



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO**  
**INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

## **ZPŮSOBY PŘEDÚPRAVY KALU K DALŠÍMU VYUŽITÍ** SLUDGE PRETREATMENT AND ITS FURTHER UTILIZATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**JAN NĚMEC**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Dipl.-Ing. (FH) THOMAS ELSÄSSER**

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství  
Akademický rok: 2009/10

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student: Jan Němec

kteřý studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Způsoby předúpravy kalu k dalšímu využití**

v anglickém jazyce:

### **Sludge pretreatment and its further utilization**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor problematiky současných způsobů nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod. Popis různých způsobů předúpravy komunálního kalu. Vyhodnocení vlivu procesu dezintegrace na provoz čistírny. Rešeršní práce.

Cíle bakalářské práce:

Popis a srovnání různých způsobů dezintegrace (termické, mechanické, chemické) s ohledem na možnosti jejího uplatnění na komunálních čistírnách. Výběr typu dezintegrace na jednu konkrétní čistírnu.

Seznam odborné literatury:

Vladimír Pytl a kolektiv: Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 1. vydání, Praha, 2004. 209 s. ISBN 80-239-2528-8.

Michal Dohányos, Jan Koller, Nina Strnadová: Čištění odpadních vod. 1. vydání. Praha, 1998. 177 s. ISBN 80-7080-207-3.

Lubomír Mazel, Miloš Pokorný: Vodárny a čistírny. 2. přepracované vydání, VUT, Brno 1992. 149 s. ISBN 80-214-0473-6.

Kalové hospodářství čistíren odpadních vod, [online]. Praha: VŠCHT Praha. Zveřejněno dne: 2. 10. 2007.[cit. 2008-03-24]. Dostupné z www:

[http://web.vscht.cz/starad/COV\\_Skripta\\_Kal\\_hosp.doc](http://web.vscht.cz/starad/COV_Skripta_Kal_hosp.doc)




Abwassertechnische Vereinigung: Klärschlamm, ATV Handbuch - Berlin: Ernst. 4. Auflage 1996. 729 S. ISBN 3-433-00909-0.

Vedoucí bakalářské práce: Dipl.-Ing. (FH) Thomas Elsäßer

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 2. 11. 2009

L.S.



---

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Anotace**

Tato práce se zabývá způsoby předúpravy (dezintegrace) kalu, která nabízí možnost lepšího provozu čistírny odpadních vod. Úvod se věnuje rozdělení odpadních vod a kalů a následně pak jejich charakteristikám. Dále je popsán současný stav likvidace kalu s ohledem na legislativu a rozdělení metod dezintegrace. Poté následuje popis vybraných způsobů dezintegrace kalu, jejich srovnání a použitelnost tepelné dezintegrace na pasterizaci čistírenských kalů.

## **Klíčová slova**

Čistírna odpadních vod, čistírenský kal, dezintegrace, pasterizace

## **Annotation**

The thesis deals with methods of pre-treatment (disintegration) of sewage sludge, which offers an opportunity for better operation of a waste water treatment plant. The introduction is aimed at sewage water and sludge dividing, and then at their characteristics. In this thesis a current state of sludge disposal within the reference to the legislature and how to divide the methods of disintegration is also marked. Afterwards a description of selected methods of sludge disintegration, their comparison and the applicability of thermal disintegration to pasteurization of sewage sludge is included.

## **Key words**

Waste water treatment plant, sewage sludge, disintegration, pasteurization

## **Bibliografická citace**


NĚMEC, J. *Způsoby předúpravy kalu k dalšímu využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 40 s. Vedoucí bakalářské práce  
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Elsäßer.



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Způsoby předúpravy kalu k dalšímu využití“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu literatury.

V Brně dne 20. května 2010

  
\_\_\_\_\_  
Jan Němec



## **Poděkování**

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří mi pomáhali při vzniku této práce. Především Dipl.-Ing. (FH) Thomasu Elsäberovi, vedoucímu mé bakalářské práce za trpělivé vedení a množství praktických rad. Dále pak Ing. Lucii Houdkové, Ph.D. za závěrečnou kontrolu. Zvláštní poděkování patří městským úřadům Sedlčany, Svitavy, Třebíč, Uherský Brod a VOS a. s. Jičín, VAS a. s. divize Brno-venkov za poskytnutí informací ohledně ČOV.



## OBSAH

<b>SEZNAM SYMBOLŮ.....</b>	<b>13</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK.....</b>	<b>13</b>
<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>15</b>
<b>2. ROZDĚLENÍ ODPADNÍCH VOD Z HLEDISKA JEJICH PŮVODU..</b>	<b>16</b>
2. 1. Splašková odpadní voda.....	16
2. 2. Odpadní voda průmyslová a zemědělská .....	16
2. 3. Odpadní voda srážková.....	16
2. 4. Balastní vody .....	16
<b>3. DRUHY ČISTÍRENSKÝCH KALŮ .....</b>	<b>17</b>
3. 1. Primární kal.....	18
3. 2. Aktivovaný kal.....	18
3. 3. Zahuštěný přebytečný aktivovaný kal.....	18
3. 4. Směsný surový kal.....	19
3. 5. Stabilizovaný kal .....	19
3. 6. Odvodněný kal.....	19
<b>4. CHARAKTERISTIKA KALU .....</b>	<b>19</b>
4. 1. Složení čistírenského kalu .....	19
4. 2. Struktura kalových vloček .....	20
4. 3. Hustota čistírenského kalu .....	21
4. 4. Viskozita čistírenského kalu.....	21
<b>5. SOUČASNÝ STAV LIKVIDACE KALU S OHLEDEM NA LEGISLATIVU .....</b>	<b>23</b>
<b>6. DEZINTEGRACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ.....</b>	<b>23</b>
6. 1. Mechanické metody dezintegrace.....	25
6. 2. Chemické metody dezintegrace .....	25

<b>6. 3. Fyzikální metody dezintegrace .....</b>	<b>25</b>
<b>6. 4. Biologické metody dezintegrace .....</b>	<b>25</b>
<b>6. 5. Popis vybraných způsobů dezintegrace čistírenských kalů .....</b>	<b>25</b>
6. 5. 1. Dezintegrace mletím v kulovém mlýnu .....	25
6. 5. 2. Mokrý oxidace .....	26
6. 5. 3. Dezintegrace ultrazvukem.....	27
6. 5. 4. Termická hydrolýza .....	28
<b>6. 6. Srovnání vybraných způsobů dezintegrace .....</b>	<b>30</b>
<b>7. VÝBĚR TYPU DEZINTEGRACE NA KONKRÉTNÍ ČISTÍRNU.....</b>	<b>30</b>
<b>7. 1. Hygienizace kalu .....</b>	<b>30</b>
<b>7. 2. Pasterizace.....</b>	<b>31</b>
<b>7. 3. Srovnání termické dezintegrace a pasterizace.....</b>	<b>32</b>
<b>7. 4. Pasterizace čistírenských kalů v ČR .....</b>	<b>32</b>
<b>7. 5. Výběr typu dezintegrace.....</b>	<b>35</b>
<b>8. ZÁVĚR .....</b>	<b>36</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>37</b>

## SEZNAM SYMBOLŮ

<u>symbol</u>	<u>význam</u>	<u>jednotka</u>
$\eta$	viskozita	[Pa·s]
$\eta_0$	viskozita čisté kapaliny (voda)	[Pa·s]
$c_{vol}$	objemová koncentrace	$\left[\frac{m^3}{m^3}\right]$
$\tau$	smykové napětí	[Pa]
$\dot{\gamma}$	smyková rychlost	[s <sup>-1</sup> ]

## SEZNAM ZKRATEK

**ATV** – německá asociace pro vodu

**ČOV** – čistírna odpadních vod

**ČR** – Česká republika

**EO** – ekvivalent obyvatel (populační ekvivalent)

**EPA** – americká agentura pro ochranu životního prostředí (Environmental Protection Agency)

**EU** – Evropská unie

**CHSK** – chemická spotřeba kyslíku

**KREPRO** – termická hydrolýza firmy Kemira Kemwater AB (Kemwater recycling process)

**MŽP** – Ministerstvo životního prostředí

**RTR** – rychlý termický reaktor (Rapid Thermal Reactor)

**SSK** – směsný surový kal

**THP** – proces termické hydrolýzy firmy Cambi (Thermal Hydrolysis Proces)



## 1. ÚVOD

Nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod je kal. Odpadní vodu zpracováváme tak, aby bylo odstraněno požadované množství nežádoucích složek, které jsou zkoncentrovány v kalu. Kal dále obsahuje přebytečnou biomasa z biologického čištění. Hlavním cílem finálního zpracování kalů je zabránit negativním dopadům na životní prostředí a lidského zdraví [1].

Kaly představují přibližně 1-2 % objemu znečištěných vod, je však v nich zkoncentrováno 50-80 % původního znečištění způsobeného především patogenními mikroorganismy a obsahem toxických látek a těžkých kovů. Proto jsou také náklady na provoz kalového hospodářství přibližně 50 % provozních nákladů čistírny odpadních vod [2].

V tab. 1 jsou pro ilustraci uvedeny povolené koncentrace rizikových látek kalu při použití na zemědělské půdě.

