



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV CHEMIE

INSTITUTE OF CHEMISTRY

OPTIMALIZACE DÁVKOVÁNÍ CHEMIKÁLIÍ PŘI ODVODŇOVÁNÍ KALU

CHEMICAL DOSING OPTIMALISATION DURING BY WASTEWATER SLUDGE DEWATERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kristína Pániková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL HRICH, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav chemie

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kristína Pániková
Název	Optimalizace dávkování chemikálií při odvodňování kalu
Vedoucí práce	Ing. Karel Hrich, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

doc. Ing. Jitka Malá, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Zábranská J. 2007. Laboratorní metody v technologii vody.

Horáková M. 2000. Analytika vody.

Další literatura dle vlastní literární rešerše.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je zjistit, zda je možné kombinací dávky síranu železitého a flokulantu dosáhnout stejného nebo lepšího stupně odvodnění než pouze flokulantem.

Studentka bude provádět experimenty s reálným kalem z několika vybraných ČOV v Jihomoravském kraji. Pro každý kal zjistí vhodný flokulant a testováním stanoví jeho optimální dávku pro odvodňování. Následně provede sérii pokusů, kdy částečně nahradí tuto optimální dávku síranem železitým a porovná výsledky s výsledky s optimální dávkou.

Výstupem práce budou vyhodnocené výsledky v tabelární a grafické podobě.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Karel Hrich, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá optimálním stanovením dávky chemikálie při odvodňování kalu. Práce má dvě části, praktickou a teoretickou. Teoretická část obsahuje základní informace o zahušťování, destabilizaci a stabilizaci, flokulantech, metodách měření a výsledném zpracování kalů. Zhodnocení laboratorních měření a prezentace výsledků se nacházejí v praktické části.

KLÍČOVÁ SLOVA

flokulanty, čistírenský kal, flokulace, destabilizace, CST, koagulanty

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with chemical dosing optimisation during by wastewater sludge dewatering. The thesis has two parts, practical and theoretical. Theoretical part contains basic information about thickening, destabilization and stabilization, flocculants, methods of measurement and final sludge treatment. The evaluation of laboratory measurements and presentation of the results are in the practical part.

KEYWORDS

flocculants, sewage sludge, flocculation, destabilization, CST, coagulants

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Kristína Pániková *Optimalizace dávkování chemikálií při odvodňování kalu*. Brno, 2017. 34 s., 18 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav chemie. Vedoucí práce Ing. Karel Hrich, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2017

Kristína Pániková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce Ing. Karlovi Hrichovi Ph.D., za odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce. Poděkování patří i firmě Kemifloc a její zaměstnankyni paní Ing. Novotné, která ochotně zapůjčila potřebné vybavení a byla nápomocná při praktické části.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	CHARAKTERISTIKA KALU, ZAHUŠŤOVÁNÍ A ODVODŇOVÁNÍ.....	4
2.1	Charakteristika kalu.....	4
2.2	Zahušťování a odvodňování.....	4
3	STABILIZACE A DESTABILIZACE.....	7
3.1	Koagulace, flokulace	8
4	KOAGULANTY	10
4.1	Kovové koagulanty.....	10
4.1.1	Síran železitý	10
4.2	Polymery	11
4.2.1	Organické flokulanty.....	11
5	METODY MĚŘENÍ	13
5.1	Capillary suction time CST.....	13
5.1.1	Měření CST a vyhodnocení výsledků	13
5.2	Filtrační test.....	15
5.2.1	Měření a vyhodnocení filtračního testu	15
5.3	AUTOMATICKÉ SUŠÍCÍ VÁHY	16
5.3.1	Měření a vyhodnocení stanovení sušiny.....	16
6	VYUŽITÍ A ZNEŠKODNENÍ KALŮ.....	17
6.1	Využití kalu ke hnojení zemědělské půdy	17
6.2	Spalování kalu	19
6.3	Skládkování kalu.....	19
6.4	Termochemické procesy	19
7	VÝSLEDKY A DISKUSE	21
7.1	Charakteristika ČOV	21
7.1.1	Anaerobní ČOV	21
7.1.2	Aerobní ČOV	22
7.2	Průběh filtračních testů A CST	22
7.2.1	Anaerobní ČOV	23
7.2.1	Aerobní ČOV	24

7.3	Sušina	24
7.3.1	Anaerobní ČOV	24
7.3.2	Aerobní ČOV	25
8	ZÁVĚR.....	27
9	POUŽITÁ LITERATURA	28
	SEZNAM TABULEK	30
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	31
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	32
	SEZNAM PŘÍLOH.....	33
	SUMMARY.....	34

1 ÚVOD

Bakalářská práce má teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá zahuštěním a odvodňováním kalů, koagulanty, koagulací, flokulací, metodami měření a následným zpracováním kalů.

Praktická část obsahuje výsledky a vyhodnocení optimální dávky chemikálie do kalu. Použité chemikálie jsou organické flokulanty Superfloc C-496 HMW, C-494 HMW a C-2260. Vzorky byly odebrány na čistírnách odpadních vod. Tři odebrané vzorky jsou aerobně stabilizované kaly (Ledce, Moravany, Silůvky) a tři anaerobně stabilizované (Hodonín, Brno, Břeclav). Vyhodnocení proběhlo v laboratoři ústavu chemie s použitím metody CST a filtračním testem.

Z každého kalu byl odebrán vzorek na stanovení sušiny. Pro kaly byly stanoveny optimální dávky flokulantů. Optimální dávka byla nadávkována do 250 ml kalu a následně proběhlo CST a filtrační test.

V druhém kroku se k optimální dávce flokulantu přidával síran železitý (PIX 113). Dávky síranu železitého se postupně zvětšovali a zkoumal se vliv dávky pomocí CST a filtračního testu. U vybraných vzorků se z koláče odebrala část určena k stanovení sušiny.

2 CHARAKTERISTIKA KALU, ZAHUŠŤOVÁNÍ A ODVODŇOVÁNÍ

2.1 CHARAKTERISTIKA KALU

Kal je hlavní odpadní produkt pocházející z procesu čištění odpadních vod. Každá znečištěná voda má v závislosti na svém původu charakteristické složení, dané množstvím a druhem toxických látek, patogenních organismů a těžkých kovů. Aby se zabránilo ohrožení zdraví lidí i dopadům na životní prostředí, je nutné snížit množství těchto látek na minimum. [1]

Čistírny odpadních vod se vyznačují objemnými, želatinovými kaly, které jsou obecně rezistentní k zahušťování a odvodňování, zejména kaly s nízkým zákalem. Tyto kaly jsou obecně stlačitelné tak, že rostoucí tlak použitý během odvodňování, přináší vyšší odpor k filtraci. Takovéto kaly jsou tixotropní, v klidovém stavu se zdají pevné, ale při míchání se stávají tekutými. [2]

Kaly tvoří cca 1 – 2 % objemu čištěných odpadních vod, obsahují však 50 – 80 % původního znečištění. Kal je disperzní systém, který obsahuje látky rozpuštěné, koloidní i suspendované, ale většinou látky suspendované. Zpravidla v něm obsah vody převyšuje obsah pevných látek. [3]

Složení kalu je vždy specifické a odvíjí se od charakteru odpadní vody, ale obvykle je v něm zastoupeno těchto 5 skupin látek:

- a) netoxické sloučeniny uhlíku, dusíku a fosforu
- b) toxické prvky a sloučeniny:
Zn, Pb, Cu, Hg, As, Cd, Cr, Ni, PCBs, PAHs, dioxiny, pesticidy, alkyl-sulfonáty apod.
- c) patogenní mikroorganismy
- d) anorganické sloučeniny hliníku, vápníku, hořčíku a křemíku
- e) voda, která může tvořit více než 95 % objemu kalu [1]

2.2 ZAHUŠŤOVÁNÍ A ODVODŇOVÁNÍ

Zahušťování stabilizovaného kalu je potřebným mezistupněm před jeho odvodněním, ale je i účelným opatřením pro snížení objemu před stabilizací kalu odváděného z mechanického nebo biologického stupně ČOV. [4]

Pokud se separace vody děje gravitačními silami (nebo silami mírně zvýšenými), mluvíme o zahušťování. Koncentrace sušiny bývá u něj obvykle 5 až 10 %. Nejběžnějším způsobem zahušťování kalu je sedimentace. Dochází k ní v usazovacích a dosazovacích nádržích. Kal odvodněný z těchto nádrží obsahuje přesto značné množství vody, kterou lze oddělit zahuštěním v samostatných zahušťovacích nádržích, provozovaných obvykle diskontinuálně v pracovních cyklech: napouštění kalové suspenze - zahuštění sedimentací – odvodnění vody a kalu. Někdy slouží k zahušťování kalu i čerpací jímky. Zahušťovací nádrže je vhodné opatřit míchadly, která při pomalém pohybu přispívají k dokonalejšímu zahuštění suspenze. [4]

Druhou možností, jak využít gravitační síly k zahušťování kalu, je flotace. Je to proces oddělování suspendovaných částic z vody za působení plynu. Do kalové suspenze je dodáván plyn, nejčastěji vzduch, který tvoří mikrobublinky. Ty se nabalují na kalové částice a vynášejí je k hladině, kde tak vzniká zahuštěná plovoucí vrstva – vzos (float). Vyflotovaný zahuštěný kal má charakter husté kalové pěny, která se z hladiny odebírá stíráním nebo nasáváním a je poměrně dobře čerpatelná. V praxi se používá tlaková nebo volná flotace. K tlakové flotaci je třeba instalovat tlakovou nádrž, kde se kal sytí vzduchem pod tlakem. Při volné flotaci (disperzní vzdušné flotaci) je do flotační nádrže za normálního tlaku vháněn vzduch, a to ve formě jemnobublinové nebo mechanické aerace. [3]

