátu, vysoké náklady na digestory a vysoký obsah huminových látek navíc zpomaluje celý proces konverze na bioplyn. Nejvhodnějším způsobem využití výsledného vzorku DC 30 je jeho kompostování, díky kterému by byl kal využitelný v zemědělství, k půdním rekultivacím, k terénním úpravám či v zahradnictví. Problematické by mohly být koncentrace síranů (20,1 mg/l) a chloridů (44,2 mg/l) ve stabilizovaném vzorku, ale Lithuanian Ministry of Environment (2016) uvádí, že maximální hodnoty chloridů a síranů v kompostu, které nepoškozují citlivé rostliny by měly být nižší než 300 mg/l. I přesto by bylo vhodné pro alternativní způsoby využití investovat náklady na snížení salinity již v rámci výrobního stupně a zamezit vstupu odpadních vod s vysokým obsahem solí.

## **12.2 Srovnání mísicích poměrů ve světovém měřítku**

Metodu chemické stabilizace lze aplikovat na základě tabulky 6 na všechny typy kalů a odpadů např. na kaly z tepelné elektrárny (Amini et Saeedi 2009), na kaly z městské ČOV (Li et al. 2012) ale i na kaly z průmyslových ČOV (Abdel Moniem et al. 2013).



Amini et Saeedi (2019) ve své studii uvádí, že aplikací různých dávek cementu (10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %) došlo k výraznému snížení koncentrací niklu oproti neupravenému kalu. Nejvyšší pokles koncentrace niklu nastal při aplikaci 10% dávky cementu (z 209 mg/l na 21 mg/l) a následně se zvyšující se dávkou se zvyšovala i koncentrace niklu až o 61 %. V rámci této práce došlo ke zvýšení koncentrací niklu rovněž po aplikaci 30% i 20% dávky cementu, ale i po aplikaci v obou dávkách aditiva DAS B a u 20% dávky vápna. Abdel Moniem et al. (2013) po aplikaci CCD uvádí, že koncentrace niklu klesaly a nejvýznamněji již po aplikaci 5% dávky.

V rámci koncentrací olova Li et al. (2012) ve své studii uvádí, že koncentrace zůstala před i po aplikaci vápna (při dávce 10 % a 20 %) konstantní. Rovněž ve výluzích v rámci této práce v případě olova zůstaly jeho koncentrace konstantní. Naproti tomu Amini et Saeedi (2009) ve své práci prezentuje, že aplikace cementu ve všech studovaných dávkách významně zvyšuje koncentraci olova oproti jeho koncentraci v nestabilizovaném kalu. Stejný výsledek uvádí Abdel Moniem et al. (2013) po aplikaci CCD.

Li et al. (2012) uvádí, že před i po aplikaci vápna byla koncentrace kadmia konstantní, což vyplývá i z výsledků výluhů všech mísících poměrů této práce. Naproti tomu Abdel Moniem et al. (2013) v jejich studii uvádí, že koncentrace kadmia aplikací CCD roste. Koncentrace mědi se po aplikaci vápna (Li et al. 2012) i CCD (Abdel Moniem et al. 2013) významně snižovala. Naproti tomu v této práci došlo u vzorků DB 30, CE 30, DB 20, CA 20 a CE 20 ke zvýšení koncentrace mědi a v tomto případě to u vzorků byl parametr, který překračoval limitní hodnoty pro aplikaci na zemědělskou půdu. Li et al. (2012), Abdel Moniem et al. (2013) i Amini et Saeedi (2019) v jejich práci uvádí, že aplikací vápna, cementu i CCD došlo ke snížení koncentrací zinku ve výluzích u všech mísících poměrů. Rovněž v této práci došlo téměř u všech vzorků mimo DC 30 ke snížení koncentrací zinku ve výluzích.

Li et al. (2012) po aplikaci vápna uvádí, že koncentrace chromu zůstaly konstantní. Naproti tomu Abdel Moniem et al. (2013) ve své studii zjistil, že koncentrace chromu nejvíce klesly po aplikaci 2,5 % CCD. I aplikace cementu způsobuje v menších dávkách snížení koncentrací chromu, ale při 50% dávce cementu hodnota koncentrace překročila hodnotu koncentrace neupraveného kalu.

Koncentrace chromu se v rámci této práce napříč jednotlivými vzorky zvýšily s výjimkou vzorku po aplikaci 30% dávky vápna, u kterého zůstala koncentrace konstantní, což uvádí i ve své studii Li et al. (2012).

Na základě výsledků studií je zřejmé, že vápno je při stabilizaci těžkých kovů v kalech účinnější než aplikace cementu, CCD či DAS A, DAS B a DAS C. National Lime Association (©2023) uvádí, že k úpravě biologických organických odpadů je vápno využíváno již přes 100 let a pravděpodobně bude využíváno i nadále v důsledku jeho univerzálnosti a finanční dostupnosti v rámci procesů stabilizace a solidifikace.

### 13. Závěr

Jedním z cílů této diplomové práce byla literární rešerše zaměřující se na charakteristiku kalů z potravinářského průmyslu, na způsoby jejich úpravy metodou stabilizace aplikací aditiv a na možnosti následného využití stabilizovaného kalu, které by bylo v souladu s platnou legislativou. Tyto informace byly zahrnuty v kapitolách od přehledu platné legislativy, přes možnosti využití včetně výhod a nevýhod, až po typy aditiv aplikovaných v rámci procesu stabilizace kalů. Na základě těchto informací byly navrženy optimální dávky aditiv 20 % a 30 %, jenž byly podle poznatků z literární rešerše ekonomicky nejvýhodnější a kaly spolehlivě stabilizovaly, zároveň značně nezvyšovaly jejich objem ani náklady na proces stabilizace.

Pro vyjádření koncentrace vstupního kalu ze zájmového závodu vyrábějící HVP byla v rámci praktické části této práce vypočítána Gravimetrickou metodou jeho sušina, která činila 13,4 hmot. %. Následný proces stabilizace kalu s vysokým obsahem huminových látek, solí a těžkých kovů byl založen na principu aplikace pěti aditiv (pálené vápno, portlandský cement, DAS A, DAS B, DAS C) ve dvou stanovených optimálních dávkách (20 % a 30 %) s výsledným počtem deseti vzorků o různých mísicích poměrech. Na základě nejnižšího počtu měřených parametrů ve výluzích vzorků, u kterých došlo stabilizací ke zvýšení jejich koncentrací, byl zvolen vhodný typ aditiva. Závěrem výsledků analýzy výluhů deseti mísicích poměrů bylo jako vhodné aditivum v poměru cena-výkon zvoleno pálené vápno v dávce 30 %.