Riziková látka	Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg·kg <sup>-1</sup> sušiny)
As – arzén	30
Cd – kadmium	5
Cr – chrom	200
Cu – měď	500
Hg – rtuť	4
Ni – nikl	100
Pb – olovo	200
Zn – zinek	2 500
AOX – halogenové organické sloučeniny	500
PCB – polychlorované bifenyly	0,6

**Tab. 1 Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů) [3]**

Odpadová politika Evropské unie (EU) potlačuje ukládání odpadů a podporuje zabránění vzniku odpadů, jejich minimalizaci a bezpečnou recyklaci. Možnosti zpracování kalu jsou recyklace, zahrnující použití na půdu jako organické hnojivo nebo pro vylepšení kvality půdy v zemědělství a pro rekultivace. Dále pak destrukční metody, které zahrnují spalování bez nebo s využitím energie, zplynování a použití kalu jako procesního paliva, kdy je využíván nebo skládkován popel.

K dispozici je další řada možností zpracování kalů zlepšujících jejich kvalitu. Ty jsou obecně zaměřeny na snižování obsahu vody, patogenů a zápachu.

Ukládání kalů na skládky je obecně považováno za neudržitelné. Produkci kalů nelze zabránit, ale pouze vhodným výběrem technologie zmenšit jeho množství. Navíc požadavky na vyšší kvalitu vypouštěné vody budou dále zvyšovat množství produkovaných kalů.

Pro budoucí zabezpečení využitelnosti kalů budou stále více potřeba vyspělé technologie schopné například zajistit odstranění patogenů nebo produkovat kal s vysokou sušinou, což rozšíří možnosti využití kalu jako paliva nebo aditiva do půdy. Volba technologie bude z velké části řízena legislativou a tlaky veřejnosti i zákazníků a závislá z části na podnikavosti vedení. Vysoce kvalitní produkty z kalů mají obchodní hodnotu, přinášející možnost zvýšení tržby v budoucnu, což je další stimul k dosahování kvalitativně zajištěných produktů z kalu, za předpokladu, že legislativa a kontrola takový vývoj dovolí [1].

## **2. ROZDĚLENÍ ODPADNÍCH VOD Z HLEDISKA JEJICH PŮVODU**

### **2. 1. Splašková odpadní voda**

Množství splaškových odpadních vod se odvíjí od spotřeby pitné vody. Průměrně se počítá s denní produkcí splaškových vod 150 l na osobu. Jedná se o odpadní vody vypouštěné do veřejné kanalizace z bytů a obytných domů. Patří k nim i odpadní vody z městské vybavenosti, jako jsou například školy, restaurace a hotely [4], [5].

### **2. 2. Odpadní voda průmyslová a zemědělská**

Odpadní voda průmyslová a zemědělská je voda změněná a znečištěná použitím v průmyslu, zemědělství nebo v drobných provozech. Průmyslová odpadní voda obsahuje širokou škálu různých látek a jejich rozdílných koncentrací [6].

Konkrétní produkované množství odpadních vod je závislé na schopnosti dané technologie výroby šetřit s vodou a recirkulovat ji, popř. nahrazovat jinými médii. Při nebezpečí přetížení veřejné kanalizace je možno producentu průmyslových či zemědělských odpadních vod nařídít jejich rovnoměrné vypouštění. Průmyslové a zemědělské odpadní vody je možno čistit buďto samostatně, nebo společně se splaškovými odpadními vodami [5].

### **2. 3. Odpadní voda srážková**

Přirozená srážková voda, která nebyla znečištěna použitím. Těsně před dopadem na povrch obsahuje dešťová voda řadu látek. Jsou to zejména rozpuštěné plyny a látky zachycené průchodem atmosférou, a to jak organické, tak anorganické. Po dopadu na povrch se dešťová voda obohacuje o další látky, které unáší nebo rozpouští na své cestě do recipientu. Kvalita vody závisí na druhu povrchu, ze kterého voda stéká [6].

### **2. 4. Balastní vody**

Balastní vody jsou definovány jako nežádoucí přítok vody do systému stokových sítí. Některé balastní vody zatěžují systém kanalizace nárazově (podzemní voda, voda vypouštěná do stok při havárii vodovodů, apod.), jiné mají charakter stálého zatěžování (voda vnikající do stok netěsných vodovodů, apod.)

Rozhodující příčinou vzniku balastních vod do kanalizace je nedostatečná vodotěsnost stokové sítě [5].

### 3. DRUHY ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

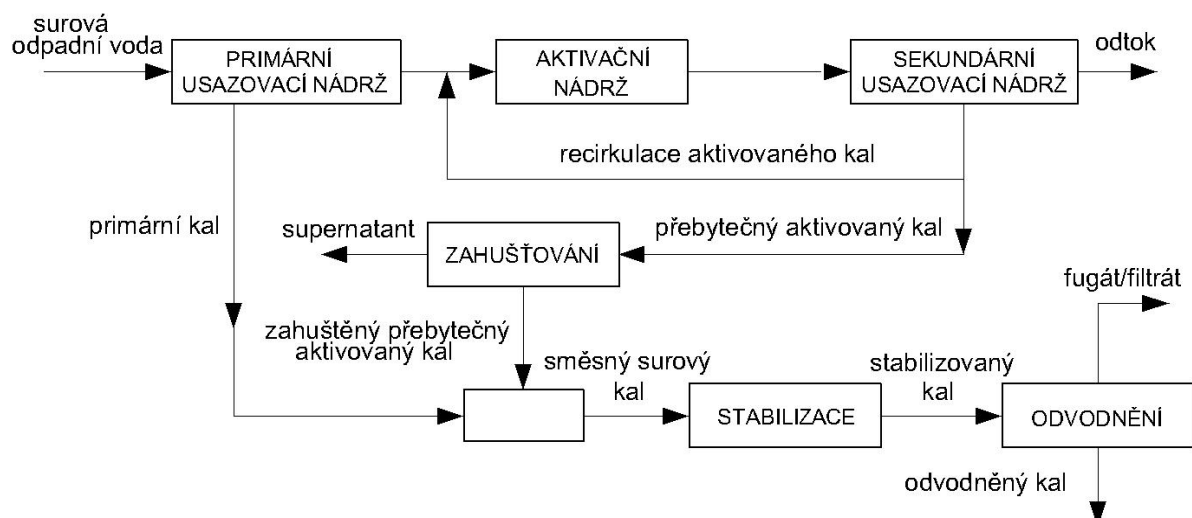
Pojmem čistírenský kal se označují směsi dvou nebo více odpadních látek. Nejméně jedna z těchto látek musí být přítomna v kapalném skupenství a vytvářet souvislou kapalnou fázi. Nejméně jedna další látka musí být přítomna v tuhém skupenství a musí být rozptýlena (dispergována) v souvislé kapalně fázi. Konzistence je důležitou vlastností kalu, která úzce souvisí s celkovou koncentrací tuhých složek v kapalině, vyjadřovanou také jako obsah sušiny v kalu. Vazba vody k pevné fázi nemá v celém jejím objemu stejný charakter. Vedle tzv. prostorové vody oddělitelné gravitačními silami (sedimentací) existuje voda více či méně pevně vázaná v kalu, kterou lze separovat jen s vynaložením větší energie.

V čistírnách odpadních vod vzniká velké množství různých druhů kalů (obr. 1). Manipulace s nimi a ekonomické využití často způsobuje problémy. Veškerý kal, který ještě nebyl stabilizován, nazýváme kalem surovým. Ten obsahuje okolo 70 % organických látek v sušině a vzhledem k možné přítomnosti patogenních mikroorganismů je podle zákona o odpadech klasifikován jako nebezpečný odpad se všemi důsledky z toho plynoucími. Z tohoto důvodu je ve většině případů již přímo na ČOV v lince zpracování kalu aplikovaná taková technologie úpravy a zpracování kalu, která promění surový kal z nebezpečného odpadu ve stabilizovaný materiál [1], [2].

Mimo těchto druhů kalů, existují i jiné zvláštní druhy jako je chemický kal. Ten vzniká na čistírnách, kde je instalováno chemické srážení fosforu. V České republice (ČR) se převážně používá ke srážení fosforu síran železitý. Vzhledem k tomu, že většina ČOV v ČR jsou čistírny mechanicko-biologické, můžeme se v praxi setkat s těmito typy produkovaných čistírenských kalů:

- na aktivačních čistírnách bez primární sedimentace vzniká pouze aktivovaný kal,
- na čistírnách s primární sedimentací vzniká primární kal, který se mísí s přebytečným aktivovaným kalem a vzniká tak surový kal,
- při chemickém srážení fosforu pak vzniká také kal chemický.

Dalšími zvláštními druhy kalů jsou kaly dovezené (obsahy žump, kaly ze septiků, domovních nebo jiných čistíren, které byly dovezeny ke konečnému zpracování v ČOV) a kaly speciální ze speciálních výroby v zemědělství a průmyslu [5].



Obr. 1 Schéma ČOV [8]

### 3. 1. Primární kal

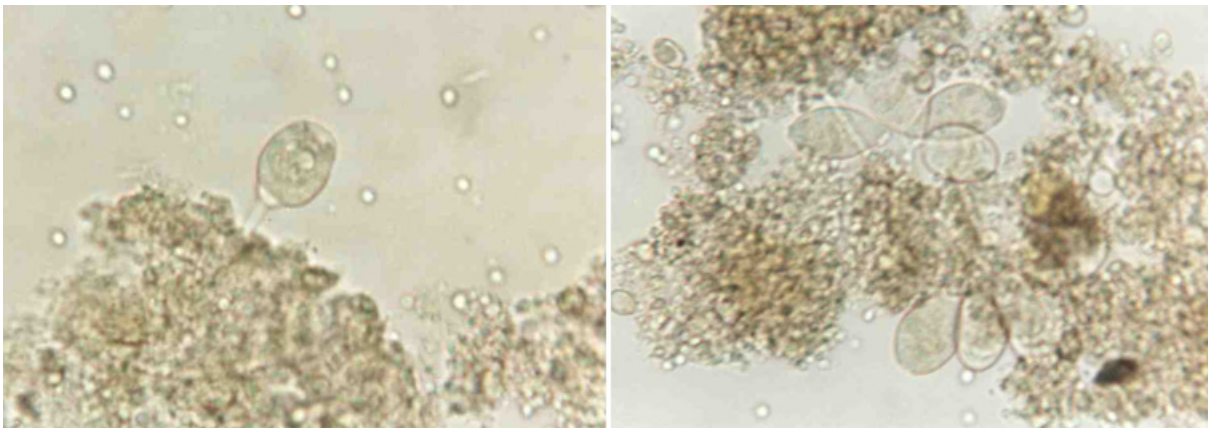
Primární kal vzniká v objektech primární sedimentace, tj. v usazovacích nádržích. Má zpravidla zrnitou strukturu a je tvořen nerozpuštěnými látkami, které prošly lapákem písku a česlemi. Organické látky obsažené v primárním kalu jsou velmi dobře a rychle rozložitelné [2].