Za stabilizací kalu je zaraženo odvodňování a slouží k dalšímu podstatnému snížení obsahu vody v kalu a tedy i celkového objemu kalu. Výsledkem odvodnění je kal s obsahem sušiny 20 – 50 %, pevné rýpatelné konzistence, se kterým je možno zacházet jako se zeminou (nakládání pomocí nakladačů, transport v otevřených nákladních automobilech apod.). Vzhledem k tomu, že finální zpracování kalu bývá často finančně náročné, je vhodné provádět redukcii objemu stabilizovaného kalu pomocí odvodnění, čímž se sníží náklady na likvidaci kalu. Odvodňování může být přirozené nebo strojní. Přirozené odvodňování kalu se provádí na kalových polích a lagunách, strojní pomocí lisů, kalolisů a dekantačních odstředivek. [3]

Kalová pole jsou otevřené mělké nádrže s betonovým dnem pokrytým vrstvou šterkopísku. V této vrstvě je zabudovaná drenáž, odvádějící odseparovanou vodu z kalu. Do nádrže se vypouští stabilizovaný kal ve vrstvě 20 – 40 cm, který je odváděn jednak vsakováním vody do drenážní vrstvy a jednak výparem. Po dosažení požadovaného odvodnění je kal nakladači odebrán a transportován k finálnímu zpracování. Kalové laguny jsou otevřené hlubší zemní nádrže, do nichž se napouští stabilizovaný kal o hloubce asi 0,7 – 1,5 m. Odvodnění probíhá především díky odpařování vody z hladiny, v menší míře se uplatňuje vsakování. Tento proces je ještě více časově náročný než u kalových polí, cyklus může trvat i jeden rok. [3]

Výhodou strojního způsobu odvodnění oproti přirozenému způsobu jsou podstatně nižší stavební náklady, menší nároky na zábor půdy a nezávislost na klimatických podmínkách. Odvodnění se při tomto způsobu dosáhne filtrací suspenze za působení tlaků nebo v gravitačním poli za podstatného zvýšení gravitačních sil. Nezbytným požadavkem je předúprava kalu, zpravidla dávkováním kationtových organických flokulantů v množství cca 4 až 6 g na 1 kg sušiny. Výkony odvodňovacích zařízení bývají obvykle řadově v jednotkách $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. [4]

Na principu filtrace pracují sítopásové lisy a vakuové filtry (na městských ČOV již prakticky nepoužívané, pracují na principu podtlaku). Nejběžnější vakuový filtr je bubnový. Buben má plášť z děrovaného plechu, na kterém je ovinuta filtrační plachetka. Vnitřní část bubnu je rozdělena na část nasávací, v níž je udržován velmi nízký tlak a část odstraňování koláče, kde je pomocí tlakového vzduchu nebo vody oddělován koláč z plachetky. [5]

Kalolisy nebo také tlakové komorové lisy pracují na principu tlakové filtrace s přerušovaným provozem. Zařízení sestává z určitého počtu filtračních desek, které jsou obaleny filtračními plachetkami. Při plnění kalolisu se filtrační desky od sebe oddálí a vytvoří tak komory, do kterých je přiváděn stabilizovaný kal smíchaný s flokulantem. Při zapnutí takového režimu jsou tyto komory stlačovány, voda je filtrována přes plachetky jako tzv. filtrát a odváděna. Vyvinutý tlak bývá 1 – 1,6 MPa. V komorách zůstává odvodněný kal, který po uvolnění tlaku a opětovném oddálení filtračních desek odpadá gravitační silou jako tzv. kalový koláč. Provozním problémem bývá často přilnutí kalového koláče k plachetce. Po každém cyklu se kalolis očistí a po očištění je připraven k napuštění další dávky kalu. Po několika měsících provozu je nutno provést pečlivé praní plachetek mimo lis. Odvodněný kal má poměrně vysoký obsah sušiny kalu 35 – 45 %. Kalolisy nejsou příliš náročné na prostor, ale mají vysoké investiční náklady a velké požadavky na obsluhu. [3]

Z odstředivek se pro odvodňování kalů městských ČOV užívají nejvíce dekantační typy. U těchto zařízení se využívá působení odstředivé síly v rotačním poli válcového bubnu s kónickým zakončením a horizontální osou. Rychlost otáček bývá 1000 až 4000 za minutu, přičemž se dosahuje zrychlení 750 až 2000 g. Uvnitř bubnu odstředivky je souosý šnek, který se otáčí odlišnou rychlostí, přičemž vyhrnuje odvodněný kal z prostoru odstředivky, zatímco voda (fugát) je odváděna na jejím druhém konci. Výhodou odstředivek je provoz bez kontaktu kalu s okolím včetně obsluhy. Jejich nevýhody spočívající v nižším stupni odvodnění kalu, který se při sušině kolem 20 % v průběhu jeho uskladnění na deponii roztékal, se podařilo vyřešit konstrukčními úpravami a použitím vhodných flokulantů. Stávajícím zařízením lze docílit odvodnění přes 25 %. V současné době je na našich městských ČOV použití dekantačních odstředivek pro odvodnění kalů preferováno. [4]

Zahušťovací i odvodňovací vlastnosti kalu lze zlepšit přidávkem vhodných polymerních flokulantů. Pokusy na poloprovozním zařízení jsou nákladné a náročné na čas, zvláště má-li se určit optimální dávka polymerního flokulantu. Po této stránce je výhodná metoda CST (Capillary Suction Time), založená na principu měření rychlosti kapilárního sání kapalného CST ze vzorku kalu do filtračního papíru. Výhodou je, že jedno měření trvá řádově jen minuty, přičemž potřebné množství vzorku je velmi malé (5 - 10 ml). Metoda CST v případě aplikace polymerních flokulantů umožní podstatně omezit rozsah měření přímo na zařízeních. Pro navrhování vlastního zařízení je ovšem rozhodující pokus na poloprovozním nebo modelovém zařízení. [6]

3 STABILIZACE A DESTABILIZACE

Materiál ve vodách a v odpadních vodách pochází z eroze půdy, rozpuštěných minerálů, rozpadu vegetace, domácích a průmyslových odpadních vod. Pro dané vody může tento materiál obsahovat suspendované a / nebo rozpuštěné organické a / nebo anorganické látky a biologické formy, jako jsou bakterie, řasy a viry. Jak je vidět v tab. 3.1 velká část suspendovaného materiálu je ve vodě a odpadní vodě přítomná v rozmezí mikroskopické až submikroskopické velikosti. Částice menší než přibližně 10^{-5} mm se označují jako koloidy. [2]

Tab. 3.1 Klasifikace velikosti částic [2]

Velikost částic (mm)	Klasifikace	Příklady	Celková plocha povrchu (m^2/cm^3)	Čas potřebný k usazení 100 mm, při měrné hmotnosti = 2,65
10	Hrubá disperze (viditelné okem)	Štěrk, hrubý písek, minerální látky, vysrážené a	6×10^{-4}	0,1 sekundy
1		flokulované částice, bahno, makroplankton	6×10^{-3}	1 sekunda
10^{-1}	Jemné částice disperze (viditelné pod mikroskopem)	Minerální látky, vysrážené a flokulované částice, bahno, bakterie, plankton a jiné organismy	6×10^{-2}	13 sekund
10^{-2}			0,6	11 minut
10^{-3}			6	20 hodin
10^{-4}			60	80 dnů
10^{-5}	Koloidní disperze (submikroskopické)	Minerální látky, produkty hydrolyzy a vysrážení, makromolekuly, biopolymery, viry	600	2 roky
10^{-6}			6000	20 let
$<10^{-6}$	Roztok	Jednoduché anorganické a komplexní ionty, molekulární a polymerní látky, polyelektrolyty, organické molekuly, nedisociované rozpuštěné látky		

Koloidní materiál obsahuje minerální látky, malé shluky sraženin, vločkovité látky, bahno, bakterie, plankton, viry, biopolymery a makromolekuly. Materiál menší než přibližně 10^{-6} mm se označuje jako roztok. Tento materiál obsahuje anorganické jednoduché a komplexní ionty, molekuly, polymerní látky, polyelektrolyty, organické molekuly, nedisociované rozpuštěné látky a malé agregáty. [2]

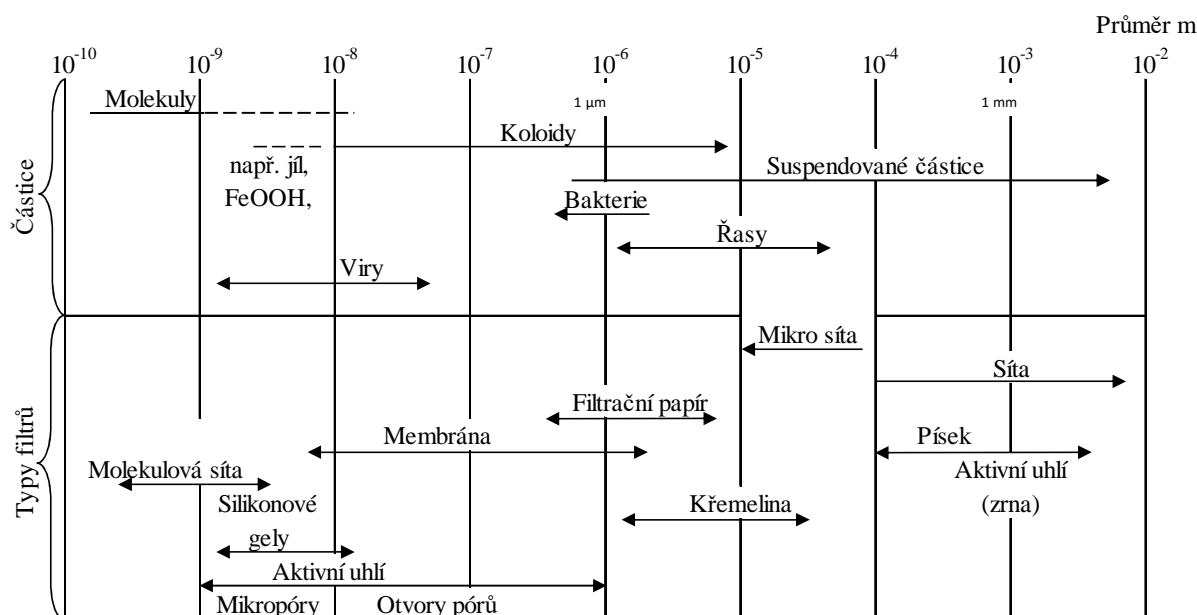
Částice koloidních nebo menších rozměrů jsou schopny udržet se v dispergovaném stavu, vzhledem k některým základním vlastnostem, které podporují jejich stabilitu. Pojem stabilita označuje schopnost částic, které mají zůstat jako nezávislé entity v dané disperzi. [2]