Na základě vyhlášky č. 273/2021 Sb. takto upravený kal nemůže být aplikovaný na zemědělskou půdu z důvodu překročení maximálních stanovených hodnot koncentrací DOC a rozpuštěných látek. Zároveň nemůže být využit ani jako uzavírací těsnící vrstva skládky, protože rovněž překračuje maximální stanovené hodnoty koncentrace DOC. Podle legislativy by bylo možné kal s aplikovanou 30% dávkou páleného vápna uložit na skládky ostatních odpadů, i když překračuje maximální stanovené hodnoty koncentrací DOC. Pro uložení na skládky ostatních odpadů by musel ale splňovat podmínku, že koncentrace organických škodlivin v kalu nepřekročí maximální stanovené hodnoty vyhláškou č. 273/2021 Sb. Tento způsob nakládání s kalem je spíše krajním řešením, výhodnějším způsobem by bylo kompostování, které by umožnilo jeho spolehlivé využití v zemědělství, k půdním rekultivacím či k terénním úpravám.

## 14. Přehled literatury a použitých zdrojů

### Odborná publikace

Aarab T., Delhaye J. P., Godden B., Remy M. et Smeyers M., 2006: The storage of sewage sludge: Influence of liming on the evolution of copper chemical fractions. *Waste Management* 26/9. 1024-1032.

Abdel Moniem S. M., Ashmawy A. M., Ibrahim H. S. et Lasheen M. R., 2013: Pozzolanic-based materials for stabilization/solidification of contaminated sludge with hazardous heavy metal: case study. *Desalination and Water Treatment* 51. 2644-2655.

Adani F., D'Imporzano G., Orzi V., Salati S., Scaglia B., Schievano A. et Tambone F., 2010: Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere* 81/5. 577-583.

Agrawal M. et Singh R. P., 2010: Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: Metal uptake by plant. *Ecological Engineering* 36/7. 969-972.

Aimin L., Lu Y. et Zhang L., 2009: Characterization and removal of dissolved organic matter (DOM) from landfill leachate rejected by nanofiltration. *Waste Management* 29/3. 1035-1040.

Akbor A., Akhter S., Akter B., Jolly Y. N., Nahar A., Shammi M., Uddin K. et Yasmin S., 2023: Preparation and characterization of biochar: A case study on textile and food industry sludge management. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* 7. 10.

Alpaslan M. N., Delen N. et Dolgen D., 2007: Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. *Journal of Environmental Management* 84/3. 274-281.

Amarasinghe H., Gunathilake S. K. et Karunarathna A. K., 2016: Ascertaining of Optimum Pyrolysis Conditions in Producing Refuse Tea Biochar as a Soil Amendment. *Procedia Food Science* 6. 97-102.

Amini H. R. et Saeedi M., 2009: Stabilization of heavy metals in wastewater treatment sludge from power plants air heater washing. *Waste Management & Research* 27/3. 274-280.

Andrés A., Ibáñez R., Irabien J. A. et Ortiz I., 1998: Experimental study of the waste binder anhydrite in the solidification/stabilization process of heavy metal sludges. *Journal of Hazardous Materials* 57. 155-168.

Antonietti M., Tang Ch. et Yang F., 2021: Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews* 50. 6221-6239.

Appels L., Baeyens J., Degève J. et Dewil R., 2008: Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* 34/ 6. 755-781.

Araujo A. S. F., Ibrahim M. H., Singh P., Singh R. P. et Sulaiman O., 2011: Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. *Resources Conservation and Recycling* 55/7. 719-729.

Arbestain M. C., Egiarte G., Pinto M. et Ruíz-Romera E., 2008: Monitoring heavy metal concentrations in leachates from a forest soil subjected to repeated applications of sewage sludge. *Environmental Pollution* 156/3. 840-848.

Arduzzo D. C., Battistessa C. P., Cristóbal A., Gass S. et Simón D., 2021: Valorization of sludge from the effluent treatment of the dairy industry as clay substitutes in building bricks. *Construction and Building Materials* 307/8. 14.

Aydin E., Cokgor E. U., Gorgun E., Insel G., Okutman Tas D., Olmez T., Orhon D. et Pehlivanoglu-Mantas E., 2007: Evaluation of municipal and industrial wastewater treatment sludge stabilization in Istanbul. *Clean-Soil, Air, Water*, 35. 558-564.

Ayol A., Budez J. Ch., Canziani R., Jenicek P., Leonard A., Rulkens W., Spinosa L., Van Dijk L. et Xu G., 2011: Sustainable and Innovative Solutions for Sewage Sludge Management. *Water* 3/2. 702-717.

Ayuso L. M., Morales A. B., Pascual J. A., Ros M. et Segura P., 2018: Characterisation of sludge produced by the agri-food industry and recycling options for its agricultural

uses in a typical Mediterranean area, the Segura River basin (Spain). *Waste Management* 82. 118-128.

Azman S., Khadem A. F., Plugge C. M., Stams A. J. M., van Lier J. B. et Zeeman G., 2017: Effect of humic acids on the activity of pure and mixed methanogenic cultures. *Biomass and Bioenergy* 99. 21-30.

Baeynes J., Dewil R., Roels J. et Van de Steene B., 2008: Distribution of Sulphur Compounds in Sewage Sludge Treatment. *Environmental Engineering Science* 25/6. 879-886.

Baeyens J., Dewil R., Roels J. et Van de Steene B., 2009: Evolution on the Total Sulphur Content in Full-Scale Wastewater Sludge Treatment. *Environmental Engineering Science* 29/4. 867-872.

Baldoni G., Mantovi P. et Toderi G., 2005: Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research* 39/2-3. 289-296.

Baskaran S., Bolan N. S. et Thiagarajan S., 2008: An evaluation of the methods of measurement of dissolved organic carbon in soils, manures, sludges, and stream water. 13-14. 2723-2737.

Bazrafshan E. et Farzadkia M., 2014: Lime Stabilization of Waste Activated Sludge. *Health Scope* 3/1. 5.

Bennamoun L., 2012: Solar drying of wastewater sludge: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16/1. 1061-1073.

Bergmanová R., Horttanainen M., Kaikko J., Nerg J. et Pasila-Lehtinenová M., 2010: Performance analysis of power generating sludge combustion plant and comparison against other sludge treatment technologies. *Applied Thermal Engineering* 30/2-3. 110-118.

Bernal-Vicente A., Canali S., Intrigliolo F., Lopez-Mondejar R., Pascual J. A. et Tittarelli F., 2010: Utilisation of citrus compost-based growing media amended with *Trichoderma harzianum* T-78 in *Cucumis melo* L. seedling production. *Bioresource Technology* 101/10. 3718-3723.