Jeho množství závisí především na množství nerozpuštěných látek přitékajících do ČOV a na účinnosti primární sedimentace [5].

### 3. 2. Aktivovaný kal

Aktivovaný kal se dělí na vratný (recirkulovaný) a přebytečný kal. Představuje směsné kultury mikroorganismů (obr. 2), které jsou volně rozptýlené ve vodě a ve větších počtech vázány ve vločkách. Tato kultura mikroorganismů je výsledkem směšování přitékající odpadní vody s recirkulovaným aktivovaným kalem a provzdušňováním vzduchem za intenzivního míchání po určitou dobu v aktivační nádrži. Jeho množství závisí na množství odstraněného znečištění a druhu čištění.

Aktivovaný kal se postupně rozkládá na biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu (anaerobně) nebo s přístupem vzduchu (aerobně) za vzniku tepla. Na tomto rozkladu se podílí několik základních skupin anaerobních a aerobních mikroorganismů [2], [7].



**Obr. 2 Mikroskopický obraz aktivovaného kalu, na bakteriálních vločkách aktivovaného kalu je přisedlý nálevník *Opercularia* sp. [7]**

### 3. 3. Zahuštěný přebytečný aktivovaný kal

Přebytečný aktivovaný kal, který byl zahuštěn gravitačně nebo strojně za případného užití vhodného flokulantu. Zahušťování zvyšuje obsah sušiny v tekutém kalu z 0,5-1,5 na 2-6 % a tím výrazně snižuje množství vody v kalu [5].

### 3. 4. Směsný surový kal

Směsný surový kal (SSK) vzniká smíšením primárního a zahuštěného přebytečného aktivovaného kalu. Zpracování zahuštěného směsného surového kalu na větších ČOV je nejčastěji založeno na tzv. anaerobní stabilizaci [9].

### 3. 5. Stabilizovaný kal

Stabilizace kalu je způsobem úpravy kalu. Stupeň stabilizace kalu je pojímán jako míra určitých vlastností kalu, vyjadřující vhodnost kalu pro určitý způsob jeho využití. Obecně se pokládá za stabilizovaný kal takový, který nezpůsobuje žádné škody na životním prostředí a nevyvolává obtíže při zacházení s ním. Z hlediska technologického se za stabilizovaný kal pokládá kal upravený tak, aby nedocházelo k jeho dalšímu biologickému rozkladu. Toho se docílí především snížením množství lehce rozložitelných organických látek v kalu nejčastěji aerobní nebo anaerobní fermentací na minimální mez a zastavením nebo utlumením dalšího biologického rozkladu [1].

### 3. 6. Odvodněný kal

Zpravidla stabilizovaný kal, který byl strojně, výjimečně gravitačně odvodněn vesměs za použití vhodných flokulantů [5].

## 4. CHARAKTERISTIKA KALU

### 4. 1. Složení čistírenského kalu

Kaly z městských ČOV obsahují průměrně 0,5 až 7 % sušiny, která se skládá z 60-70 % organických látek a 30-40 % anorganických látek. Tuhá fáze kalu obsahuje přibližně 80 % suspendovaných částic o velikosti zrna nad 0,1 mm a asi 20 % částic o velikosti zrna pod 0,1 mm. Údaje o průměrném množství a složení kalů se od sebe značně liší v závislosti na místních podmínkách. Většina částic kalu má charakter koloidní nebo blízký velikosti koloidů. Jednotlivé částice mají velkou povrchovou plochu. Navíc organická hmota sušiny má obvykle kapilární tvar povrchu a zadržuje se v ní velké množství vody, což způsobuje nesnadné odvodňování kalů prostou sedimentací a snadné zanášení filtračních plachetek. Kal je složen ze suspenze pevných látek a agregovaných koloidních látek původně obsažených v odpadních vodách a vzniklý při jejich čištění. Obsah sušiny (v % hm.) kalu (tab. 2) vyjadřuje koncentraci kalu, jehož složení a obsah závisí na charakteru znečištění odpadních vod a na procesech čištění, jimž byla odpadní voda podrobena (mechanické čištění, biologické čištění nebo jejich kombinace, fyzikálně-chemické čištění nebo dočištění, apod.) [2].

Typ kalu	% hm. sušiny
Primární kal	2,5-5
Aktivovaný kal	0,5-1,5
Gravitačně zahuštěný přebytečný aktivovaný kal	2-6
Směsný surový kal	4-6
Stabilizovaný kal	3-5
Odvodněný kal	20-40

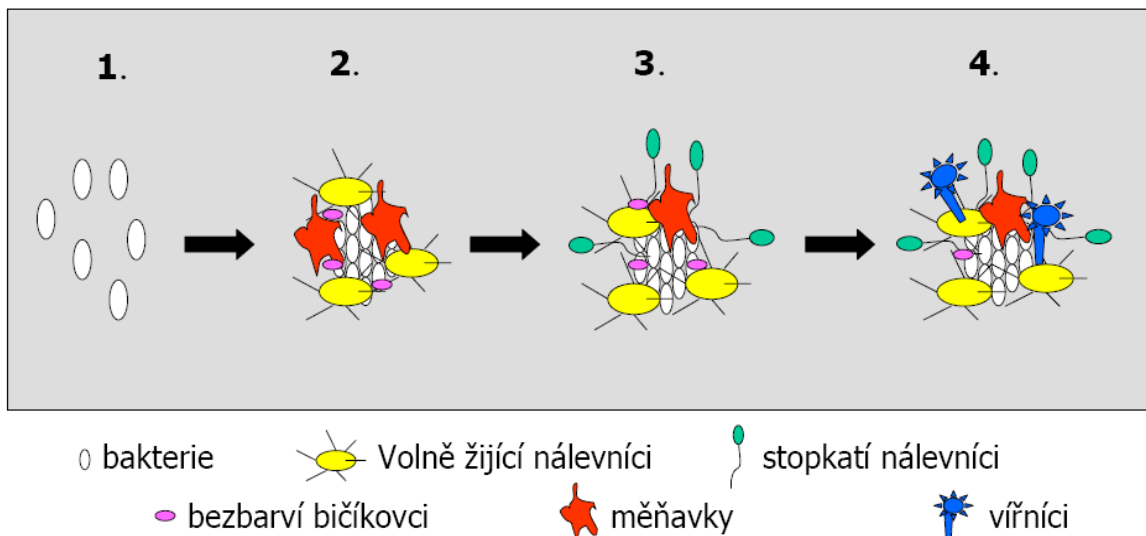
**Tab. 2 Obsah sušiny v kalu [3]**

Množství kalu k likvidaci také ovlivňuje jeho technologické zpracování (zahušťování, desintegrace, stabilizace, odvodňování, desinfekce, sušení apod.) a hlavně působení různých činidel přidávaných do procesu čištění vod nebo zpracování kalů (soli železa a hliníku, vápno, polymery apod.) [2].

#### **4. 2. Struktura kalových vloček**

Struktura vloček je zásadním faktorem při určování způsobu úpravy kalu. Vločky fungují jako mikroreaktory, které pohlcují a rozkládají znečišťující látky. Nicméně, informace o složité geometrické morfologii a mikrobiologické ekologii uvnitř vloček jsou stále nejasné. Velkou nehomogenitu a vícesložkovou strukturu biocelků je obtížné popsat pomocí jednoduché geometrie. K jejich charakteristice jsou často používány fraktály, jejichž struktury se opakují ve všech rozměrech a na všech délkových stupnicích. Mnoho studií používá fraktálních rozměrů k popisu geometrických charakteristik kalových vloček a přenosu hmoty v nich [15].

Vločka je složená ze shluků malých tyčinkovitých bakterií, které postupně obklopují měňavky, volně žijící nálevníci a bezbarví bičíkovci, dále pak stopkatí nálevníci a v poslední řadě vířníci (obr. 3). Vločky aktivovaného kalu představují heterogenní prostředí, jako výsledek kontinuální kultivace, která je ve styku s čištěnou odpadní vodou i kyslíkem. Vločky mají mikrobiální strukturu, nejsou pouhým amorfním shlukem bakterií. Kolem vloček se tvoří kapalná vrstva, která není součástí okolní pohybující se kapaliny. Látky rozpuštěné v odpadní vodě procházejí difúzí hraniční vrstvou vločky a podléhají přitažlivé síle vločky, kde jsou přítomné mikroorganismy provádějící jejich rozklad enzymatickými procesy [16].