Všechny částice v kapalném prostředí mají určité vlastnosti spojené s mezifázovými jevy. Takové jevy zahrnují účinky povrchového náboje neseného částicemi a stupeň hydratace povrchových vrstev částice. [2]

Schopnost existovat jako stabilní disperze mají koloidy vzhledem k převažujícím vlivům povrchových jevů, koloidy mají obrovské plochy v poměru k hmotnosti. Pro názornost, tab. 3.1 prezentuje celkovou plochu pro původní částici o průměru 10 mm, která je rozdělena do sfér postupně menších průměrů. Vzhledem k tomu, že se velikost částice postupně zmenšuje, celková plocha se stává extrémně velkou pro danou celkovou hmotnost částice. Z tohoto

důvodu je zřejmé, že pro danou celkovou hmotnost platí, že čím menší částice tím více převládají vlivy gravitačních účinků spojených s hmotou. Jevy, jako jsou tepelné konvekční proudy uvnitř dispergačního prostředí, molekulární a iontové ostřelování, slouží k účinnému trvalému udržení částic v suspenzi. Jak vyplývá s tab. 3.1, s ohledem na samotné hydrodynamické účinky, je potřebné pro usazení koloidního materiálu značná vzdálenost až několik let. [2]

Je možné, že koloidní částice mohou být odstraněny z disperzí i jiným způsobem, namísto spolehnutí se na gravitační účinky. Takové metody zahrnují adsorpci a fyzikální napětí. Obr. 3.1 znázorňuje různé typy filtrů, které mohou být použité pro různé velikosti rozptýleného materiálu. Vzhledem k velkým objemům při úpravě vody a čištění odpadních vod, přímou adsorpcí nebo filtrací pomocí daného typu filtru není obecně ekonomicky výhodné, i když mohou existovat výjimky. [2]



Obr. 3.1 Spektrum velikostí vodních částic a pórů filtru (podle Stumm, 1977) [2]

Z předešlého textu vyplývá, že oddělení jemných částic, koloidního nebo rozpuštěného materiálu z disperze nebo rozpouštědla je možné. Tyto postupy můžou být:

- změna povrchových vlastností částic materiálu, čímž se zvyšuje absorptivita částic pro dané filtrační prostředí, nebo se vytvoří tendence k agregaci menších částic do větších celků,
- sražený materiál se rozpustí a tím vytvoří částicový materiál, který je možné oddělit sedimentací a/nebo filtrací. [2]

3.1 KOAGULACE, FLOKULACE

Hlavním úkolem úpravy kalů je zvýšit velikost částic kalu spojováním částic do velkých agregátů. Protože kalové částice jsou v kyselém či neutrálním prostředí negativně nabity, spíše se odpuzují, než vzájemně přitahují. Úprava kalu je proto potřebná k tomu, aby se

překonal efekt elektrostatického odpuzování částic, aby se mohly vzájemně dotýkat a zvyšovat tak svou velikost. [3]

Koagulace je proces, jímž může být daný stabilizovaný systém destabilizován. Projev destabilizace závisí na konkrétním systému. Například, v případě disperzních suspenzí nebo roztoků dochází k tvorbě viditelných vloček nebo sraženiny. V případě vysoce koncentrovaných suspenzí jako kaly dochází k odvodnění. [2]

Druhý krok flokulace je vlastně shlukování koloidních a jemně suspendovaných látek po koagulaci v důsledku mírného míchání. Jestliže je však flokulující kal vystaven střihovým silám, může docházet k rozpadu vznikajících vloček. Z tohoto důvodu musí míchání vnést jen tolik energie, kolik je zapotřebí k rozptýlení použitého činidla v upravovaném kalu a k zajištění potřebného kontaktu menších částic tak, aby mohli vytvořit větší vločky. [3]

Odpadní vody obsahují různý materiál, od jílových částic přes různé biologické formy k roztokům. Každá látka potřebuje určité podmínky pro optimální odstranění, což představuje značné obtíže, jak systém optimalizovat, tak i problém s kontrolou koagulačních a flokulačních procesů. [2]

Optimalizace je ovlivněna vlastnostmi obsažených látek, druhem koagulantu, který může být použitý a způsobem jakým se koagulant přidá do vody. Kombinace těchto faktorů, vlastností vytvořených vloček, včetně rozsahu vyvolaných rychlostních gradientů, mohou ovlivnit optimalizaci. Řízení je do značné míry ovlivněno změnami v kvalitě vody v případě, kdy je přítomen velký počet obsažených látek a jejich relativní koncentrace. [2]

Komplikace spojené s koagulací a flokulací, které jsou uvedené výše, jsou neúčinněji překonány s podporou racionálního pochopení obou jevů a jejich vzájemné závislosti. [2]

4 KOAGULANTY

U destabilizace (koagulace) se můžeme setkat kromě neutralizace náboje i s jinými mechanismy. Tyto mechanismy mohou v některých případech převažovat a jsou podporovány jinými koagulanty než těmi, které mohou být popsány jako jednoduché elektrolyty. Takové koagulanty můžeme rozdělit obecně do dvou skupin kovové koagulanty a polymery. [2]

4.1 KOVOVÉ KOAGULANTY

Nejobvyklejšími kovovými koagulanty jsou soli železa a hliníku. Hydrolyzou železitých a hlinitých solí vznikají příslušné hydroxidy železitý a hlinitý, které tvoří hydrofobní koloidy nesoucí kladný elektrický náboj. V koloidním systému tvořeném převážně záporně nabitými částicemi, což je u odpadních vod nejčastějším případem, dochází k destabilizaci systému. Obvyklými koagulanty, které se používají, jsou: síran hlinitý $\text{Al}(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, síran železitý $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, chlorid železitý bezvodý FeCl_3 nebo silně hygroskopický chlorid železitý hexahydrát $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, chlorid síran železitý $\text{FeClSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ a síran železnatý $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Méně běžný je chlorid hlinitý AlCl_3 . Obvykle se dávkuje cca 5 % roztoky těchto solí. [7]

Popularita koagulantů hliníku a železa vychází nejen z jejich účinnosti jako koagulantů, ale také z jejich snadné dostupnosti a relativně nízké ceně. Účinnost těchto koagulantů vyplývá především z hlediska jejich schopnosti tvořit multi-nabité vícejaderné komplexy v roztoku se zlepšenými adsorpčními schopnostmi. Povaha vytvořených komplexů může být řízena pomocí pH systému. [2]

4.1.1 Síran železitý

Koagulant ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) je k dispozici v pevné nebo kapalné formě. V pevné formě je materiál zrnitý a sypký s následujícími typickými specifiky: 72 až 75 % hm. ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) a 20 až 21 % hm. Fe^{3+} . V kapalné formě jsou typická specifiky 40 až 42 % $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ a 11,5 % hm. Fe^{3+} . Doporučené manipulační a skladovací materiály zahrnují PVC, polyethylen, polypropylen, pogumovanou ocel, nerezovou ocel, sklo atd. [2]

Obecně platí, že všechny železité koagulanty se používají v širokém rozmezí pH od 4 až 11. Síran železitý je zvláště užitečný v případě odbarvení při nízkých hodnotách pH, a také při vysokých hodnotách pH, kde se používá pro odstranění železa a manganu v procesu změkčení. U posledně používaných nerozpustných železitých hydroxidů, při vysokých hodnotách pH, jsou železné koagulanty obecně vhodnější než hliník. [2]

PIX-113

PIX-113 je vodní roztok síranu železitého. Obsahuje 40 - 43 % hm. síranu železitého. Je to anorganická směs používaná pro úpravu pitných, průmyslových vod a čištění všech druhů odpadních vod. Ve vodě hydrolyzuje za tvorby hydroxidů železa v rozmezí pH 5-7. Působením této reakce se pH ve vodě snižuje. Jsou-li přítomny fosfáty, může dojít ke vzniku železo-fosfátových komplexů. [8]

4.2 POLYMERY

Polymery zahrnují velké množství přírodních nebo syntetických, ve vodě rozpustných, makromolekulárních sloučenin, které mají schopnost destabilizovat nebo zvyšovat flokulaci složek vody. [2]

Molekuly polymeru můžou být popsány jako série opakujících se chemických jednotek, které drží pohromadě kovalentními vazbami (polymer: z doslovného latinského překladu znamená mnoho částí). V případě, že opakující se jednotky jsou stejné molekulární struktury, se sloučenina nazývá homopolymer. V případě, že molekula je tvořena z více než jednoho typu opakujících se chemické jednotky, tak se nazývá kopolymer. Jednotlivé opakující se jednotky se nazývají monomery a molekulová hmotnost molekuly polymeru je součet molekulových hmotností jednotlivých monomerů. Celkový počet monomerních jednotek se nazývá stupeň polymerace. [2]

Polyelektrolyty tvoří speciální skupinu polymerů obsahujících určitou funkční skupinu podél řetězce polymeru, které mohou být ionizovatelné. Pokud je přítomná ionizovatelná skupina, tak disociují. Polymerní molekuly můžou nabít buď pozitivně, nebo negativně v závislosti na konkrétní přítomné funkční skupině a jsou tedy označovány jako kationtové nebo aniontové polyelektrolyty. Polymery, které mají jak kladně tak i záporně nabitá místa, se označují jako amfolytické. Ty, které nemají žádnou ionizovatelnou funkční skupinu, se vyznačují molekulovou hmotností zpravidla v rozmezí od 10^4 do 10^7 a jsou rozpustné ve vodě v důsledku hydratace funkční skupiny. [2]

4.2.1 Organické flokulanty

Ve vodárenství se používají organické flokulanty (zpravidla aniontové) pro zlepšení sedimentačních vlastností hydroxidu železitého příp. hlinitého. Také při čištění odpadních vod je lze použít ke zlepšení sedimentačních vlastností suspendovaných látek. Kationtové flokulanty jsou nezbytné pro předúpravu kalů z městských čistíren při jejich strojním odvodnění na pásových lisech nebo odstředivkách. V těchto případech se používá 2 až 5 g flokulantu na 1 kg sušiny kalu. [4]