Bhogal A. Chambers B. J., Nicholson F. A. et Shepherd M. A., 2003: Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptakes. *Environmental Pollution* 121/3. 413-423.

Bilitewski B., Fleischer G., Habashi F., Loll U. et Menges G., 2011: Waste, 5. Recycling. In: Wiley – VCH (ed): *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH, 415-480.

Bıyıklı M., Dorak S. et Aşık B. B., 2020: Effects of Food Industry Wastewater Treatment Sludge on Corn Plant Development and Soil Properties. *Polish Journal of Environmental Studies*. *Polish Journal of Environmental Studies* 29/4. 2565-2578.

Błaszczak K. et Krzyśko-Łupicka T., 2013: Microbiological and physico-chemical composition of sewage sludge derived from the food industry. *Chemistry-Didactics-Ecology-Metrology* 18. 89-95.

Blaya J., Lloret E., López – Mondéjar R., Pascual J. A. et Ros M., 2013. Changes induced by *Trichoderma harzianum* in suppressive compost controlling *Fusarium* wilt. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 107/ 1. 112-119.

Boguta P., Sokolowska Z. et Tomczyk A., 2020: Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 19. 191–215.

Campos S. X., Dantas A. D. B., de Azevedo E. R., Rigobello E. S. et Vieira E. M., 2017: Comparative characterization of humic substances extracted from freshwater and peat of different apparent molecular sizes. *Revista Ambiente e Agua* 12/5. 774-785.

Cao D., Hao X., Li J., Luo Y. et van Loosdrecht M. C. M., 2019: Effect of humic acids on batch anaerobic digestion of excess sludge. *Water Research* 155. 431-443.

Cao Y. et Pawłowski A., 2012: Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16/3. 1657-1665.

Carducci A. et Verani M., 2013: Effects of Bacterial, Chemical, Physical and Meteorological Variables on Virus Removal by a Wastewater Treatment Plant. *Food and Environmental Virology* 5/1. 69-76.

CIAA, 2002: CIAA Background Document for the Technical Working Group on the "Food and Drink", BAT Reference Document Rev. 7.

Clarkson W. W., Sanin F. D. et Vesilind P. A., 2011: *Sludge engineering: the treatment and disposal of wastewater sludges*. DEStech Publications, Pennsylvania: 393.

Cokgor E. U., Dulkadiroglu H., Filibeli E., Insel G., Karaca C., Meric S., Okutman Tas D., Orhon D. et Sözen S., 2014: Scientific basis of dissolved organic carbon limitation for landfilling of municipal treatment sludge – Is it attainable and justifiable?. *Waste Management* 34/9. 1657-1666.

Dai L., Dai X., Dong B. et Duan N., 2013: High-solids anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste in comparison with mono digestions: Stability and performance. *Waste Management* 33/2. 308-316.

de Kreuk M., Gonzalez A., Hendriks A. T. W. M. et van Lier J. B., 2018: Pre-treatments to enhance the biodegradability of waste activated sludge: Elucidating the rate limiting step. *Biotechnology Advances* 36/5. 1434-1469.

de Melo B. A. G., Motta F. L. et Santana M. H. A., 2016: Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments(Review). *Materials Science and Engineering* 62. 967-974.

Dignac M. F., Doublet J., Francou C., Houot S., Pétraud J. P. et Poitrenaud M., 2010: Distribution of C and N mineralization of a sludge compost within particle-size fractions. *Bioresource Technology* 101/4. 1254-1262.

Dudlo A., Michalska J., Surmacz-Górska J. et Turek-Szytow J., 2022: Characterization of humic substances recovered from the sewage sludge and validity of their removal from this waste. *EFB Bioeconomy Journal* 2. 18.

Farrow J., Kirkby N. F., Mills N., Pearce P. et Thorpe R. B., 2014: Environmental & economic life cycle assessment of current & future sewage sludge to energy technologies. *Waste Management* 34/1. 185-195.



- Faustina N. et Rajan T. V., 2018: Stabilization of Industrial Sludge. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 7/1. 1025-1034.
- Fečko P., Kučerová R. et Lyčková B., 2009: *Zpracování kalů*. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ostrava. 87.
- Fernández F. J., Rodríguez L., Sánchez – Arias V. et Villaseñor J., 2010: Feasibility of composting combinations of sewage sludge, olive mill waste and winery waste in a rotary drum reactor. *Waste Management* 30/10. 1948-1956.
- Filipovic S., Gardic V. et Obradovic L., 2013: Review of solidification and stabilization methods of hazardous waste. *Mining and Metallurgy Engineering Bor* 4. 85-92.
- Franciso O., Nardi S. et Schiavon M., 2021: Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules* 26/8. 20.
- Fuerhacker M. et Haile T. M., 2011: Treatment and Reuse of Sludge. In: Barceló D. et Petrovic M. (eds): *Waste Water Treatment and Reuse in the Mediterranean Region*. Springer – Verlag, Berlin. 63-92.
- Fuess L. T. et Garcia M. L., 2014: Implications of stillage land disposal: A critical review on the impacts of fertigation. *Journal of Environmental Management* 145. 210-229.
- Gallardo A., Ingelmo F., Lapeña L., Molina M. J. et Soriano M. D., 2012: Influence of organic matter transformations on the bioavailability of heavy metals in a sludge based compost. *Journal of Environmental Management* 95. 104-109.
- Garcia M. L. et Pereira A. C. A., 2017: Disposal of Sludge from Food Industry Wastewater Treatment Plant on Soil: Effects on Groundwater. *Geociencias* 36/2. 275-283.
- Garg V. K. et Yadav A., 2011: Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* 102/3. 2874-2880.
- Gawdzik J. et Latosińska J., 2012: Analiza mobilności metali ciężkich w wybranych osadach ściekowych z oczyszczalni ścieków o różnej przepustowości. *Proceedings of ECOpole* 6/1. 319-324.