**Obr. 3 Schéma vzniku vločky aktivovaného kalu [17]**

Podle velikosti se rozlišuje pět velikostních kategorií vloček: mikrovločky (do 50  $\mu\text{m}$ ), drobné vločky (50-250  $\mu\text{m}$ ), střední vločky (250-500  $\mu\text{m}$ ), velké vločky (500  $\mu\text{m}$  až 1 mm) a obrovské vločky (nad 1 mm). Charakter základní hmoty vloček je řídký či kompaktní, tvar vloček je hrudkovitý, cárovitý a síťovitý, složení vloček je bakteriální, mykoidní, minerální, detritové a amorfní. Důležitý je výskyt vláknitých organismů podílejících se na stavbě vloček a majících vliv na sedimentační vlastnosti.

Na velikost, tvar, strukturu a sedimentační vlastnosti vloček mají vliv přítomné organismy, které tvoří kostru vločky, zatěžují ji, způsobují její rozpad a zvětšují její povrch [16].

#### 4. 3. Hustota čistírenského kalu

Ukázalo se, že hustota kalu v podstatě závisí na druhu kalu, obsahu sušiny v kalu a na teplotě. Odlišnosti mezi hustotou různých typů kalů jsou zejména při vyšší teplotě. Obecně lze konstatovat, že z počátku měřeného teplotního intervalu 10-50  $^{\circ}\text{C}$  je hustota všech kalů vyšší než hustota vody a se zvyšující se teplotou hustota více či méně výrazně klesá [18], [20].

#### 4. 4. Viskozita čistírenského kalu

Čistírenský kal má vyšší viskozitu než voda. Tuto skutečnost popisuje Einsteinův vztah pro suspenzi:

$$\eta = \eta_0 \cdot (1 + 2,5 \cdot c_{\text{vol}}) \quad (1)$$

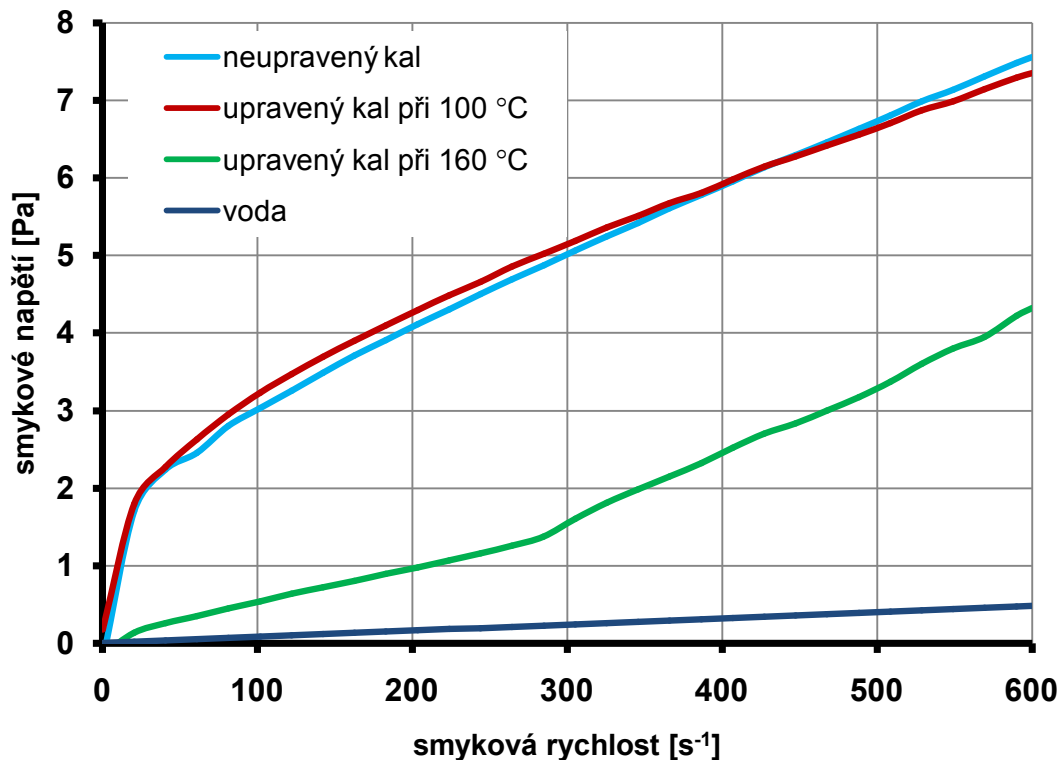
kde:  $\eta$       viskozita suspenze [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]  
 $\eta_0$       viskozita čisté kapaliny (voda) [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]  
 $c_{\text{vol}}$       objemová koncentrace  $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{m}^3}\right]$

Od určité hodnoty obsahu sušiny (přibližně 2 hm. %) se čistírenský kal chová jako neneutonská kapalina. Z tohoto důvodu není možné při návrhu procesních zařízení pracujících s kaly používat pro zjednodušení vlastnosti vody. U neneutonských tekutin neurčujeme viskozitu jako látkovou konstantu, ale tzv. zdánlivou viskozitu. Naměřená data je vhodné zpracovávat do tzv. reogramů, které znázorňují závislost smykového napětí na smykové rychlosti. Pro přepočítání smykového napětí na zdánlivou viskozitu použijeme vztah:

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

kde:  $\eta$  je zdánlivá viskozita [Pa·s]  
 $\tau$  je smykové napětí [Pa]  
 $\dot{\gamma}$  je smyková rychlost [s<sup>-1</sup>]

Na obr. 4 je zobrazen vliv tepelné úpravy na viskozitu jednoho vzorku čistírenského kalu při teplotě 30 °C. Je patrné, že tepelná úprava čistírenského kalu při teplotě 100 °C neměla téměř vliv na jeho viskozitu (respektive zdánlivou viskozitu). Výrazný vliv na snížení viskozity měla tepelná úprava při teplotě 160 °C. Protože při této teplotě dochází ke změně struktury čistírenského kalu, tak že se sníží jeho viskozita, nejedná se už o tepelnou úpravu nýbrž o dezintegraci. U čistírenských kalů tedy klesá viskozita se vzrůstající teplotou dezintegrace [18], [19].



Obr. 4 Reogramy čistírenských kalů a vody získaných při teplotě 30 °C [19]

Viskozita upraveného kalu při teplotě 160 °C je mnohem menší než viskozita kalu neupraveného. V intervalu smykové rychlosti 0-600 s<sup>-1</sup> je poměr těchto viskozit 1/5. Minimální poměr viskozit je 1/9 při smykové rychlosti kolem 40 s<sup>-1</sup> a tento poměr vzrůstá se zvyšující se smykovou rychlostí až do jeho maxima 1/2 při smykové rychlosti 600 s<sup>-1</sup>.

## 5. SOUČASNÝ STAV LIKVIDACE KALU S OHLEDEM NA LEGISLATIVU

Problematika zemědělského využívání čistírenských kalů (považován za odpad, jehož problematikou se zabývá odpadového hospodářství) se v současné době vrátila do popředí zájmu nejen vodohospodářů a zemědělců, ale i pracovníků v resortu ministerstva zdravotnictví a životního prostředí. Důvodem je především potřeba optimálního řešení kalové koncovky v nových ekonomických podmínkách a ve smyslu nové legislativy zaměřené na vyloučení možného rizika ohrožení životního prostředí [10].

V současných podmínkách naší zemědělské výroby má zvláštní důležitost dostatečný přísun humusotvorných látek do půdy. Současná produkce tradičních organických hnojiv (zejména chlévského hnoje) u nás kryje méně než 60 % potřebných organických látek v půdě. Jednou z hlavních příčin je pokles chovu hospodářských zvířat, tento trend i nadále pokračuje.

Stabilizované odvodněné čistírenské kaly představují svým bohatým obsahem organických látek, živin a biologicky aktivních látek významný doplňkový zdroj chybějících organických a ostatních hmot v zemědělsky využívané půdě. Využívání kalů z čistíren odpadních vod je výhodným způsobem využití těchto vedlejších produktů, jsou-li aplikovány cíleně, kontrolovaně a v odpovídajících přírodních podmínkách, hygienických a výrobních. Pro nesporné a ekonomické výhody, které hnojení kaly a následnými produkty z nich vyrobených přináší jak odběratelům, tak i producentům, je tento způsob využívání čistírenských kalů ve světě stále více prosazován a preferován [10].

V současné době se použití čistírenských kalů v zemědělství řídí, po přijetí nového zákona o odpadech, vyhláškou č. 382/2001 Sb. Tato vyhláška je plně v souladu se směrnicí Rady EU č. 86/278/EEC a určuje za jakých podmínek lze čistírenské kaly v zemědělství využívat [10].

V České republice je ročně vyprodukováno 175 708 tun sušiny kalu (údaj z roku 2008) z čehož přibližně 27 % je likvidováno přímou aplikací a rekultivací, 45 % kompostováním, 7 % skládkováním, 0,4 % spalováním a 22 % jinak [11].