Organické polymery jsou široce používány k úpravě kalu. Hlavní výhody organických polymerů jsou:

- zvýšení sušiny na 15 – 30 %
- čistější manipulace
- nižší nároky na údržbu a menší provozní problémy
- nesníží se výhřevnost odvodněného kalu. [9]

Organické polymery jsou rozpustné ve vodě. Výsledná viskozita závisí na jejich molekulové hmotnosti, ionizačním náboji a obsahu soli v ředící vodě. Odhaduje se, že dávka polymeru 0,2 mg / l s molekulovou hmotností 100.000 obsahuje asi 120×10^9 aktivních polymerních řetězců na litr upravované vody (EPA, 1987). Polymery v roztoku působí přes upevnění na kalové částice, což způsobuje následující posloupnost:

- desorpce z povrchu vody
- neutralizace malých částic hmoty prostřednictvím můstků mezi částicemi (přemostění). [9]

Správný výběr vhodných polymerů by měl být proveden pomocí rutinních a průběžných testů ve spolupráci s provozním personálem čistírny odpadních vod a dodavatelem polymerů. Vzhledem ke změnám v charakteristikách produkovaného kalu, by měly být zkoušky prováděny, pokud je to možné, přímo v místě vzniku kalu a s použitím stávajícího odvodňovacího zařízení. [9]

SUPERFLOC®

Flokulanty řady SUPERFLOC® jsou polyelektrolyty vhodné pro systémy na úpravu a čištění vody, zahušťování kalů na komunálních čistírnách, ve vodárenství, v papírenském a jiném průmyslu. Ve hrubém předčištění se flokulanty SUPERFLOC® používají pro zlepšení sedimentace, v čištění odpadních vod pro sedimentaci a odvodnění kalu. Dávka roztoku flokulantu je závislá především na kvalitě surové vody a technologii úpravy nebo čištění. [10]

Flokulanty SUPERFLOC® se dodávají ve formě prášku nebo emulze a musí se před použitím rozpustit ve vodě. To se děje ve třech krocích: namočení, rozpuštění až na zásobní koncentraci a zředění na dávkovací koncentraci. Cílem namáčení je dostat jednotlivé pevné částice flokulantu SUPERFLOC® do kontaktu s vodou. Pro dosažení nejlepších výsledků je dobré použít vhodné dispergační zařízení, např. automatický rozpouštěcí přístroj používající princip ejekce. Pokud by takové zařízení nebylo k dispozici, je možné použít rozpouštěcí nálevku. Pokud se roztok vyrábí v jednotlivých dávkách, potom se nádoba, ve které provádíme rozpouštění, naplní vodou do 1/3 objemu a zapne se míchadlo. Potom se přidá flokulant SUPERFLOC® buď pomocí rozpouštěcí nálevky, nebo v namočeném stavu. Nato se nádoba naplní tak, abychom dosáhli správné koncentrace zásobního roztoku, tj. 0,3 – 1 % v závislosti na typu flokulantu SUPERFLOC®. Čas potřebný pro rozpuštění je 30 – 60 minut, podle produktu. Zásobní roztok se poté ředí na 0,05 – 0,3 % dávkovací roztok. [10]



Obr. 4.1 Flokulanty SUPERFLOC®

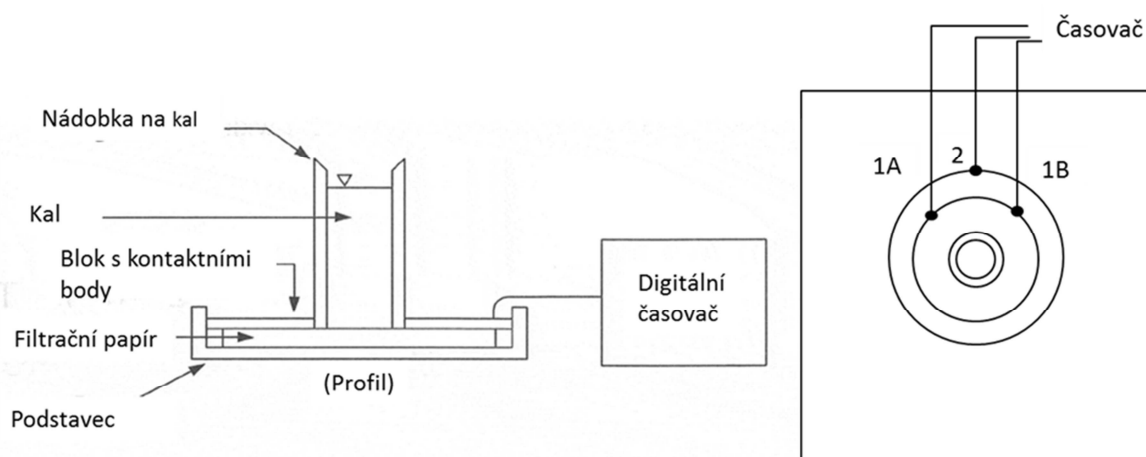
5 METODY MĚŘENÍ

Následující metody měření byly použity pro zpracování praktické části bakalářské práce.

5.1 CAPILLARY SUCTION TIME CST

Princip stanovení CST spočívá v nahrazení tlakového spádu, potřebného k filtraci překážkou, sací silou vhodného filtračního papíru, kterým je filtrát sorbován. Rychlost sorpce závisí hlavně na vlastnostech filtračního papíru (jeho sací síle) a na filtrovatelnosti kalu. [6]

Vlastní technické uspořádání měření je poměrně jednoduché. Vzorek kalu se pipetuje do nádobky tvaru dutého válce, jehož dno tvoří filtrační papír. Vlivem kapilárního sání je filtrát ze vzorku odsáván, na papíru uvnitř nádobky se tvoří koláč a vně nádobky postupuje kruhové filtrační čelo. Měří se čas, za který postoupí čelo kapaliny na filtračním papíru o určitou vzdálenost. [6]



Obr. 5.1 Schéma CST přístroje

5.1.1 Měření CST a vyhodnocení výsledků

Velikost naměřené hodnoty CST je kromě specifického filtračního odporu ovlivňována ještě řadou dalších faktorů (druhem použitého papíru, teplotou, množstvím vzorku apod.); jejich vliv je třeba eliminovat standardizací podmínek měření. [6]

Přístrojová technika

CST se může měřit na příklad na komerčním přístroji firmy Triton Electronics (viz obr. 5.2). Přístroj se skládá ze tří základních dílů – měřící cely, spínacího zařízení a elektronických stopek. [6]

Měřící cely je zhotovena z tlustostěnného polymethylmethakrylátu. Má dva díly, mezi něž se vkládá filtrační papír. V horním dílu je kruhová zásobní nádobka na vzorek kalu a stabilně upevněné měřící kontakty. Spodní díl slouží jako základna a nosič filtračního papíru. Z měřící cely jsou vyvedeny kontakty. Spínací zařízení tvoří dva stabilní klopné obvody, jeden obvod je zapojen jako spínací, druhý jako rozpínací v obvodu elektrických stopek. [6]



Obr. 5.2 CST přístroj

Postup měření

Do zásobní nádobky se pipetuje 2 až 5 ml vzorku zkoumané suspenze. Vlivem kapilárního sání je filtrát ze vzorku odsáván, což se projeví postupujícím kruhovým filtračním čelem. Ve vzdálenosti nutné k dosažení rovnovážné rychlosti postupu se čelo kapaliny dotkne spínacích kontaktů 1A a 1B a vodivě je spojí (viz obr. 5.1). Tato změna elektrického stavu se přenesou do elektronického zařízení, které zapne stopky. Čelo kapaliny postupuje dále po filtračním papíru, a jakmile dosáhne třetího kontaktu 2 (který je umístěn v radiální vzdálenosti od kontaktů 1A a 1B, $l=10$ mm) a vodivě jej spojí s kontakty 1, stopky se zastaví. Vynulováním přístroje a výměnou filtračního papíru je přístroj připraven k dalšímu měření. Takto změřený čas se udává jako čas kapilárního sání čili CST pro danou suspenzi.

Faktory ovlivňující stanovení

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících stanovení CST je kvalita použitého filtračního papíru. Aby se dosáhlo dobré reprodukovatelnosti měření, musí mít použitý papír dostatečnou sací sílu a musí být homogenní. To znamená, že jeho struktura a tloušťka musí být rovnoměrná, aby filtrační čelo bylo ostré a kruhového tvaru. Tyto požadavky nejlépe splňuje chronografický papír Whatman 17 (s ním také pracuje i přístroj firmy Triton Electronics). [6]

Dalším faktorem je množství a druh pipetovaného vzorku. Pro suspenze, které se snadno odvodňují, se všeobecně používá zásobní nádobka o průměru 10 mm a množství vzorku 2 až 5 ml. Pro špatně odvodnitelné suspenze se volí nádobka o průměru 16 mm a objem vzorku 5 až 10 ml. Dostatečné množství vzorku je důležité se zřetelem k celkovému objemu pórů filtračního papíru. Přitom tlak způsobený výškou sloupce suspenze v zásobní nádobce je zanedbatelný proti tlaku kapilárního sání. [6]

Pro vyloučení možných chyb stanovení, zejména chyb způsobených horší kvalitou použitého filtračního papíru, se doporučuje provádět paralelně 2 až 3 měření se stejným vzorkem. [6]

Vyhodnocení výsledků

Jelikož jde o usančnou metodu, musí se dodržovat již uvedené podmínky stanovení. Výsledky měření se vyjadřují jako čas kapilárního sání (CST) v sekundách (s). To je vhodné pro

srovnání suspenzí se stejnou koncentrací sušiny. Při sledování suspenzí o různé koncentraci sušiny je výhodnější vyjadřovat specifickou hodnotu CST_s , což je hodnota CST vztažená na hmotnostní jednotku koncentrace sušiny a vyjadřuje se v s. $m^3 \cdot kg^{-1}$. [6]

Hodnoty se zapíší do tabulek, podle kterých se vytvoří grafy. V grafech se porovnává počáteční hodnota (0) s ostatními naměřenými hodnotami (1,2,3).