- Guimaraes A. L., Nishijima W., Okada M. et Okuda T., 2006: Organic carbon leaching behavior from incinerator bottom ash. *Journal of Hazardous Materials* 137/2. 1096-1101.
- Guo X., Liu H. et Zhang J., 2020: The role of biochar in organic waste composting and soil improvement: A review. *Waste Management* 102. 884-899.
- Hait S et Tare V., 2012: Transformation and availability of nutrients and heavy metals during integrated composting–vermicomposting of sewage sludges. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 79. 214-224.
- Han J., Lin C. et Zhu W., 2013: Strength and Leachability of Solidified Sewage Sludge with Different Additives. *Journa of Materials in Civil Engineering* 25/11. 1594-1601.
- Hu H. Y., Song Y. D. et Zhou Y. X., 2010: Lysis of stationary-phase bacterial cells by synergistic action of lytic peptidase and glycosidase from thermophiles. *Biochemical Engineering Journal* 52/1. 44-49.
- Hu J., Chang Y., Lee D. J., Lee Y. J. et Zhang Q., 2017: Sludge treatment: Current research trends. *Bioresource Technology* 243. 1159-1172.
- Chanakya H. N., Mahapatra D. M. et Ramachandra T. V., 2013: Treatment efficacy of algae-based sewage treatment plants. *Environmental Monitoring and Assessment* 185. 7145–7164.
- Chen Y., Liang S., Liu Z., Wang Z., Xiong Y et Yu F., 2014: Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application. *Waste Management* 34/11. 2014-2021.
- Ibrahim J .A. K. et Jasim N. A., 2020: Stabilization of Al-Rustamiya Waste Water Treatment Plant Sludge Using Lime. *Journal of Engineering* 26/9. 165-172.
- Jeon J. R., Jung H., Kim J. H. et Kwon S., 2021: Which Traits of Humic Substances Are Investigated to Improve Their Agronomical Value? *Molecules* 26/3. 760-770.
- Kafka Z. et Punčochářová J., 2002: Kontaminanty v odpadech a jejich vyluhování. *Odpady* 9. 21-22.
- Kay J. N., Koenig A. et Wan I. M., 1996: Physical properties of dewatered wastewater sludge for landfilling. *Water Science and Technology* 34/3–4. 533-540.

- Kelessidis A. et Stasinakis A. S., 2012: Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Manage* 32/6. 1186–1195.
- Leibold H., Morgano M. T., Richter F., Seifert H. et Stapf D., 2018: Screw pyrolysis technology for sewage sludge treatment. *Waste Management* 73. 487-495.
- Li L., Lin Ch., Ohki T. et Zhu W., 2007: Solidification/Stabilization (S/S) of sludge using calcium-bentonite as additive. *Huan Jing Ke Xue* 28/5. 1020-1025.
- Li Z., Liu X., Shi J., Zhang J. et Zhao Y., 2012: Experimental research on lime drying process of mechanical dewatered sludge from a wastewater treatment plant in Beijing. *Procedia Environmental Sciences* 16. 335 – 339.
- Lira A. C. S., Guedes M. C. et Schalch V., 2008: Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. *Engenharia Sanitaria E Ambiental* 36/2. 207-216.
- Mahajan M., Sharma B., Singh P., Singh R. P., Singh U. K. et Vaish B., 2019: Recycling of Organic Wastes in Agriculture: An Environmental Perspective. *International Journal of Environmental Research* 13/1. 22.
- Manios T., 2004: The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete. *Environment International* 29/8. 1079-1089.
- McBride M. B., Richards B. K., Russo J. J., Sauvé S. et Steenhuis T., 1997: Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge application. *Soil Science* 162/7. 487-500.
- McColl J. G. Et Pohlman A. A., 1988: Soluble Organics from Forest Litter and their Role in Metal Dissolution. *Soil Science Society of America Journal* 52/1. 265-271.
- Mosquera – Losada M. R., Muñoz – Ferreiro N. et Rigueiro – Rodríguez A., 2010: Agronomic characterisation of different types of sewage sludge: Policy implications. *Waste Management* 30/3. 492-503.
- Nelson G. P., 1997: Valency. *Journal of Chemical Education* 74/4. 465-470.
- Olejarczyk M., Rykowska I. et Urbaniak W., 2022: Management of Solid Waste Containing Fluoride—A Review. *Materials* 15/10. 23.

McCull J.G. et Pohlman, A.A., 1988. Soluble organics from forest litter and their role in metal dissolution. *Soil Science Society of America Journal* 52/1. 265-271.

Prudil J., 2022: Vliv aplikace digestátu na vývoj fyzikálních vlastností půdy. *Úroda* 8. 83-86.

Raj R. et Murthy S. B. M., 2015: Increasing the Sludge Treatment Efficiency of a Food Processing Industry. *International Research Journal of Engineering and Technology* 2/6. 53-57.

Samolada M. C. et Zabaniotou A. A., 2014: Comparative assessment of municipal sewage sludge incineration, gasification and pyrolysis for a sustainable sludge-to-energy management in Greece. *Waste Management* 34/2. 411-420.

Sanepar, 1999: *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba. 98.

Selvam A. et Wong J. W. C., 2006: Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime. *Chemosphere* 63/6. 980-986.

Singh S. et Suthat S., 2008: Archive of SID Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms. *Journal of Environmental Science and Technology* 5/1. 99-106.

Tchobanoglous G., 1991: *Wastewater engineering : treatment, disposal, and reuse*. McGraw-Hill, New Yourk. 1334.

Werther J. et Ogada T., 1999: Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science* 25/1. 55-116.

Willow Technology Inc., Method for lime stabilization of wastewater treatment plant sludges. Inventor: Wurtz W.O., United States. Patent documents US4306978A. 1981.12.22.

Wu J. et He Ch., 2012: The effect of settlement on wastewater carbon source availability based on respirometric and granulometric analysis. *Chemical Engineering Journal* 189–190. 250-255.

Xue R. M., 2010: Analysis on the disposal of sludge of wastewater treatment plants. *Journal of the Association for Information Science and Technology* 24. 159–162.

Yu Q., Yu S., Wei J., Zhang B., Zhang T. et Zhang W., 2017: Effects of chlorine on the volatilization of heavy metals during the co-combustion of sewage sludge. Waste Management 62. 204-210.

Zinck J., Review of Disposal, Reprocessing and Reuse Options for Acidis Drainage Treatment Sludge. MEND Report 3.42.3. Canada: MEND and CANMET Mining and Mineral Sciences Laboratories. 2005. 68.

## **Legislativní zdroje**

ČSN EN 12457-4 (838005): Charakterizace odpadů – Vyluhování – Ověřovací zkouška vyluhovatelnosti zrnitých odpadů a kalů, Praha 2003. 32.

ČSN ISO 11465: Kvalita půdy – Stanovení hmotnostního podílu sušiny a hmotností vlhkosti půdy – Gravimetrická metoda, Praha 1998. 8.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 98/2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic, v platném znění.

Směrnice Rady 1999/31/EHS o skládkách odpadů, v platném znění.

Směrnice Rady 86/278/EHS o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství, v platném znění.

TNV 75 8090. Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod. Hydroprojekt a.s., Praha, 2015. 18.

Vyhláška č. 8/2021 Sb. o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů), v platném znění.