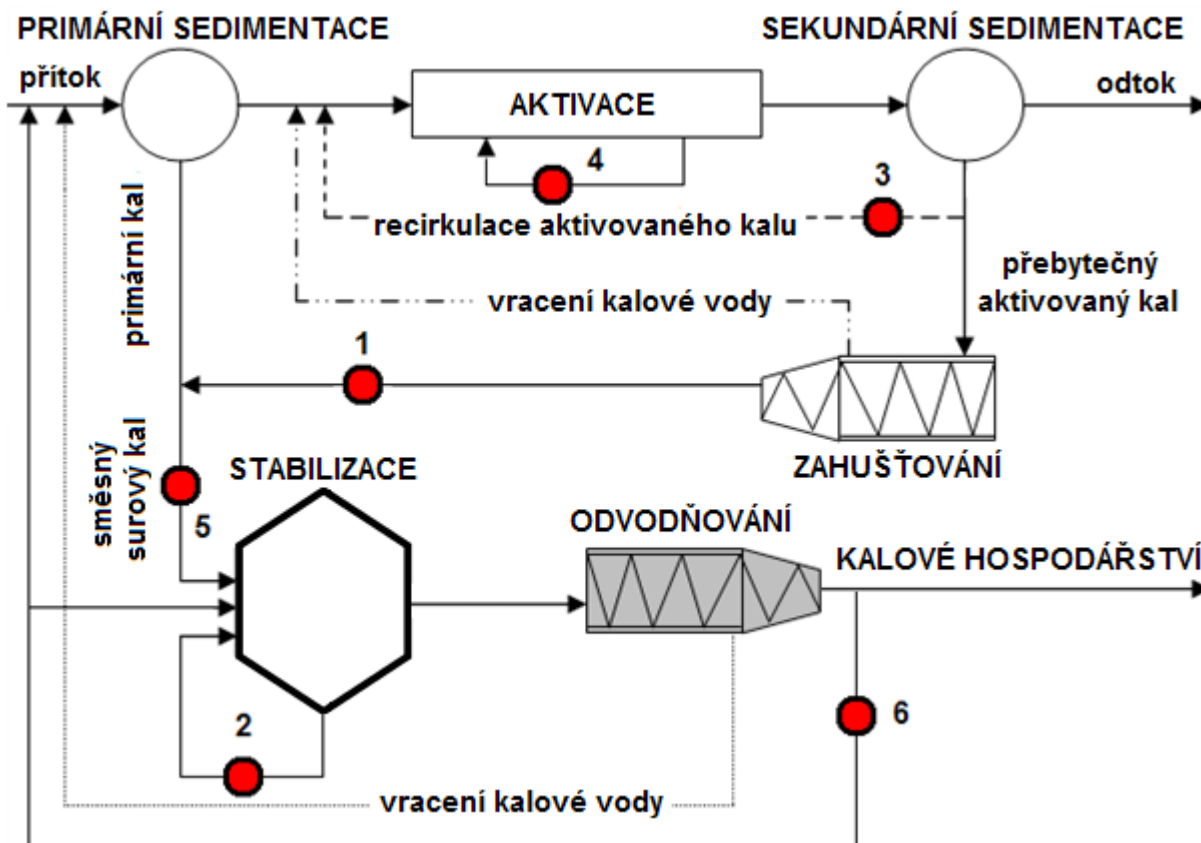
## 6. DEZINTEGRACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Předúpravy kalu, jejichž společnou charakteristikou je dezintegrace, jsou metody pro zlepšení biologické rozložitelnosti kalu. Dezintegrace je v podstatě rozbíjení vloček kalu, čímž dosáhneme zmenšení velikosti původních částic kalu. Při dalším dodání energie dochází k narušení buněčných stěn a uvolňování buněčného obsahu do roztoku, což způsobí zvýšení chemické spotřeby kyslíku (CHSK) v kapalně fázi kalu. Celková CHSK (kapalná a pevná fáze) se při dezintegraci nemění. Hodnota CHSK je mírou celkového obsahu biologicky rozložitelných a nerozložitelných organických látek v roztoku. Udává se jako hmotnost kyslíku, která je ekvivalentní spotřebě oxidačního činidla na 1 litr vody (jednotka mg/l). Na základě stanovené hodnoty CHSK se dá usuzovat na celkový obsah organických látek v roztoku, neboť ty se při stanovení uplatňují.

Výsledkem rozbití vloček a buněk je zvýšení obsahu použitelných organických látek v kalu pro další zpracování. To je výhodné především při aplikaci dezintegrace před anaerobní stabilizací, kde zvýšený obsah použitelných organických látek vede ke zvýšení produkce bioplynu z kalu (viz způsoby 1, 2 a 5 v obr. 5). Provozně nejvíce používaný způsob dezintegrace v tomto uspořádání je lyzátovací centrifuga a ultrazvuk. Primární kal lépe biologicky rozložitelný. Proto je dezintegrace k zvýšení produkce bioplynu zaměřena právě na rozbití vloček a buněk mikroorganismů přítomných v přebytečném aktivovaném kalu.

Vhodným umístěním dezintegrace v technologické lince ČOV lze zlepšit i odvodnitelnost kalu. Po odvodnění kalu je kalová voda (fugát) z odvodňovacího zařízení vracena zpět do linky ČOV. Vlivem rozbitých vloček a buněk je zvýšena hodnota CHSK ve fugátu, která nesmí přesáhnout přijatelnou hranici pro správný provoz komunální čistírny odpadních vod [10], [12], [21], [22].

Obr. 5 znázorňuje možné způsoby umístění dezintegrace v čistírně odpadních vod (červené body):



1 – dezintegrace přebytečného aktivovaného kalu před stabilizací, 2 – dezintegrace stabilizovaného kalu s vrácením do anaerobního reaktoru, 3 – dezintegrace vráceného aktivovaného kalu, 4 – dezintegrace části aktivační směsi (příprava substrátu pro denitrifikaci), 5 – dezintegrace směsného surového kalu před stabilizací, 6 – dezintegrace odvodněného stabilizovaného kalu a jeho recirkulace do stabilizace nebo před primární sedimentací.

Obr. 5 Způsoby umístění dezintegrace v ČOV [1], [28]

## 6. 1. Mechanické metody dezintegrace

Sem patří různé způsoby dezintegrace tuhých složek mletím substrátu kulovými mlýny, vysokotlakým homogénizátorem a lyzátovací zahušťovací centrifugou [10].

Cílem je zmenšení velikosti vloček a buněk a homogénizace kalu. Účinnost dezintegrace závisí na použitém zařízení a vložené energii [13].

## 6. 2. Chemické metody dezintegrace

Chemické metody dezintegrace se dají rozdělit na dvě hlavní metody. Jsou to chemická hydrolýza a chemická oxidace. Chemickou hydrolýzu provádíme kyselinami nebo alkáliemi. Chemická oxidace se provádí jako mokrá oxidace (např. proces KREPRO firmy Kemira Kemwater AB) pomocí oxidačního činidla. Vhodnými činidly jsou ozon, peroxid vodíku nebo kyslík [10].

Průmyslové kaly ze společnosti BAYER, Německo byly úspěšně dezintegrovány ozonem v průmyslovém měřítku. Je nutno poznamenat, že ozonizace navíc představuje využití zbytkového ozonu.

Chemické způsoby mohou být zejména v laboratorním měřítku, použity pro specifické uvolnění některých biologicky aktivních látek do roztoku. Specifická aktivita takto získaných produktů může být podstatně vyšší než při použití fyzikálních způsobů dezintegrace [14].

## 6. 3. Fyzikální metody dezintegrace

Z hlediska provozních aplikací jsou z této skupiny nejrozšířenější termická hydrolýza (Rapid Thermal Reactor (RTR) a proces termické hydrolýzy (THP) firmy Cambi) a dezintegrace ultrazvukem. Obě metody a jejich výhody jsou popsány níže. Dalšími metodami jsou zmrazování - rozmrazování, osmotické šoky, plazmové pulsy, ionizující záření [10], [33].

## 6. 4. Biologické metody dezintegrace

Biologické metody dezintegrace představují slibný způsob do budoucna. Mezi tyto metody patří enzymová lyze a autolýza. Při autolýze jsou enzymy vyprodukovány v procesu dezintegrace. Oproti tomu se při enzymové lyze používá čistých komerčně vyráběných enzymů – např. celulóza, baktériové kultury a anaerobní houby [10].

V současnosti není dostatek provozních aplikací, které by zdůvodňovali ekonomickou výhodnost těchto metod [33].

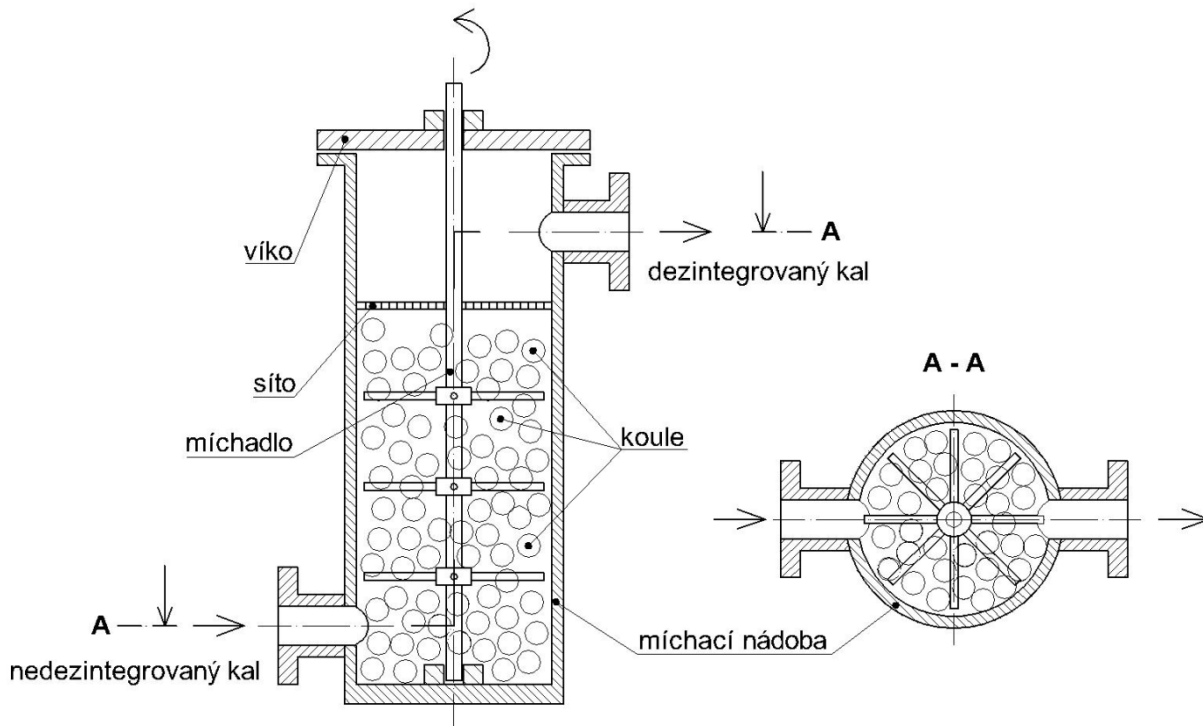
## 6. 5. Popis vybraných způsobů dezintegrace čistírenských kalů