5.2 FILTRAČNÍ TEST

5.2.1 Měření a vyhodnocení filtračního testu

Filtrovatelnost kalů se vyjadřuje objemem filtrátu z 250 ml zkoušeného kalu, který proteče filtračním sítkem za 120 sekund při standardizovaných podmínkách. [11]

Postup měření

K rozmíchání se použije kuchyňský mixér s vysokými otáčkami. Nastaví se minimální výkon a časovač na 3 s. Do skleněné nálevky s vrcholovým uhlím 60° se vloží filtrační sítko o rozměrech ok 0,1 mm. Rozmíchaný vzorek kalu se přelije přes filtrační sítko. Po 5, 10, 20, 30, 40, ..., 60 a 120 sekundách se odměří a zapíše množství filtrátu v odměrném válci. Po 120 sekundách se pod tlakem stlačí kal zachycený na filtračním sítku. Po stlačení se odečte a zapíše výsledný objem filtrátu.



Obr. 5.3 Filtrační test

Vyhodnocení výsledků

Průběhy filtračních testů se vynesou do grafu a porovnájí se s ostatními testy. Vyhodnotí se, pro kterou dávku byl test nejlepší.

5.3 AUTOMATICKÉ SUŠÍCÍ VÁHY

Sušící váhy slouží pro stanovení obsahu vlhkosti pomocí gravimetrické metody. Materiál se zváží a vysuší na váze, která umožňuje odečítání obsahu vlhkosti v %, % vysušených pevných látek a hmotnosti sušiny.

5.3.1 Měření a vyhodnocení stanovení sušiny

Postup měření

Váhy se zapnou, vloží se hliníková miska a vynuluje se váha. Přepne se na „% 100.0“. Na hliníkovou misku se nalije vzorek kalu, 20 ml. Zmáčkne se tlačítko „start“, spustí se sušení (cca 30 min.). Konec sušení signalizuje blikající dioda u tlačítka „start“. Sušina se odečte z displeje a zapíše v %. Přepnutím tlačítka se zobrazí váha po vysušení v g. Obojí se zapíše a přepočte se na g.l^{-1} . [12]



Obr. 5.4 Sušící váhy

Vyhodnocení výsledků

Hodnoty se zapíší do tabulek, podle kterých se vytvoří grafy. V grafech se porovnává počáteční hodnota (0) s ostatními naměřenými hodnotami (1,2,3).

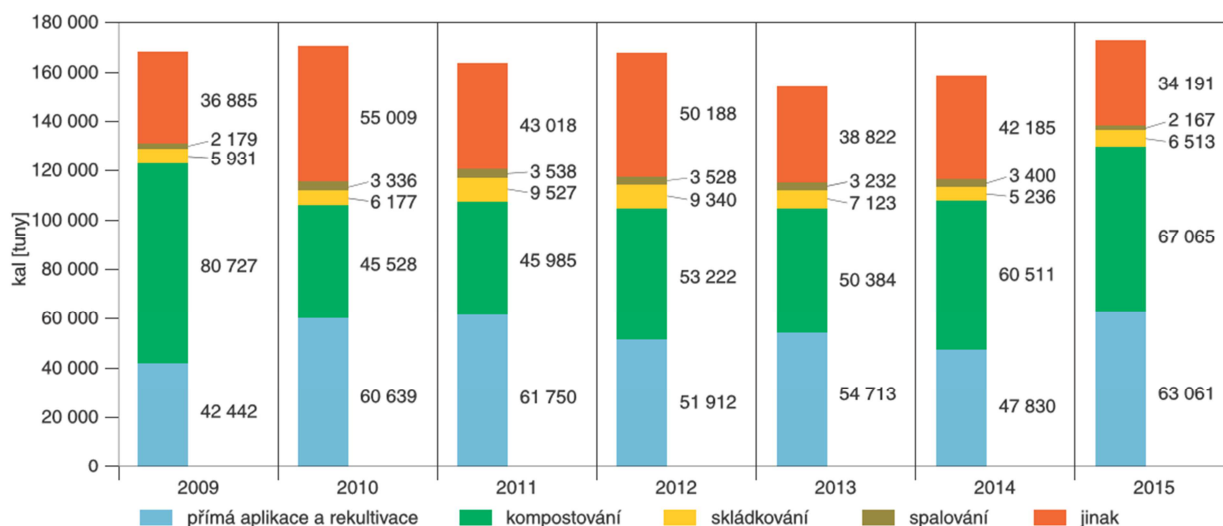


Obr. 5.5 Vysušený vzorek

6 VYUŽITÍ A ZNEŠKODNENÍ KALŮ

V konečné etapě zpracování kalů přichází v úvahu jejich využití nebo zneškodnění, při čemž využití je třeba dát přednost, pokud to kvalita kalu umožňuje.

V současné době se využívají tři hlavní způsoby odstraňování čistírenských kalů. První a v ČR nejrozšířenější způsob spočívá především ve využití v zemědělství (kompostování, hnojení). Druhý relativně rozšířený způsob zneškodňování kalů je jeho skládkování, především formou použití jako příměsi do technických vrstev skládek odpadů. V ČR je pro tento způsob zavedena specifická kategorie „jinak“. Poslední způsob zneškodňování kalů spočívající v jeho termickém zpracování, a to buď přímým spalováním, či procesem pyrolýzy, není v ČR prakticky rozšířen, v roce 2015 bylo tímto způsobem zpracováno pouhých 1,25 %. Podrobnější přehled o způsobu nakládání s čistírenským kalem v posledních letech uvádí obr. 6.1. [13]



Obr. 6.1 Přehled využití kalů v ČR letech 2009-2015 [13]

6.1 VYUŽITÍ KALU KE HNOJENÍ ZEMĚDĚLSKÉ PŮDY

Dobře stabilizovaný a maximálně hygienizovaný kal vhodného složení je možno použít v zemědělství jako hnojivo. Kal většinou obsahuje velké množství organických látek, dusíku (2 – 4 %), fosforu (1 – 2 %) a vápníku, což jsou látky potřebné k růstu pěstovaných rostlin. Na druhé straně však kaly mohou obsahovat některé nežádoucí složky, jejichž přítomnost tuto možnost využití kalu snižují a jejich obsah je přísně limitován:

- těžké kovy (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, atd.),
- některé organické látky (adsorbovatelné organicky vázané halogeny, polychlorované bifenyly, atd.),
- patogenní mikroorganismy (Salmonella, Escherichia coli). [3]

Použití kalu ke hnojení musí předcházet analýza půdy (výluh s HNO_3), čímž se stanoví těžké kovy. Analýzou kalu na obsah těžkých kovů, AOX a PCB musí být prokázáno dodržení stanovených koncentračních limitů. Mikrobiologická kritéria jsou stanovena s rozlišením do

dvou kategorií. Kaly I.kategorie lze aplikovat bez omezení při splnění dalších kritérií, kaly II.kategorie je možno aplikovat pouze na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin. Splnění epidemiologických limitů dává nové podněty pro použití technologií, které tato kritéria splňují. Jsou to zejména postupy biologické stabilizace kalu fungující při zvýšených teplotách nebo další úprava (tepelná nebo chemická) stabilizovaných kalů. [14]

Výhodami využití kalu jako hnojiva jsou tyto aspekty:

- recyklování odpadního produktu ČOV,
- zvyšování obsahu živin v půdě,
- zlepšení textury a sorpčních schopností půdy díky zvýšenému obsahu organických látek,
- podpora růstu rostlin.

Jistými nevýhodami jsou:

- možnost zvýšení koncentrace nežádoucích látek v půdě,
- riziko přenosu patogenů na zvířata a člověka,
- zápach aplikovaných kalů díky rozkladu organických látek. [3]

Kal lze použít pro hnojení půd buď přímo nebo také jako součást kompostů. Kompostování je aerobní termofilní proces rozkladu organické hmoty v tuhém stavu, při němž je její část humifikována, to je přeměněna na polymerní organické sloučeniny podobného charakteru jaký mají humózní látky obsažené v půdě. Mikrobiální rozklad organické hmoty je v průběhu kompostování provázen zvýšením teploty až na cca 70 °C. U kompostů vyráběných z látek podezřelých na přítomnost patogenních organismů, k nimž patří i kaly městských ČOV, musí dosáhnout teplota minimálně 55 °C po dobu alespoň 21 dnů. [14]

Postupy kompostování jsou buď s přirozenou, nebo nucenou aerací. Prvé jsou realizovány v otevřeném prostoru a zakládky jsou mechanicky obraceny s použitím vhodných strojů. V postupech s nucenou aerací probíhá kompostování v zakládkách na volném prostoru nebo v uzavřených reaktorech, u nichž lze použít jako výchozí materiál i surový čistírenský kal, který by na volném prostoru působil pachové a hygienické potíže. V převážné míře je však pro kompostování používán biologicky stabilizovaný kal. Doba zrání kompostu je u postupů s přirozenou aerací o výšce zakládky 2 až 4 m minimálně 60 dnů, během nichž je materiál dvakrát překopán. Po prvé hned po založení, aby došlo k promísení surovin, po druhé za více než dalších 21 dnů. Při kompostování v reaktorech, v nichž je materiál průběžně aerován i míchán, jsou doby zrání kratší, například 4 týdny. [14]

Surovinou pro kompostování jsou vedle kalů různé odpady, které by měly v souhrnu vytvořit pro materiál dostatečnou porozitu (alespoň 20 %) a vhodné složení, z něhož má zásadní význam poměr prvků C/N a obsah vody. V surovinách i výrobku je limitován obsah těžkých kovů a z tohoto hlediska je výrobek rozdělen do dvou tříd, při čemž výrobky 2. třídy s vyššími tolerovanými obsahy těžkých kovů mají omezené použití. Vyšší koncentrační limity těžkých kovů v surovinách do kompostů vytváří možnost použití kalů k tomuto účelu i v případech, kdy je přímá aplikace kalu na půdu vyloučena. [14]