Vyhláška č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, v platném znění.

Vyhláška č. 398/2016 Sb. o požadavcích na koření, jedlou sůl, dehydratované výrobky, ochucovadla, studené omáčky, dresinky a hořčici, v platném znění.

Vyhláška č. 8/2021 Sb. o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů), v platném znění.

Zákon č. 541/2020 Sb. o odpadech, v platném znění.

## Internetové zdroje

Brinkmann T., Giner-Santonja G., Sancho L. D., Roudier S. et Yükseler H. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector (online). Technical report EUR 28112 EN. Joint Research Centre, 2016. [2023.03.10]. Dostupné z <[https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CWW\\_Bref\\_2016\\_published.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/CWW_Bref_2016_published.pdf)>.

Curley R., 2012: Emissions trading (online) [cit. 2023.03.22], dostupné z <<https://www.britannica.com/technology/emissions-trading/additional-info#history>>.

DEK (online). Vápno nehašené Cemix – produkt. ©2023. [cit. 2023.03.20]. Dostupné z <<https://www.dek.cz/produkty/detail/1620100217-cemix-1000-nehasene-vapno-25kg>>.

Dekonta (online). Laboratorní test solidifikace/stabilizace. ©2017 [cit. 2023.03.10]. Dostupné z <[https://www.dekonta.cz/files/uploads/7\\_Laboratorn%C3%AD-test-stabilizace.pdf](https://www.dekonta.cz/files/uploads/7_Laboratorn%C3%AD-test-stabilizace.pdf)>.

Dohányos M., 2006: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů (online) [cit. 2023.03.21], dostupné z <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>.

DSK stavebniny (online). Vápno bílé, nehašené Cemix – produkt. ©2023. [cit. 2023.03.20]. Dostupné z <<https://www.dskstavebniny.cz/vapno-bile-nehasene-cemix-25-kg-p46680/>>.

EKOSO (online). Ceník skládka seznam odpadů. ©2022. [cit. 2023.02.11]. Dostupné z <<https://www.ekoso.cz/m/sluzby/skladka-odpadu/>>.

Foller J., Hejátková K. et Plotěný K., 2020: Hygienizace čistým kyslíkem a kompostování, bezproblémová řešení kalu z ČOV (online) [cit. 2023.02.26], Dostupné z <<https://vodnihospodarstvi.cz/hygienizace-cistym-kyslikem-a%E2%80%AFkompostovani-bezproblemova-reseni-kalu-z-cov/>>.

Heidelbergcement (online). Balené cementy. Ceník. ©2023 [cit. 2021.02.16]. Dostupné z <<https://www.heidelbergcement.cz/cs/tisk-a-media/dokumenty-ke-stazeni>>.

Kafka Z., 2004: Základy ochrany životního prostředí – část odpady (online) [cit. 2023.03.16], dostupné z <<https://uchop.vscht.cz/files/uzel/0011054/skriptaZOP.doc>>.

Kouřimská L., Molín R., Pánek J., Potůček T. et Raá T. G., 2014: Vitana Food Ingredients - Bílkovinné hydrolyzáty (HVP) – kvalita a bezpečnost (online) [cit. 2023.02.07], dostupné z <[http://www.bujon.cz/wp-content/uploads/2014/11/VFI\\_HVP\\_CZ.pdf](http://www.bujon.cz/wp-content/uploads/2014/11/VFI_HVP_CZ.pdf)>.

Lhoist (online). Wastewater and sludge. ©2023 [cit.2023.03.20], dostupné z <<https://www.lhoist.com/market-segment/wastewater-and-sludge>>.

Lithuanian Ministry of Environment, ©2016: Reikalavimų (kriterijų) iš biologiskai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas (online) [cit. 2023.03.23], dostupné z <[https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/TYRIMAI%20IR%20ANALIZES/0\\_184367001489675205.pdf](https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/TYRIMAI%20IR%20ANALIZES/0_184367001489675205.pdf)>.

LO HANÁ (online). Provozní řád první fáze provozu skládky – Skládky odpadů S-OO3 a S-OO1 Mrsklesy. ©2021. [cit. 2023.02.11]. Dostupné z <<http://lohana.cz/dokumenty-ke-stazeni/>>.

National Lime Association, ©2023: Biosolids and Sludge (online) [cit. 2023.03.10], dostupné z <<https://www.lime.org/lime-basics/uses-of-lime/enviromental/biosolids-and-sludge/>>.

NZIP, 2023: Sodík a chlorid (online) [cit. 2023.03.17], dostupné z <<https://www.nzip.cz/clanek/1144-sodik-a-chlorid>>.

PORTÁL CENIA (online). Oznámení – zařízení k odstraňování nebo k využívání odpadu. ©2007 [cit. 2023.02.11]. Dostupné z <[https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1VMSzM4N19vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/ULK387\\_oznameni.pdf](https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX1VMSzM4N19vem5hbWVuaURPQ18xLnBkZg/ULK387_oznameni.pdf)>.

SUEZ, ©2023: Sludge drying (online) [cit. 2023.03.22], dostupné z <<https://www.suez.com/en/water/sludge-and-by-products-management/sludge-drying>>.

US EPA, 1993: Technical Resource Document Solidification/Stabilization and its Application to Waste Materials (online) [cit. 2021.02.20], dostupné z <<https://www.epa.gov/>>.

US EPA, 1999: Solidification/Stabilization - Resource Guide (online) [cit. 2023.03.10], dostupné z <[https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/solidstab\\_res\\_guide.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/solidstab_res_guide.pdf)>.

Vermikompostování (online). Ceník produktů a služeb. ©2019 [cit.2023.02.26]. Dostupné z <<https://www.vermikompostovani.cz/cenik/>>.

Vitana Food Ingredients (online). Produkty v různých oblastech potravinářského průmyslu a jejich použití. ©2014. [cit. 2023.02.15]. Dostupné z <[http://www.bujon.cz/wp-content/uploads/2014/11/Vitana\\_FI\\_CZ\\_INFO\\_PRODUKTY\\_2014.pdf](http://www.bujon.cz/wp-content/uploads/2014/11/Vitana_FI_CZ_INFO_PRODUKTY_2014.pdf)>.

## **Ostatní zdroje**

Čermák P., Provozní řád pro trvalý provoz – Čistírna odpadních vod. 2018. Interní materiál.

Dekonta. Výsledky analýzy výluhů – protokoly o zkoušce číslo: 2989/O/In/21. [Ústí nad Labem]: 2021. Interní materiál firmy Dekonta.

Dlouhý T. Skládkování odpadů [přednáška]. Praha: ČVUT v Praze, 19.4.2020.