### 6. 5. 1. Dezintegrace mletím v kulovém mlýnu

Vysokorychlostní kulový mlýn (obr. 6) je složen z válcové mēlníci komory (1 m<sup>3</sup>), která má vertikální nebo horizontální polohu. V komoře jsou instalovány rotující „prsty“, které jsou upevněny na hřídeli poháněné motorem (míchadlo). Komora je téměř celá naplněna mēlníci koulemi. Jako koule, jejichž průměr je okolo 0,1-2 mm, lze použít sklo, keramiku nebo ocel. Rotační pohyb míchadla uvádí do pohybu koule a upravovaný materiál. Vlivem vzájemných srážek koulí a jejich nárazů na stěnu míchací nádoby dochází k tomu, že

mikroorganismy jsou dezintegrovány střížnými a tlakovými silami. Tento proces probíhá za tvorby velkého množství odpadního tepla [23].

Při kontinuálním provozu jsou koule uzavřeny sítím, zatímco suspenze dezintegrovaného kalu proudí skrz síto a opouští mělnicí komoru. Účinnost tohoto procesu na dezintegraci kalu závisí na množství vložené energie, hydrodynamice míchání, rozměru koulí (menší koule jsou účinnější), geometrii mlecí komory, teplotě procesu, hustotě upravované suspenze a zatížení [23].

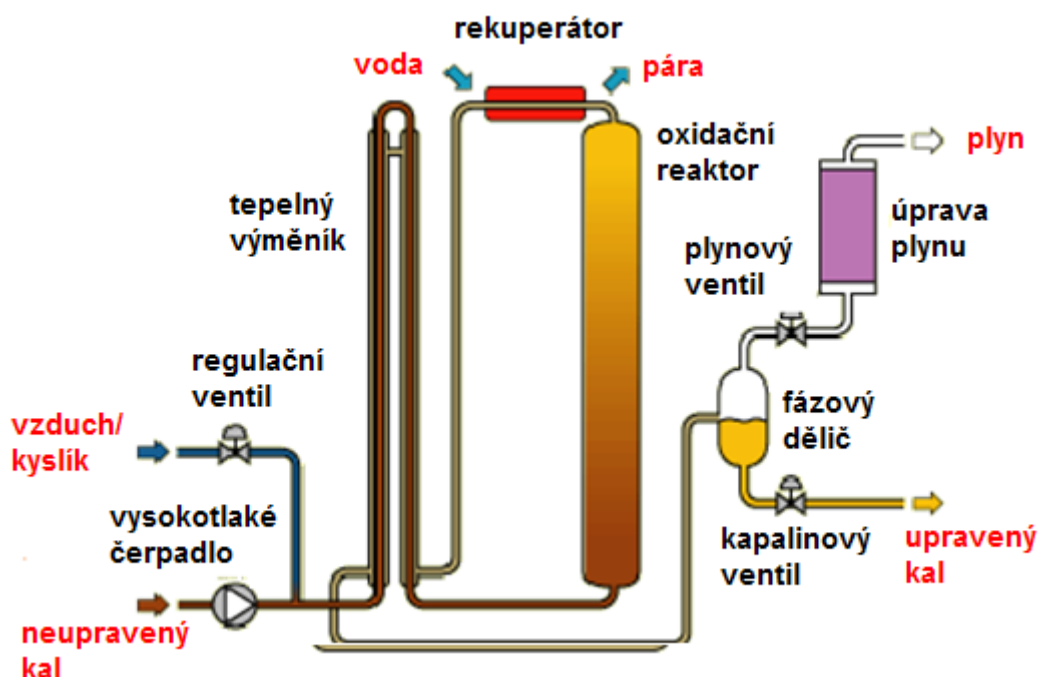


**Obr. 6 Schéma kulového mlýnu [24]**

### 6. 5. 2. Mokrú oxidace

Zvláštní místo mezi chemickými dezintegračními metodami zaujímá mokrá oxidace organických látek v katech oxidačním činidlem. Při použití silných oxidačních činidel lze provést mokrou oxidaci i při okolní teplotě.

Oxidace je vedena v kontinuálních probublávaných reaktorech (obr. 7). Principem metody je oxidace tekutého kalu za přístupu vzduchu nebo čistého kyslíku při teplotě 200-300 °C, tlaku 4-6 MPa a době zdržení 60 minut. Za těchto podmínek je 75-90 % organických látek v kalu převedeno do kapalné fáze. Vzhledem k tomu, že kapalná fáze obsahuje vyšší koncentrace amoniakálního dusíku, uvolněného mineralizací kalu, přidává se do systému katalyzátor (na bázi Cu). Protože proces mokré oxidace je za těchto podmínek exotermní, je celkový proces energeticky aktivní. Kapalná fáze je bohatá na snadno rozložitelné látky (okolo 10g/l CHSK) a může být použita jako externí substrát pro denitrifikaci. Tuhá fáze, obsahující zejména minerální látky a zbytek organického podílu je snadno odvodnitelná klasickými metodami, i bez přidání flokulačních přísad lze dosáhnout sušiny až 50 %. Nevýhodou je značně korozivní prostředí kladoucí velké nároky na materiál reaktoru [25], [34].



Obr. 7 Proces mokré oxidace [27]

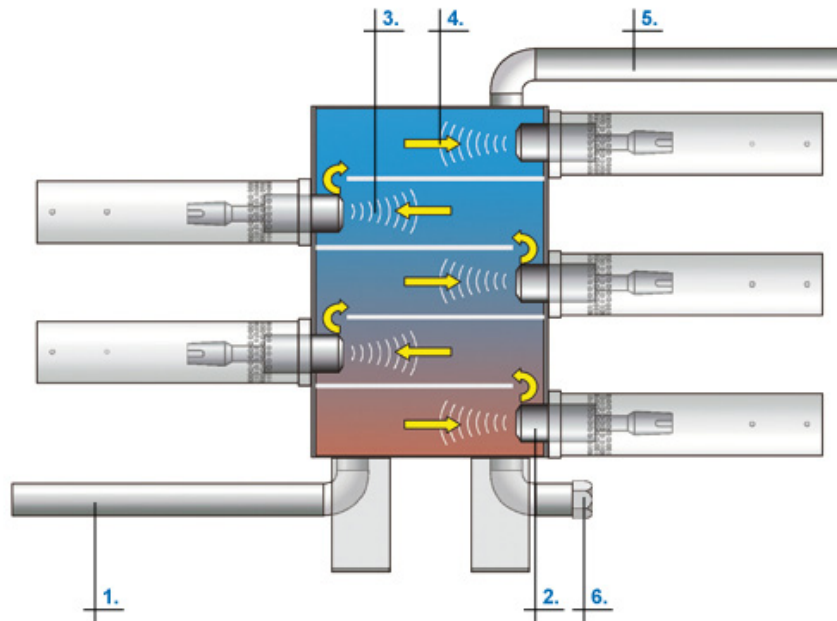
### 6. 5. 3. Dezintegrace ultrazvukem

Dezintegrace ultrazvukem patří mezi fyzikální metody dezintegrace kalu. Metoda použití ultrazvuku využívá kavitace, opírající se o princip periodického stlačování a uvolňování kalu. Ve velice malých intervalech (milisekundy) vznikají kavitační bubliny a při jejich implozi dojde k vytvoření specifických lokálních podmínek (vysoká teplota a tlak), které vedou k dezintegraci buněk. Podle dodaného množství energie lze dosáhnout jen poškození struktury buněk, nebo úplného rozkladu [28].

Teplota a tlak uvnitř praskajících bublin vzroste až na 5 000 K a několik stovek atmosfér. Delším působením hydromechanické střížné síly produkované ultrazvukovou kavitací se poruší buněčné membrány a jiné buněčné struktury a rozpuštěné organické látky jsou uvolněny do roztoku. Mechanické síly jsou nejefektivnější při frekvencích 20-100 kHz [23].

V současné době se rozvíjí aplikování ultrazvukové dezintegrace organických suspenzí při rozčleněném proudu s použitím vysokovýkonného ultrazvuku [10].

Zobrazený ultrazvukový reaktor (obr. 8) je od firmy SONOTRONIC s pěti ultrazvukovými vysílači s frekvencí 20 kHz. Jeho výstupní výkon je 5 kW a objemový tok 30 m<sup>3</sup> za den.