6.2 SPALOVÁNÍ KALU

Spalování je vhodné zvláště pro likvidaci odpadů s vysokým podílem organické hmoty, která shoří. Používá se zvláště pro likvidaci kalů obsahujících oleje nebo toxické látky. Obvykle je spalováním kalu dosaženo výrazného snížení jeho množství, redukováného na zbylý popel, který lze bez problémů skladovat. Netřeba zdůrazňovat, že spalováním jsou patogenní organizmy zcela zničeny. Rozloženy jsou i toxické organické sloučeniny. Závažným problémem při spalování je kvalita exhalátů, které musí být odpovídajícím způsobem čištěny. Spalování předchází obvykle sušení kalu, nebo alespoň jeho odvodnění. Nejčastěji je kal spalován s jinými odpady, např. městskými smetky. [7]

6.3 SKLÁDKOVÁNÍ KALU

Pro skládkování lze použít pouze kal stabilizovaný a odvodněný, aby jeho objem byl minimalizován. Někdy se kal před skládkováním spaluje. Skládkování se provádí např. na skládkách komunálního odpadu, musí však vyhovovat všem legislativním požadavkům. Typ skládky, na který může být daný kal uložen, se stanoví pomocí vodného výluhu z kalu. Snížení vyluhovatelnosti lze dosáhnout tzv. soldifikací – zpevněním kalu. Původně tekutý nebo plastický kal je převeden na pevné skupenství pomocí matrice, což je organická nebo anorganická hydraulicky vazebná látka (např. elektrárenský popílek). Matrice reaguje s vodou v kalu, nežádoucí látky jsou v něm pevně vázány v důsledku srážení a fixace a roste pH, což má za následek ničení patogenů. Konzistence kalu je drobná, homogenní a obsaženou vodu pevně váže. Prakticky neuvolňuje zápachající látky. Soldifikací se díky přidání matrice sice mírně zvýší objem kalu, ale získané vlastnosti umožňují umístění kalu na skládku. [3]

6.4 TERMOCHEMICKÉ PROCESY

Jako poměrně zajímavé a v zahraničí hojně diskutované jsou metody zpracování čistírenských kalů za využití termochemických procesů jako pyrolýzy nebo zplynování. Termickým rozkladem čistírenských kalů za nepřístupu média s kyslíkem lze vyrobit látku obecně nazývanou Biochar (alternativně Biouhel či Biokarbon), která obsahuje vysoký podíl stabilního organického uhlíku a téměř 90 % fosforu z odpadních vod přivedených na ČOV. Dalšími produkty pyrolýzy kalů je olej a plyn, který lze využít pro energetické zabezpečení samotného procesu pyrolýzy. [13]

Z řady odborných článků, studií a výzkumných projektů vyplývají dva hlavní potenciální směry využití technologií s produkcí Biocharu v čistírenské praxi:

1. Minimalizace produkce aerobně či anaerobně stabilizovaného přebytečného kalu a jeho možné následné využití v zemědělství.
2. Využití sorpčních vlastností Biocharu pro dočištění vyčištěných odpadních vod. [13]

Jednou z mnoha zajímavých vlastností Biocharu je schopnost díky vysoké porositě zadržovat vlhkost, což zlepšuje půdní vlastnosti především v období sucha. Důležitá je i vysoká stabilita Biocharu (až 50 let), který aplikován na zemědělské půdě na rozdíl od anaerobně

stabilizovaných kalů již neprochází rozkladným procesem s vývinem skleníkových plynů (metán). [13]

Rozsah užití Biouhlu zahrnuje širokou škálu oblastí, jako např.:

- silážní prostředek, doplněk krmiva / náhražka, přísada do podestýlky, úprava kejdy, kompostování hnoje, ošetřování vody u chovu ryb
- uhelné hnojivo, kompost, náhrada rašeliny, ochrana rostlin, náhradní hnojivo – nosič pro stopové prvky
- izolace, dekontaminace vzduchu, dekontaminace zemních základů, regulace vlhkosti vzduchu, ochrana proti elektromagnetické radiaci
- ošetření fugátu, čištění odpadní a pitné vody (aktivní uhlíkové filtry, předproplachová přísada) [15]

7 VÝSLEDKY A DISKUSE

Na úvod je třeba říct, že každý kal je jiný a proto nelze vynést jednoznačný závěr. Na kal mají dopad různé faktory, např. složení odpadních vod přitékajících na ČOV, způsob stabilizace a čištění odpadní vody, roční období, atd..

7.1 CHARAKTERISTIKA ČOV

7.1.1 Anaerobní ČOV

Tři vzorky anaerobně stabilizovaných kalů byly odebrány na ČOV Brno, Břeclav, Hodonín. Při anaerobní stabilizaci směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Stabilizace probíhá ve vyhnívacích nádržích, které jsou vybavené mícháním.

Čistírna odpadních vod v Modřicích slouží k čištění odpadních vod přiváděných systémem kanalizačních stok z města Brna a ve stále větší míře prostřednictvím soustavy čerpacích stanic i z širokého okolí Brna. V současné době jsou kromě Brna napojeny na ČOV ještě města Kuřim, Modřice, obce Želešice, Česká u Brna, Šlapanice, Šlapanice-Bedřichovice, Ostopovice, Moravské Knínice, Lipůvka, Podolí, Ponětovice a Rozdrojovice. Odpadní vody natékající na ČOV jsou tedy rozmanitého původu. Odpadní vody od obyvatel se míchají s odpadními vodami z průmyslu, který je v Brně široce zastoupen. Na čistírně se nacházejí čtyři vyhnívací nádrže, které jsou intenzívně promíchávány a udržovány na konstantní teplotě 35°C, aby byl zajištěn růst mezofilních bakterií. Doba zdržení kalu ve vyhnívacích nádržích je cca 22 dnů. Zbývající dvě bývalé vyhnívací nádrže jsou rekonstruovány na uskladňovací nádrže stabilizovaného kalu s užitným skladovacím objemem na více jak čtyři dny. Z uskladňovacích nádrží je vyhnílý kal (obsah sušiny kolem 4 %) odvodňován dvěma odstředivkami typu Guinard. Kal z odstředivky o sušině cca 24 % je šnekovým dopravníkem transportován do sušárny. Vysušený kal o sušině 90 – 92 % je ze sušárny dopravován pomocí chlazených dopravníků do dvou kontejnerů umístěných vně budovy sušárny, odkud jsou naplněné kontejnery přemísťovány do skladu sušeného kalu. [16]

V Břeclavi je v současné době vybudována jednotná stoková síť, která odvádí odpadní vody z převážné části města do městské čistírny odpadních vod. ČOV Břeclav je technologicky provedena jako mechanicko-biologická čistírna městských a průmyslových odpadních vod se zpracováním kalu anaerobním mezofilním vyhníváním. Přebytný kal je z dosazovacích nádrží čerpán, spolu s primárním kalem. Pak je jako kal surový čerpán z mísící jímky do vyhnívací komory. Ohřev kalu je prováděn horizontálními kalovými čerpadly přes šroubovicový výměník voda-kal. Vyhnílý kal je akumulován ve stávající uskladňovací nádrži, odvodňování kalu probíhá na mechanické odstředivce. Kromě odpadních vod od obyvatel, přitéká na čistírnu i voda z průmyslu (Gumotex – gumárenství, OTIS – strojírenství, Moravia press – tiskařská výroba, Bors – autodoprava).

Primární kal z ČOV Hodonín je jímán do jímky surového kalu. V této jímce je smícháván se zahuštěným přebytným kalem. Sezónně se přebytný kal zahušťuje gravitačně v usazovací

nádrži. Z jímky surového kalu je kal dávkován do vyhřívací nádrže 1. Tato nádrž je vyhřívána a probíhá zde termofilní vyhnívání při teplotě kolem 38°C. Druhá vyhřívací nádrž je dohnívací a není temperovaná. Vyhnilý kal je odváděn do uskladňovacích nádrží a následně je odvodňován na dekantáční odstředivku. [17]

Ze všech výsledků anaerobních ČOV se nejvíce odlišovali hodnoty s ČOV Hodonín. Odchytky, předpokládáme, jsou způsobeny odlišností odpadní vody. Na ČOV Hodonín jsou likvidovány odpadní vody pocházející i s vinařství. Další ovlivňující faktory mohou být rozdílná teplota ve vyhřívacích nádržích nebo odchytky v čistírenských postupech.

7.1.2 Aerobní ČOV

Další odběry byly provedeny na třech aerobních ČOV, a to v Moravanech, Silůvkách a Ledcích. Aerobní procesy probíhají v převážně otevřených nádržích za přístupu kyslíku, které jsou provzdušňovány. Aerobní stabilizace se používá u malých ČOV.

Na tyto ČOV přitéká převážně jen odpadní voda komunálního původu. Jedinou výjimkou jsou Moravany, které se nachází u Brna. Výhodná poloha vyhovuje některým firmám, které tady sídlí a vypouští svoje odpadní vody do kanalizace a ty pak přicházejí na ČOV Moravany. Avšak z námi naměřených hodnot vyplývá, že největší odchytky vykazoval kal odebraný z ČOV Ledce. Předpokládáme, že odchytky byly způsobeny špatnou stabilizací kalu v nádrži. Ta by se měla provzdušňovat, ale jak jsme zjistili při odběrech, nebylo tomu tak. Nádrž je sice otevřena, ale kal ve spodní části nemá přístup ke kyslíku a proto zde došlo k špatné stabilizaci.



Obr. 7.1 Otevřená vyhřívací nádrž ČOV Ledce

7.2 PRŮBĚH FILTRAČNÍCH TESTŮ A CST

Výsledky se vztahují na část po přidání dávek PIX 113 při optimální dávce flokulantu.

7.2.1 Anaerobní ČOV

U anaerobně stabilizovaných kalů se filtrační testy v průběhu výrazně nelišili. Všechny měly stoupající tendenci, logaritmický průběh. CST testy se neshodují a nedají se popsat žádnou známou funkcí nebo závislostí. Obvykle bez přídavku PIX 113 má CST, vztažená k dávce flokulantu, kvadratický průběh.

V tab.7.1 jsou uvedeny použité flokulanty a stanovené optimální dávky. U kalu odebraného z ČOV Hodonín byly provedeny testy s dvěma flokulanty. Flokulant C – 2260 byl zvolen kvůli odlišujícím se výsledkům v porovnání s kaly z Brna a Břeclavi. Avšak i druhé testy provedené s jiným flokulantem potvrdili velkou odlišnost hodonínského kalu. Optimální dávka pro brněnský a břeclavský kal byla podobná, hodonínský kal měl o cca čtvrtinu menší dávku.