MŽP, 2021: Metodický návod – Nakládání s obsahy bezodtokových jímek odpadních vod. MŽP, Praha, 2 s.

Najmanová P., Metodika laboratorních zkoušek stabilizace, solidifikace, hygienizace. [Dřetovice]: 2018. Interní materiál firmy Dekonta.

Straková I. et Stránská D., Pracovní postup pro Hydrolýzu bílkovinných surovin, neutralizaci, detoxikaci a zpětnou acidifikaci. 2020. Interní materiál.



## 15. Seznam obrázků

Obrázek 1: Vzorec pro výpočet podílu sušiny (ČSN ISO 11465). .....	15
Obrázek 2: Kal se 30% dávkou aditiva DAS B před homogenizací.....	49
Obrázek 3: Kal se 30% dávkou aditiva DAS B během procesu homogenizace. ....	49
Obrázek 4: Kal po homogenizaci se 30% dávkou aditiva DAS B a po přidání 80 ml destilované vody.....	49
Obrázek 5: Hromadný obrázek všech naplněných PVC forem. ....	50
Obrázek 6: Naplněné PVC formy s mísicím poměrem DB 30 před vložením do digestoře. ....	50
Obrázek 7: Vzorek DB 30 po vyjmutí z PVC formy po dvou dnech v digestoři. ....	50
Obrázek 8: Vzorek DB 30 před vložením do třepačky. ....	50
Obrázek 9: Třepačka se vzorky před jejich vyluhováním.....	51
Obrázek 10: Přefiltrování 1 litru výluhu do připravené nádoby k odeslání na analýzu výluhů.....	51

## 16. Seznam tabulek

Tabulka 1: Mísicí poměry. ....	16
Tabulka 2: Stanové nejvyšší přípustné hodnoty pro použití kalů na zemědělské půdě (vyhláška č. 273/2021 Sb.).....	18
Tabulka 3: Rozdělení skládek a souvislost s výluhovými třídami (PORTÁL CENIA ©2007, Dlouhý 2020, vyhláška č. 273/ 2021 Sb., LO HANÁ ©2021, EKOSO ©2022). ....	20
Tabulka 4: Nejvyšší stanovené hodnoty pro jednotlivé výluhové třídy (vyhláška č. 273/2021 Sb.).....	21

Tabulka 5: Výhody a nevýhody způsobů využití potravinářských kalů (Manios 2004, Baldoni et al. 2005, Alpaslan et al. 2007, Appels et al. 2008, Lira et al. 2008, Singh et Suthar et 2008, Adani et al. 2010, Bergmanová et al. 2010, Bernal-Vicente et al. 2010, Dignac et al. 2010, Fernández et al. 2010, Mosquera - Losada et al. 2010, Garg et Yadav 2011, Bennamoun 2012, Blaya et al. 2013, Dai et al. 2013, Chanakya et al. 2013, Fuess et Garcia 2014, Leibold et al. 2018, Arduzzo et al. 2021, Akbor et al. 2023). .....	32
Tabulka 6: Výsledné koncentrace těžkých kovů z příkladů studií procesu stabilizace kalů (Abdel Moniem et al. 2013, Amini et Saeedi 2009, Li et al. 2012). .....	37
Tabulka 7: Výsledky vyluhovacího testu neupraveného potravinářského kalu (Dekonta 2021). .....	48
Tabulka 8: Výpočet podílu sušiny.....	52
Tabulka 9: Výsledky vyluhovacích testů (Dekonta 2021). .....	53

## **17. Seznam příloh**

Příloha 1: Výsledek analýzy výluhů vstupního kalu (Dekonta 2021).....	77
Příloha 2: Výsledek analýzy výluhů vzorku DA 20 (Dekonta 2021). .....	79
Příloha 3: Výsledek analýzy výluhů vzorku DB 20 (Dekonta 2021).....	81
Příloha 4: Výsledek analýzy výluhů vzorku DC 20 (Dekonta 2021).....	83
Příloha 5: Výsledek analýzy výluhů vzorku CA 20 (Dekonta 2021).....	85
Příloha 6: Výsledek analýzy výluhů vzorku CE 20 (Dekonta 2021). .....	87
Příloha 7: Výsledek analýzy výluhů vzorku DA 30 (Dekonta 2021). .....	89
Příloha 8: Výsledek analýzy výluhů vzorku DB 30 (Dekonta 2021).....	91
Příloha 9: Výsledek analýzy výluhů vzorku DC 30 (Dekonta 2021).....	93
Příloha 10: Výsledek analýzy výluhů vzorku CA 30 (Dekonta 2021).....	95
Příloha 11: Výsledek analýzy výluhů vzorku CE 30 (Dekonta 2021). .....	97

## 18. Přílohy

Příloha 1: Výsledek analýzy výluhů vstupního kalu (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



### Protokol o zkoušce číslo: 2991/O/In/21

<b>Zákazník:</b>	DEKONTA, a.s.	<b>Označení vzorku:</b>	SURE – 980 169 (vstup)
<b>Datum odběru vzorku:</b>	22. 12. 2021	<b>Evidenční číslo vzorku:</b>	2991/O/In/21
<b>Datum příjmu vzorku:</b>	27. 12. 2021	<b>Číslo odběrového protokolu:</b>	-
<b>Datum ukončení analýz:</b>	06. 01. 2021	<b>Odběr provedl:</b>	T. Stručovský
<b>Místo provedení zkoušek:</b>	DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.		

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření  $k=2$ , což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

#### Přehled použitých metod

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN FN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 28	ČSN 720102, ČSN ISO 11465, ČSN CEN ISO/TS 17892-1, ČSN EN 14346, ČSN 465735
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

## Protokol o zkoušce číslo: 2991/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (vstup)								
Matrice:	Výluh připraven dle ČSN EN 12457-4								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	217	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl)	385	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F)	<0,2		mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1 690	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	0,0058	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,017	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0014	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,0086	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,0096	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	0,065	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>105°C</sub>	4 900	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	8,21	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A
Sušina	13,4	±10 %	% hmot.	SOP č. 28	-	-	-	-	A

### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

### Konec v protokolu

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner



Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Příloha 2: Výsledek analýzy výluhů vzorku DA 20 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2981/O/In/21**

**Zákazník:** DEKONTA, a.s. **Označení vzorku:** SURE – 980 169 (DA-20)

**Datum odběru vzorku:** 22. 12. 2021 **Evidenční číslo vzorku:** 2981/O/In/21

**Datum příjmu vzorku:** 27. 12. 2021 **Číslo odběrového protokolu:** -

**Datum ukončení analýz:** 06. 01. 2021 **Odběr provedl:** T. Stručovský

**Místo provedení zkoušek:** DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření  $k=2$ , což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