*1 – přívodní trubka neupraveného kalu, 2 – ultrazvukový vysílač, 3 – kavitační pole, 4 – směr proudění kalu v reaktoru, 5 – odpadní trubka upraveného kalu, 6 – odvod vody z reaktoru*

**Obr. 8 Ultrazvukový reaktor [29]**

#### 6. 5. 4. Termická hydrolýza

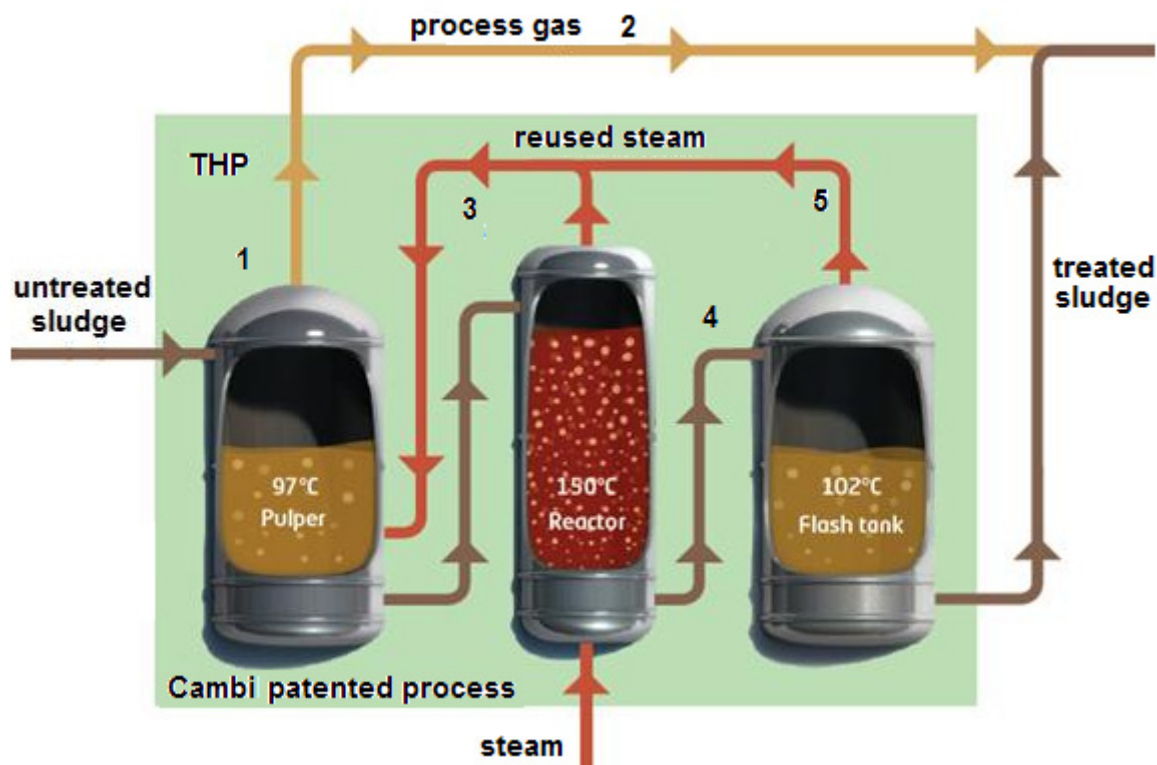
Jedná se o fyzikální metodu dezintegrace kalu. Probíhá za zvýšené teploty (140-190 °C) a tlaku (10-15 bar) po dobu 20-120 minut. Výsledkem je výrazné snížení viskozity kalu, umožňující pohodlné čerpání kalu o sušině až 12 % do vyhnívacích nádrží. Literatura uvádí dosahovaný stupeň dezintegrace buněk, vyjádřený účinností dezintegrace 30 - 40% [28].

Výzkum v oblasti termické hydrolýzy za účelem zlepšení procesu anaerobní stabilizace čistírenských kalů začal v sedmdesátých letech minulého století. Byl zde však problém například s vysokotlakým čerpáním kalu, nespolehlivostí výměníků tepla a s rychlým opotřebením některých prvků technologie. V devadesátých letech se termická hydrolýza začala věnovat norská firma Cambi, která dovedla termickou hydrolýzu do provozního uplatnění [28].

Termická hydrolýza firmy Cambi je osvědčená a spolehlivá technologie, která se používá na celém světě od roku 1995. Jedná se o vysokotlakou parní předúpravu anaerobně vyhnívaných komunálních a průmyslových kalů a bio-odpadu. Výsledky této technologie prokázaly urychlení plnění vyhnívací nádrže až na dvojnásobek, dále pak zvýšení výroby bioplynu a stabilizované sušiny zbavené patogenů. Tím se šetří náklady na dopravu a energii. Konečný produkt může být použit přímo v zemědělství nebo po jeho sušení jako hnojivo nebo biopalivo [30].

Proces termické hydrolýzy znázorňuje obr. 9. Strojně zahuštěný kal je odváděn do homogenizační nádrže (Pulper), kde je míchán a předehříván na přibližně 100 °C recyklovanou párou z reaktoru (reaktorů) a expanderu (Flash tank). Používá se až 6 reaktorů v jedné řadě. Vzniklé plyny (process gas) jsou z důvodu eliminace zápachu dopravovány do vyhnívací nádrže pomocí kompresoru.

Termální hydrolýza probíhá v reaktoru (reaktorech) při 165 °C po dobu 20-30 minut. Při procesu se uvolňují páry (reused steam), které jsou posílány zpět do homogenizační nádrže (Pulper). Teplý kal pak rychle přechází do expanderu (Flash tank), což má za následek zničení buněk za poklesu tlaku (parní exploze). Teplota kalu v expanderu klesne uvolněním páry přibližně na 100 °C. Tato pára je odváděna zpět do homogenizační nádrže (Pulper) [30].



*1 – homogenizační nádrž (Pulper), 2 – odvod vzniklých plynů, 3 – přívod uvolněných par z reaktoru, 4 – přívod teplého kalu do expanderu (Flash tank), 5 – odvod páry z expanderu.*

**Obr. 9 Proces termické hydrolýzy [30]**

V České republice byla vyvinuta modifikace termické hydrolýzy kalu tzv. „Rychlá termická kondicionace biomasy“. Materiál je podroben ohřevu po dobu několika minut, při teplotě 100-200 °C a tlaku 0,1-1,3 MPa. Poté dojde k rychlému uvolnění tlaku a snížení teploty, což způsobí destrukci buněk a uvolnění jejich obsahu do roztoku [33].

## 6. 6. Srovnání vybraných způsobů dezintegrace

Baier a Schmidheiny (1997) používali pro mechanickou dezintegraci kulového mlýnu a uváděli dosažení vysokého stupně narušení buněk, kde rozpuštěná CHSK může být z původních 1 až 5 % zvýšena až na 47 % celkového CHSK po mletí. Účinnost dezintegrace závisí na použitém zařízení a vložené energii [13], [24], [28].

Oxidačního rozkladu i velmi odolných sloučenin lze dosáhnout kombinací mokré oxidace s chemickými oxidačními procesy. Kal získaný mokrou oxidací má dobré sedimentační a odvodňovací vlastnosti, nízký filtrační odpor, je biologicky stabilní a je ho menší množství. Tato metoda patří mezi vysoce účinné způsoby dezintegrace, avšak nenašla dosud (pro městské kaly) takové uplatnění jako metody fyzikální [25], [31].

Dezintegrace ultrazvukem je charakterizována vysokou flexibilitou. U této metody je nutné zdůraznit, že pouze část celkové produkce kalu (obvykle 30 %) je podrobena dezintegraci. Hlavní úspory se dají získat ultrazvukovou dezintegrací při rozčleněném proudě [28], [10].

Použitím ultrazvuku na zpracování kalů a odpadů lze dosáhnout různých výsledků, jako jsou zlepšení vyhnívání a odvodnění, zlepšení zahušťování přebytečného kalu, snížení množství flokulantů a nižší náklady na likvidaci odpadu v důsledku zvýšení množství sušiny v anaerobně stabilizovaném kalu. Kal je mimo jiné i dostatečně hygienizován. Zvýšení destrukce pevných částic, které se promítne do vyšší produkce bioplynu a možnosti provozovat reaktory ve stabilnějším režimu, či dokonce zkrácení doby zdržení na 12-15 dní, zajišťuje technologiím limitovaným objemem reaktorů pracovat efektivněji, tedy lépe a levněji [32], [33].

Dezintegrace ultrazvukem se obvykle umísťuje na ČOV před stabilizaci kalu (viz. obr. 5).

Mezi hlavní výhody použití termické hydrolýzy patří především zvýšení rozložitelnosti kalu a tím i zvýšení produkce bioplynu, snížení produkce kalu, vyšší rychlost vyhnívání, stabilní a spolehlivý provoz vyhnívací nádrže, eliminace problému pěnění způsobeného vláknitými bakteriemi (*Nocardia*, atd.). Odvodnitelnost kalu se zlepšila na 30-40% sušiny. I přes nutné vnosy energie (teploty a tlaku) je proces energeticky pozitivní. Dezintegrováný kal je považován za dostatečně hygienizovaný [28], [30], [33].

Za nejvhodnější metodou pro přípravu lyzátu lze považovat tu, která vykazuje nejvyšší účinnost destrukce a dává nejaktivnější lyzát. Nejlepší výsledky z hlediska aktivity lyzátu vykazují metody mechanické destrukce. Nejvyššího rozšíření provozní aplikace v současné době dosahují dezintegrace ultrazvukem a termická dezintegrace [28].

## 7. VÝBĚR TYPU DEZINTEGRACE NA KONKRÉTNÍ ČISTÍRNU

### 7. 1. Hygienizace kalu

Některými metodami dezintegrace kalu lze dosáhnout i jeho hygienizace, při které dochází k usmrcování mikroorganismů. Hlavním důvodem hygienizace kalů je to, že takto upravený kal s minimálním množstvím choroboplodných zárodků je pak možné použít na zemědělskou půdu. Hygienizační metody dělíme do dvou hlavních skupin:

- Chemické metody – zahrnují reakci s chemickými činidly (vápno, minerální kyseliny).
- Fyzikální metody – zahrnují působení teploty, radiace (ionizujícího záření), ultrazvuk (nepoužívá se pro primární kaly), apod.