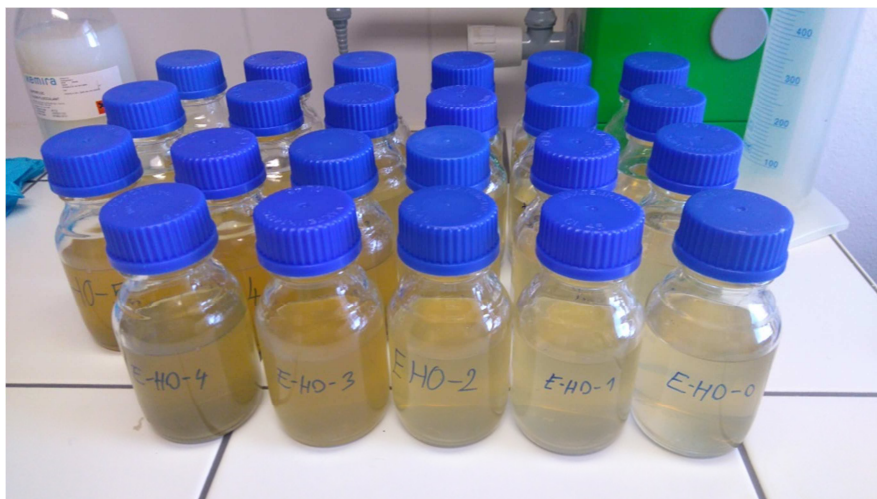
Tab. 7.1 Výsledné hodnoty anaerobně stabilizovaných kalů

Objem dávky v ml na 1 litr kalu		Kal, flokulant			
		Brno C-496	Břeclav C-496	Hodonín C-496	Hodonín C-2260
Optimální dávka flokulantu		200	220	56	56
CST	nejlepší dávka PIX 113	3	3	1	2
	nejhorší dávka PIX 113	4	5	5	5
Filtrační test	nejlepší dávka PIX 113	1	3	1	1
	nejhorší dávka PIX 113	4	1	3	4

V tab. 7.1 jsou shrnuté výsledky nejlepších a nejhorších hodnot pro jednotlivé kaly. U kalu z Brna se nejlepší hodnoty a nejhorší shodují, i když je v tabulce uvedena jako nejlepší hodnota filtračního testu u dávky 1 ml, v grafu byly průběhy filtračního testu u dávky 1 ml a 3 ml skoro shodné. Pro kal z Brna se tedy dá říci, že když je nejlepší hodnota CST je nejlepší i průběh filtračního testu a naopak platí to i pro nejhorší výsledek.

Břeclavský kal měl nejlepší hodnoty u dávky 3 ml, nejhorší CST u 5 ml a nejhorší filtrační test u dávky 1 ml. Pro oba testované flokulanty na hodonínském kalu vycházeli podobné výsledky. Nejhorší výsledky CST byly u dávky 5 ml, nejlepší u dávek 2 ml a 1 ml. Průběh filtračního testu vyšel nejlépe u hodnoty 1 ml, nejhůře 3 ml a 4 ml.

I když se výsledky neshodují u všech kalů, což jsme očekávali, dá se říci, že čím vyšší dávky přidávaného PIX 113 tím horší výsledky CST a filtračního testu. Na obr. 7.2 je zjevný i zhoršující se zákal filtrátu v důsledku zvyšování dávky PIX 113, zvyšující se obsah železa.



Obr. 7.2 Filtráty anaerobně stabilizovaných kalů

7.2.1 Aerobní ČOV

U aerobních kalů jsou patrné rozdíly už při stanovení optimální dávky flokulantu. Optimální dávky jsou malé, 24 ml a 40 ml. V tab. 7.2 jsou uvedené výsledné nejlepší a nejhorší hodnoty, optimální dávky použitých flokulantů.

Kal z Moravan měl nejlepší hodnoty CST a filtračního testu u dávky 1 ml, nejhorší CST dávka 5 ml a nejhorší filtrační test 3 ml. Výsledné hodnoty u kalu ze Silůvek byly odlišné. Nejlepší CST bylo při vyšší hodnotě dávky 5 ml, naopak nejhorší u nejmenší dávky 1 ml. Filtrační test dopadl nejlépe pro dávku 2 ml a nejhůř pro 3 ml. Dávka 2 ml byla u kalu z Ledce nejhorší jak pro CST, tak i pro filtrační test. Nejlepší výsledek CST byl dosažen u dávky 5 ml a nejlepší filtrační test 1 ml. U filtračních testů kalu z Ledců byly jen velmi malé rozdíly, proto se nedá jednoznačně říci, že dávka 2 ml byla nejhorší.

Tab. 7.2 Výsledné hodnoty aerobně stabilizovaných kalů

Objem dávky v ml na 1 litr kalu		Kal, flokulant		
		Moravany C-496	Silůvky C-494	Ledce C-496
Optimální dávka flokulantu		24	24	40
CST	nejlepší dávka PIX 113	1	5	5
	nejhorší dávka PIX 113	5	1	2
Filtrační test	nejlepší dávka PIX 113	1	2	1
	nejhorší dávka PIX 113	3	3	2

7.3 SUŠINA

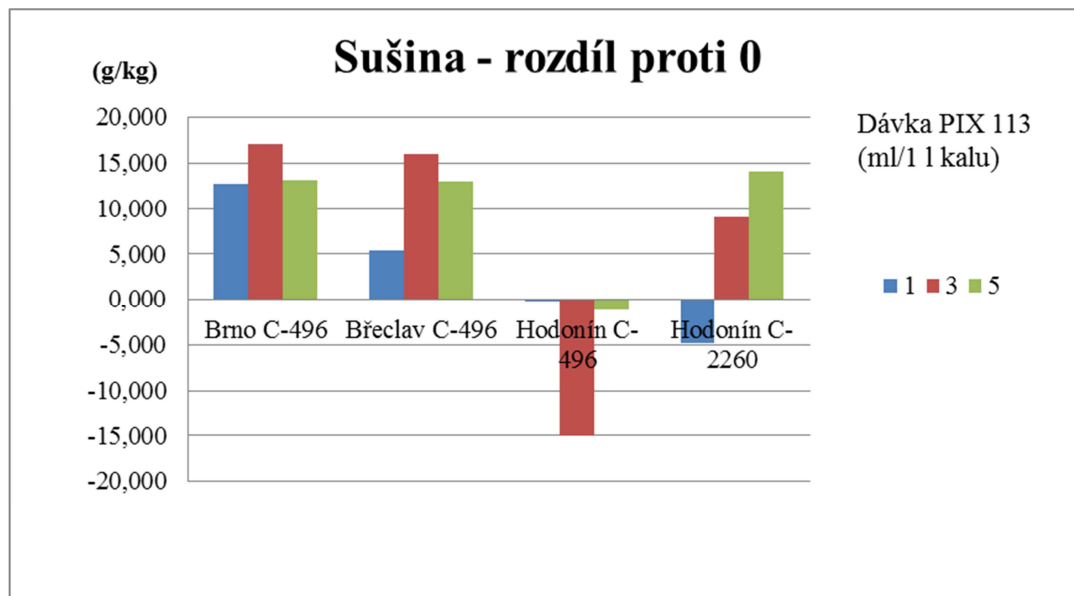
Pro vyhodnocení, která dávka PIX 113 byla nejlepší, je velmi vhodné stanovení množství sušiny. Čím vyšší hodnota sušiny tím líp.

7.3.1 Anaerobní ČOV

Sušina se stanovila pomocí sušících vah, postupem stanoveným v kapitole 5.3.1. Naměřené hodnoty se zapsali do tabulky pomocí, které se vytvořil graf (obr. 7.3). Z grafu vyplývá, že

nejlepší sušina pro brněnský a břeclavský kal byla u dávky 3 ml. Naopak hodonínský kal, do kterého se dávkoval flokulant C – 496 neměla ani v jednom měřeném případě vyšší hodnotu sušiny, než počáteční. Flokulant C – 2260 měl lepší hodnoty sušiny než flokulant C – 496, ale i tak nebyly hodnoty velmi pozitivní. U flokulantu C – 496 byla nejlepší dávka 1 ml, u C – 2260 hodnota 5 ml.

Brno a Břeclav se v průběhu sušiny úplně shodovali nejnižší hodnoty u dávky 1 ml a nevyšší u dávky 3 ml. Hodonínský kal, v obou případech, měl odlišný průběh.



Obr. 7.3 Grafické porovnání sušiny

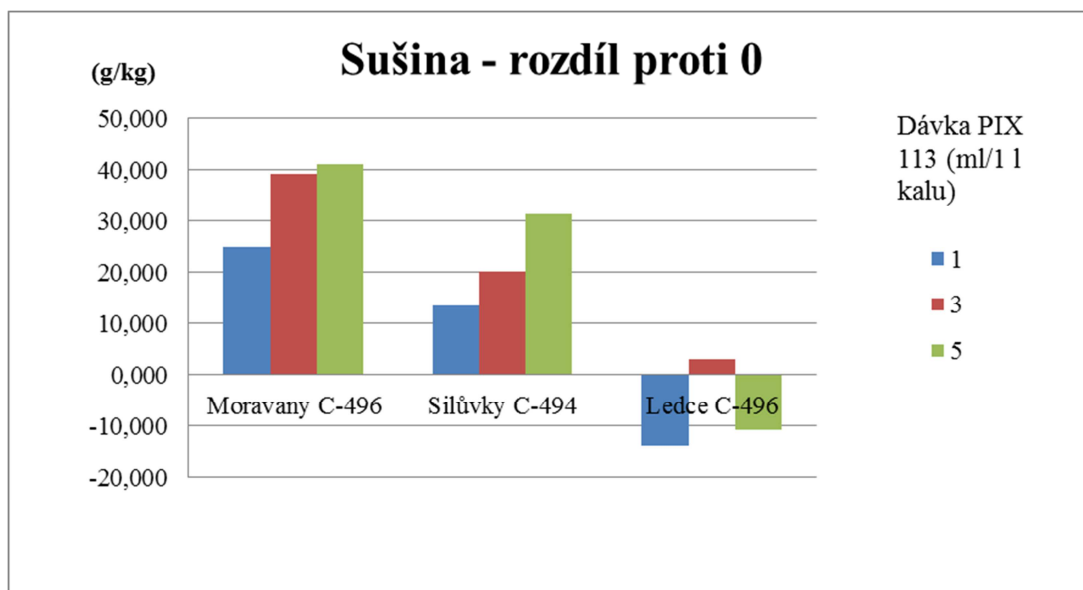


Obr. 7.4 Stanovení sušiny u surových anaerobně stabilizovaných kalů

7.3.2 Aerobní ČOV

Na obr. 7.5 jsou graficky znázorněné výsledné hodnoty sušiny. Nejlepší sušina pro Moravany a Silůvky byla u dávky 5 ml. Sušina z kalu Ledce neměla velmi pozitivní výsledky. Hodnoty byly převážně horší než počáteční, jen hodnota 3 ml byla o něco vyšší než počáteční.