## Protokol o zkoušce číslo: 2981/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (DA-20)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	172	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	82,9	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	<0,2		mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	482	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	0,015	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,031	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0023	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,0060	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	0,016	±15 %	mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,032	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	0,014	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	0,013	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0,029	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	1 040	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	7,51	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

### Konec v protokolu

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítka a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2

Příloha 3: Výsledek analýzy výluhů vzorku DB 20 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2982/O/In/21**

**Zákazník:** DEKONTA, a.s. **Označení vzorku:** SURE – 980 169 (DB-20)

**Datum odběru vzorku:** 22. 12. 2021 **Evidenční číslo vzorku:** 2982/O/In/21

**Datum příjmu vzorku:** 27. 12. 2021 **Číslo odběrového protokolu:** -

**Datum ukončení analýz:** 06. 01. 2021 **Odběr provedl:** T. Stručovský

**Místo provedení zkoušek:** DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření k=2, což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)



## Protokol o zkoušce číslo: 2982/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (DB-20)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	767	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	98,8	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	0,203	±10 %	mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	249	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,035	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0039	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,529	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,080	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	0,0011	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	0,0078	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	0,0098	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0,048	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	2 270	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	10,4	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

### Konec v protokolu



Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2



Příloha 4: Výsledek analýzy výluhů vzorku DC 20 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2983/O/In/21**

**Zákazník:** DEKONTA, a.s. **Označení vzorku:** SURE – 980 169 (DC-20)

**Datum odběru vzorku:** 22. 12. 2021 **Evidenční číslo vzorku:** 2983/O/In/21

**Datum příjmu vzorku:** 27. 12. 2021 **Číslo odběrového protokolu:** -

**Datum ukončení analýz:** 06. 01. 2021 **Odběr provedl:** T. Stručovský

**Místo provedení zkoušek:** DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření  $k=2$ , což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

**Protokol o zkoušce číslo: 2983/O/In/21**
**Výsledky zkoušek:**

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (DC-20)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	209	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	93,7	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	0,316	±10 %	mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	<5		mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	0,028	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,017	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0016	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,015	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	0,0071	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	0,0061	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0,059	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	2 590	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	7,94	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A
<b>Vyhodnocení:</b>									
Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.									

**Konec v protokolu**

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2

Příloha 5: Výsledek analýzy výluhů vzorku CA 20 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2984/O/In/21**

**Zákazník:** DEKONTA, a.s. **Označení vzorku:** SURE – 980 169 (CA-20)

**Datum odběru vzorku:** 22. 12. 2021 **Evidenční číslo vzorku:** 2984/O/In/21

**Datum příjmu vzorku:** 27. 12. 2021 **Číslo odběrového protokolu:** -

**Datum ukončení analýz:** 06. 01. 2021 **Odběr provedl:** T. Stručovský

**Místo provedení zkoušek:** DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření  $k=2$ , což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

**Protokol o zkoušce číslo: 2984/O/In/21**
**Výsledky zkoušek:**

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (CA-20)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	503	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	57,1	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	<0,2		mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	<5		mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,045	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0016	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,233	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	0,025	±15 %	mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,051	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	0,0069	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	0,0097	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	2 285	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	12,4	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

**Vyhodnocení:**

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

**Konec v protokolu**

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2

Příloha 6: Výsledek analýzy výluhů vzorku CE 20 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2985/O/In/21**

**Zákazník:** DEKONTA, a.s. **Označení vzorku:** SURE – 980 169 (CE-20)

**Datum odběru vzorku:** 22. 12. 2021 **Evidenční číslo vzorku:** 2985/O/In/21

**Datum příjmu vzorku:** 27. 12. 2021 **Číslo odběrového protokolu:** -

**Datum ukončení analýz:** 06. 01. 2021 **Odběr provedl:** T. Stručovský

**Místo provedení zkoušek:** DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření  $k=2$ , což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

## Protokol o zkoušce číslo: 2985/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (CE-20)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	762	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	103	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	0,302	±10 %	mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	355	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	0,0052	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,090	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,027	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,795	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,109	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0,036	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	2 330	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	11,1	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

#### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

#### Konec v protokolu

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2

Příloha 7: Výsledek analýzy výluhů vzorku DA 30 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2986/O/In/21**

<b>Zákazník:</b>	DEKONTA, a.s.	<b>Označení vzorku:</b>	SURE – 980 169 (DA-30)
<b>Datum odběru vzorku:</b>	22. 12. 2021	<b>Evidenční číslo vzorku:</b>	2986/O/In/21
<b>Datum příjmu vzorku:</b>	27. 12. 2021	<b>Číslo odběrového protokolu:</b>	-
<b>Datum ukončení analýz:</b>	06. 01. 2021	<b>Odběr provedl:</b>	T. Stručovský
<b>Místo provedení zkoušek:</b>	DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.		

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření k=2, což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)



**Protokol o zkoušce číslo: 2986/O/In/21**
**Výsledky zkoušek:**

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (DA-30)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	211	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	83,1	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	0,331	±10 %	mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1 060	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	0,018	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,041	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0016	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,016	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	0,002	±15 %	mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,034	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	0,015	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	0,0065	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0053	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	1 430	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	8,66	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

**Vyhodnocení:**

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

**Konec v protokolu**

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

  
 Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2



Příloha 8: Výsledek analýzy výluhů vzorku DB 30 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2987/O/In/21**

<b>Zákazník:</b>	DEKONTA, a.s.	<b>Označení vzorku:</b>	SURE – 980 169 (DB-30)
<b>Datum odběru vzorku:</b>	22. 12. 2021	<b>Evidenční číslo vzorku:</b>	2987/O/In/21
<b>Datum příjmu vzorku:</b>	27. 12. 2021	<b>Číslo odběrového protokolu:</b>	-
<b>Datum ukončení analýz:</b>	06. 01. 2021	<b>Odběr provedl:</b>	T. Stručovský
<b>Místo provedení zkoušek:</b>	DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.		