Závěrem se tedy dá, v tomto případě říci, s ohledem na množství sušiny, že nejlepší výsledky byly u kalů z Moravan a Silůvek. Se zvětšující se dávkou se zvyšovala i hodnota sušiny. Naopak kal Ledce se už od začátku jevil nejhůře, což se potvrdilo u stanovení sušiny.



Obr. 7.5 Grafické porovnání sušiny



Obr. 7.6 Stanovení sušiny u surových aerobně stabilizovaných kalů

8 ZÁVĚR

Bakalářská práce měla za cíl stanovit optimální dávku chemikálií pro anaerobně a aerobně stabilizované kaly. Optimální dávky byly stanoveny pomocí CST a filtračního testu.

Celkově bylo odebráno šest vzorků kalů, na kterých jsem stanovovala optimální dávku flokulantu. U anaerobně stabilizovaných kalů byly dávky flokulantu, větší do 220 ml a u aerobně stabilizovaných malé do 40 ml na litr kalu.

Po stanovení optimální dávky flokulantu se přidával PIX 113, pro zlepšení hodnot sušiny a CST. Při nižších dávkách přidávaného PIX 113 do anaerobních kalů, se skutečně hodnoty sušiny zlepšili. Jedinou výjimkou byl kal pocházející z ČOV Hodonín, do kterého byl dávkován flokulant C – 496. Stanovení CST_S prokázalo, že hodonínský kal měl ze všech anaerobních kalů nejhorší vlastnosti. Jeden z možných důvodů zhoršené odvodnitelnosti může být termofilní stabilizace. Nejlepší CST_S (viz. příloha 1 tab. 1.3) měl brněnský kal a to 85 s. $m^3.kg^{-1}$, Břeclav 128 s. $m^3.kg^{-1}$, Hodonín C – 496 HMW 185 s. $m^3.kg^{-1}$ a pro flokulant C – 2260 183 s. $m^3.kg^{-1}$. U větších dávek PIX 113 se hodnoty CST a sušiny zhoršoval, což bylo vidět i na horším filtrátu.

Aerobní kaly z Moravan a Silůvek měli po přidavku PIX 113 zvýšenou hodnotu sušiny. Kal Ledce vykazoval po celou dobu měření špatné vlastnosti, což se projevilo i na sušině. Příčina zhoršených výsledků může být ve zlé obsluze ČOV Ledce (neprovzdušněná nádrž). Na velké překvapení po stanovení CST_S , které slouží pro vzájemné porovnání kalů, se nepotvrdil náš předpoklad, že kal Ledce je nejhorší (viz. příloha 2 tab. 2.3). Nejhorší CST_S měl kal ze Silůvek 457 s. $m^3.kg^{-1}$, naopak potvrdilo se, že nejlépe odvodnitelný aerobní kal byl z Moravan, 180 s. $m^3.kg^{-1}$.

Podle CST_S jsou aerobní kaly horší než anaerobně stabilizované. Kaly z Brna a Břeclavi mají nejnižší hodnoty, Hodonín a Moravany měli podobné hodnoty, i když je každý z nich jinak stabilizován. Nejhorší výsledky vykazovali Ledce a Silůvky.

Pro potvrzení nebo zpřesnění našich teorií, proč se tolik výsledky odlišovali, by bylo potřeba provést rozsáhlejší výzkum. Optimální dávky jsme určili pomocí CST a filtračních testů, které by se daly doplnit v budoucnu i jinými, např. určení zákalu, zbytkového železa a jiné. Další faktory, které mohou být zkoumány, jsou načasování dávkování flokulantu a koagulantu.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MAŇÁKOVÁ, Blanka. Možnosti snížení rizikivosti arsenu v problematických kalech [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/211127/prif_m/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Jakub Hofman.
- [2] BRATBY, John. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. Third edition. London, UK: IWA Publishing, 2016. ISBN 9781780407494.
- [3] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2535-0.
- [4] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. Vyd. Brno: ARDEC, c2006. ISBN 80-86020-50-9.
- [5] DOHÁNYOS, Michal, Jan KOLLER a Nina STRNADOVÁ. Čištění odpadních vod. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická [Praha], 1994. ISBN 80-7080-207-3
- [6] ZÁBRANSKÁ, Jana. *Laboratorní metody v technologii vody*. Praha: VŠCHT, 1997. ISBN 978-80-7080-272-4.
- [7] MALÝ, Josef a Petr HLAVÍNEK. Čištění průmyslových odpadních vod. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-05-3.
- [8] Kemifloc. Chemikálie >Anorganické koagulanty. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.kemifloc.cz/dokumenty/PIX-313_PIX-113_PIX-113T_BL_CZ.pdf
- [9] SPERLING, Marcos von. *Sludge treatment and disposal*. London : IWA Publishing, 2007. ISBN 184339166x.
- [10] Prochemie. *Flokulanty Superfloc®*. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.prochemie.cz/chem/tech-list-organicke-flokulanty-superfloc.pdf>
- [11] SEDLÁČEK, Miroslav. *Metody rozboru kalů a pevných odpadů*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1978. Lesnictví, myslivost a vodní hospodářství.
- [12] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-708-0520-X. 12
- [13] WANNER, Filip. *SOVAK ČR zahájil širokou diskusi o možnosti využití termochemických procesů při zpracování kalů v čistírenské praxi*. SOVAK. 2016, 2016(10), 14-15.
- [14] MALÁ, Jitka. *Čištění odpadních vod zpracování kalů*. BRNO: FAST VUT 2010. (Studijní opora MO3)
- [15] Hlavínek, P.. *Mikrovlonná pyrolýza čistírenského kalu*. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupný z: <http://www.vodovod.info/index.php/kanalizace-a-cov/312-mikrovlonna-pyrolyza-cistirenskeho-kalu#.WR1Ob2jyjIU>

- [16] Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.. *ČOV Brno – Modřice*. [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/cov-brno-modrice/
- [17] Vodovody a kanalizace Hodonín, a.s.. *Vodárenský zpravodaj, časopis pro zaměstnance a akcionáře společnosti*. [online]. 2015 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.vak-hod.cz/vak/spolecnost/zpravodaj/Vak_zpravodaj_2015-02.pdf

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Klasifikace velikosti částic [2].....	7
Tab. 7.1 Výsledné hodnoty anaerobně stabilizovaných kalů.....	23
Tab. 7.2 Výsledné hodnoty aerobně stabilizovaných kalů.....	24

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Spektrum velikostí vodních částic a pórů filtru (podle Stumm, 1977) [2].....	8
Obr. 4.1 Flokulanty SUPERFLOC®.....	12
Obr. 5.1 Schéma CST přístroje	13
Obr. 5.2 CST přístroj.....	14
Obr. 5.3 Filtrační test.....	15
Obr. 5.4 Sušící váhy	16
Obr. 5.5 Vysušený vzorek	16
Obr. 6.1 Přehled využití kalů v ČR letech 2009-2015 [13].....	17
Obr. 7.1 Otevřená vyhnívací nádrž ČOV Ledce	22
Obr. 7.2 Filtráty anaerobně stabilizovaných kalů.....	24
Obr. 7.3 Grafické porovnání sušiny	25
Obr. 7.4 Stanovení sušiny u surových anaerobně stabilizovaných kalů	25
Obr. 7.5 Grafické porovnání sušiny	26
Obr. 7.6 Stanovení sušiny u surových aerobně stabilizovaných kalů	26

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV	čistírna odpadních vod
CST	Capillary Suction Time
PCBs	polychlorované bifenyly
PAHs	polycyklické aromatické uhlovodíky
PVC	polyvinylchlorid
EPA	Environmental Protection Agency
AOX	halogenované organické sloučeniny

SEZNAM PŘÍLOH

1. Anaerobně stabilizované kaly (ČOV Břeclav, Hodonín, Brno)
2. Aerobně stabilizované kaly (ČOV Moravany, Silůvky, Ledce)

SUMMARY

Bachelor thesis deals with chemical dosing optimisation during by wastewater sludge dewatering. The thesis has two parts, practical and theoretical. Theoretical part contains basic information about thickening, destabilization and stabilization, flocculants, methods of measurement and final sludge treatment.

In total, we collected six sample of the sludge, on which we determined the optimal dose of flocculants. For anaerobically stabilized sludge were the doses of flocculants bigger to 220 ml and in aerobically stabilized small to 40 ml per litter of sludge.

After determining the optimal dose of flocculants, we added PIX 113 to improve dry matter and CST test. The better values were for lower doses of PIX 113 added to the sludge. The only exceptions were sludge from COV Hodonín and Ledce. In these cases were worst results.

According to CSTs, aerobic sludge is worse than anaerobically stabilized. Sludge from Brno and Břeclav have the lowest values, Hodonín and Moravany have similar values, although each of them is otherwise stabilized. The worst results had Ledce and Silůvky.

For confirmation or clarify of our theory of why so many results differ, it would be necessary to perform more extensive research. The optimal dosage we identified with using CST and filtration tests, which could be supplemented in the future by other, e.g. the determination of turbidity, residual iron and other.