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření  $k=2$ , což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

## Protokol o zkoušce číslo: 2987/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (DB-30)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	444	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	50,8	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	<0,2		mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	96,2	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,041	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0025	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,249	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,066	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	0,0055	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	0,0052	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0,015	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	1 245	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	11,0	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

### Konec v protokolu

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2

Příloha 9: Výsledek analýzy výluhů vzorku DC 30 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2988/O/In/21**

**Zákazník:** DEKONTA, a.s. **Označení vzorku:** SURE – 980 169 (DC-30)

**Datum odběru vzorku:** 22. 12. 2021 **Evidenční číslo vzorku:** 2988/O/In/21

**Datum příjmu vzorku:** 27. 12. 2021 **Číslo odběrového protokolu:** -

**Datum ukončení analýz:** 06. 01. 2021 **Odběr provedl:** T. Stručovský

**Místo provedení zkoušek:** DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření  $k=2$ , což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

## Protokol o zkoušce číslo: 2988/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (DC-30)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	168	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	83,3	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	0,395	±10 %	mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	<5		mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	0,031	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,021	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0024	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,0057	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,022	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	0,012	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	0,0070	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0,062	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	2 850	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	8,27	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

### Konec v protokolu

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2

Příloha 10: Výsledek analýzy výluhů vzorku CA 30 (Dekonta 2021).



**DEKONTA, a.s. - Laboratoř Ústí nad Labem**  
Zkušební laboratoř č. 1240 akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



**Protokol o zkoušce číslo: 2989/O/In/21**

<b>Zákazník:</b>	DEKONTA, a.s.	<b>Označení vzorku:</b>	SURE – 980 169 (CA-30)
<b>Datum odběru vzorku:</b>	22. 12. 2021	<b>Evidenční číslo vzorku:</b>	2989/O/In/21
<b>Datum přijmu vzorku:</b>	27. 12. 2021	<b>Číslo odběrového protokolu:</b>	-
<b>Datum ukončení analýzy:</b>	06. 01. 2021	<b>Odběr provedl:</b>	T. Stručovský
<b>Místo provedení zkoušek:</b>	DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem, Podhoří 328/28, 400 10 Ústí n/L.		

Index: A – zkouška v rozsahu osvědčení, N – zkouška mimo rozsah osvědčení, EP – výsledky zajištěny prostřednictvím akreditovaného externího poskytovatele, f – akreditovaná zkouška byla modifikována v rámci flexibilního rozsahu akreditace. Výsledky zkoušek uvedené v protokolu se týkají pouze vzorků uvedených v tomto protokolu a nenahrazují jiné dokumenty. Protokol o zkoušce nesmí být bez písemného souhlasu DEKONTA, a.s. – Laboratoř Ústí nad Labem reprodukován jinak než celý. Nejistota stanovení byla stanovena jako kombinovaná nejistota s koeficientem rozšíření k=2, což odpovídá hladině spolehlivosti 95 %. Nejistoty měření se pro účely posuzování shody nezohledňují. Uvedená nejistota nezahrnuje nejistotu vzorkování. Způsob výpočtu parametrů uvedených jako suma je k dispozici na vyžádání v laboratoři. Pokud je na protokolu o zkoušce v části "Odběr provedl:" uvedeno „Zákazník“, pak platí, že výsledky se vztahují ke vzorku, tak jak byl přijat do laboratoře.

**Přehled použitých metod**

SOP č. 01	ČSN ISO 10523, ČSN EN 12176, ČSN ISO 10390
SOP č. 06 postup A	ČSN 757346
SOP č. 17	ČSN ISO 10359-1, ČSN ISO 10359-2
SOP č. 25	ČSN 757440
SOP č. 30 postup A	ČSN EN 1484, manuál firmy ELEMENTAR
SOP č. 71 postup A	ČSN EN ISO 15587-1, ČSN EN ISO 15587-2, ČSN EN ISO 11885, EPA method 200.7, ČSN 757358, manuál a aplikační listy firmy Spectro
SOP č. 83	US EPA 325.1
SOP č. 84	US EPA 375.4

Stránka 1 z 2

sídlo laboratoře: Podhoří 328/28, 400 10 Ústí nad Labem  
tel/fax: +420 475 511 635; e-mail: laborator.usti@dekonta.cz  
[www.dekonta.cz](http://www.dekonta.cz)

## Protokol o zkoušce číslo: 2989/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (CA-30)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	354	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	44,2	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1500	1500	5000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	<0,2		mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	20,1	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3000	2000	5000	A
Arsen (As)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,029	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,0014	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,172	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,034	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	1 650	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	12,1	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A

### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

### Konec v protokolu

Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2





## Protokol o zkoušce číslo: 2990/O/In/21

### Výsledky zkoušek:

Označení vzorku:	SURE – 980 169 (CE-30)								
Matrice:	výluh								
Parametr	Výsledek	Nejistota stanovení	Jednotky	Použitá metoda	Limit dle 273/2021, příloha č. 10				Index
					I	IIA	IIB	III	
DOC	3 140	±10 %	mg/l	SOP č. 30 postup A	50	80	80	100	A
Chloridy (Cl <sup>-</sup> )	136	±10 %	mg/l	SOP č. 83	80	1 500	1 500	5 000	A
Fluoridy (F <sup>-</sup> )	<0,2		mg/l	SOP č. 17	1	30	15	50	A
Sírany (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	352	±10 %	mg/l	SOP č. 84	100	3 000	2 000	5 000	A
Arsen (As)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	2,5	0,2	2,5	A
Baryum (Ba)	0,180	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	2	30	10	30	A
Kadmium (Cd)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,004	0,5	0,1	0,5	A
Chrom (Cr <sub>celkový</sub> )	0,032	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	7	1	7	A
Měď (Cu)	0,230	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,02	10	5	10	A
Rtuť (Hg)	<0,001		mg/l	SOP č. 25	0,001	0,2	0,02	0,2	A
Nikl (Ni)	0,050	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,04	4	1	4	A
Olovo (Pb)	<0,001		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	5	1	5	A
Antimon (Sb)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,006	0,05	0,07	0,5	A
Selen (Se)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,01	0,7	0,05	0,7	A
Zinek (Zn)	<0,005		mg/l	SOP č. 71 postup A	0,4	20	5	20	A
Molybden (Mo)	0,023	±10 %	mg/l	SOP č. 71 postup A	0,05	3	1	3	A
RL <sub>(105°C)</sub>	1 885	±10 %	mg/l	SOP č. 06 postup A	400	8 000	6 000	10 000	A
pH	8,56	±0,05	-	SOP č. 01	-	≥6	≥6	-	A
Sušina		±10 %	% hmot.	SOP č. 28	-	-	-	-	A

### Vyhodnocení:

Výsledky rozborů nevyhovují limitům uvedeným ve vyhlášce MŽP 273/2021 Sb. příloha č. 10, pro výluhovou třídu: III.

### Konec v protokolu



Schválil: vedoucí zkušební laboratoře Mgr. Karel Sottner

Razítko a podpis

V Ústí nad Labem dne: 07. 01. 2022

Stránka 2 z 2