Všechny metody zničí buňky většiny mikroorganismů a u fyzikálních metod dojde také ke zmenšení velikosti částic kalu (desintegraci). Volba metody hygienizace kalu je závislá na technologii stabilizace kalů a na velikosti čistírny odpadních vod. Termické procesy se především z ekonomických důvodů používají na velkých čistírnách. [2], [34].

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 ze dne 3. října 2002, týkajících se vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě, stanovuje veterinární a hygienická pravidla pro shromažďování, přepravu, skladování, manipulaci, zpracování, použití a likvidaci vedlejších živočišných produktů. Účelem je zabránit tomu, aby představovaly nebezpečí pro zdraví zvířat nebo lidí. Podle tohoto Nařízení musí být tyto produkty hygienizovány.

## 7. 2. Pasterizace

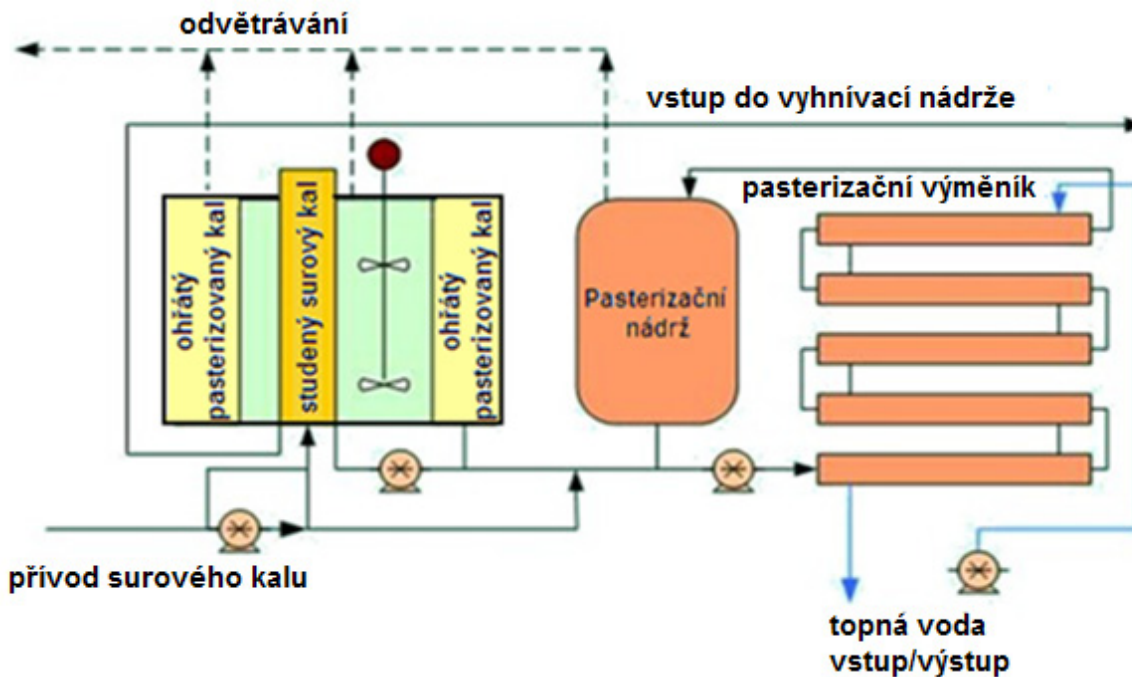
Pasterizace je tepelný způsob hygienizace kalu. V případech, kdy ČOV odebírá např. odpadní vodu z jatek, která není předem hygienizována ani mechanicky upravena k odstranění vedlejších živočišných produktů, je třeba zajistit, aby tato ČOV produkovala hygienicky nezávadný kal. Toho lze dosáhnout zavedením pasterizační linky na ČOV (obr. 10). Pasterizační aparát (pastér) je zařízení na zpracování kalu, ve kterém dochází k usmrcení patogenních mikroorganismů (enterokoky, termotolerantní bakterie i salmonely) ohřátím kalu.

Několik institucí uvádí závislost teploty na době zdržení k produkci hygienicky nezávadného kalu při pasterizaci (tab. 3). Na základě těchto údajů je třeba zvolit požadovanou dobu zdržení, resp. objem reaktoru.

Zdroj	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Feachem	24 hodin	6 hodin	2 hodiny	0,5 hodin	0,12 hodin
EPA < 7% sušiny	5 dní	1 den	5 hodin	1 hodina	0,5 hodin
EPA > 7 % sušiny	13 dní	2,7 dní	13 hodin	2,6 hodin	0,5 hodin
ATV/ VKS	23 hodin	8,5 hodin	3,2 hodin	23 hodin	0,5 hodin

**Tab. 3 Závislost teploty na době zdržení při pasterizaci [35]**

Pasterizační linka je tvořena pasterizační nádrží, rekuperačním výměníkem a rekuperačním výměníkem, čerpadly, potrubním propojením a armaturami. Čerstvý kal je čerpán do vnitřní komory rekuperačního výměníku. Vnější komora výměníku je plněná ohřátým hygienizovaným (pasterizovaným) kalem, který je čerpán z pasterizační nádrže. K proběhnutí rekuperace je důležité míchání vnitřní komory rekuperačního výměníku, čímž dojde k předání tepla mezi horkým a chladným kalem. Předehřátý surový kal je čerpán do pasterizačního výměníku, kde dojde k jeho ohřátí. Dodržení potřebné teploty v pasterizační nádrži je snímáno měřiči teploty v této nádrži. Pasterizovaný kal je opětovně využit k předehřátí surového vstupního kalu v rekuperačním výměníku. Dojde tak ke zchlazení pasterizovaného kalu, který pak odchází do vyhnivací nádrže, kde dojde k jeho stabilizaci [2], [36].



Obr. 10 Pasterizační linka [2]

### 7. 3. Srovnání termické dezintegrace a pasterizace

Rozdíl mezi pasterizací a termickou dezintegrací je především v teplotě. Pasterizace probíhá při teplotě kolem 60-70 °C a termická dezintegrace při teplotě 150-180 °C. Doba zdržení u pasterizace při teplotě 70 °C je dána legislativou nejméně 30 minut. Doba zdržení u termické dezintegrace legislativou dána není a podle zkušeností v praxi se používá 20-30 minut. Z tab. 3 je jasné, že termická dezintegrace zcela určitě dodržuje požadavky hygienizace. To znamená, že kal je považován za dostatečně hygienizovaný. Termickou dezintegrací se také mění struktura kalu a díky této změně je dosahováno až 40 % obsahu sušiny v odvodněném kalu, tedy i výrazného snížení produkce kalu. Při pasterizaci ke změně struktury nedochází a je dosahován obsah sušiny v kalu přibližně 25 %.

Výhody termické dezintegrace jsou, že kal je během dezintegrace nejen hygienizován, ale také příznivě připraven pro další zpracování (produkce bioplynu, zahušťování). Zvýšení biologické rozložitelnosti kalu a tím i zvýšení produkce bioplynu dosáhneme v případě umístění dezintegrace před anaerobní stabilizaci. Spotřeba energie, stejně jako u pasterizace, přiváděné z vnějšku je díky rekuperaci tepla relativně nízká a při produkci bioplynu je tato potřeba ještě nižší [2], [30], [33].

### 7. 4. Pasterizace čistírenských kalů v ČR

V ČR je několik čistíren odpadních vod, kde je používána pasterizace na hygienizaci kalu. Registr, který by uváděl celkový počet těchto ČOV, nebyl dosud vytvořen. V rámci bakalářské práce se podařilo některé z nich zjistit a jsou spolu s dalšími jejich charakterizačními údaji uvedeny v tab. 4. Jedná se vesměs o ČOV, kde byla pasterizace instalována v rámci rekonstrukce a intenzifikace. Některá z těchto zařízení odebírají odpadní vodu z jatek (Sedlčany, Tišnov) a pasterizace zde byla zřízena jako reakce

na Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002. Údaje o roční produkci kalu jsou z roku 2009.

V ČR bylo v roce 2008 vyprodukováno 175 708 tun sušiny kalu. Celková produkce kalu z ČOV, kde se používá pasterizace, v roce 2009 byla 2 898 tun sušiny kalu, což tvoří přibližně 1,65 % roční produkce kalu v ČR. Do výpočtu nebyly zahrnuty celkové produkce kalu z ČOV Bystřice pod Hostýnem, jejíž roční produkce kalu nebyla zjištěna a z ČOV Uherský Brod, kde je pasterizace plánována v rámci rekonstrukce a intenzifikace ČOV. Podíl pasterizovaného kalu v ČR je tedy pravděpodobně okolo 2 %. Z toho je patrné, že problematika pasterizace kalu v současné době představuje pouze okrajový problém, který vzhledem k náročnosti procesu pasterizace nechává možnosti k provozním zlepšením.

Místo	EO	Množství kalu [ $\frac{\text{tun sušiny}}{\text{rok}}$ ]	Důvod tepelné úpravy	Topné médium	Teplota
<b>Bystřice pod Hostýnem</b>	16 800	<i>nezjištěno</i>	odpadní voda z průmyslu a mlékárny	ohřátý kal z reaktoru	60 °C
<b>Jičín</b>	35 000	717,7 *	dosažení předepsaných emisních standardů	topná voda z kotle	70 °C
<b>Sedlčany</b>	23 000	844,15	odstranění havarijního stavu a reakce na legislativní požadavky	voda z chlazení kogeneračních jednotek a z rekuperace tepla	65-72 °C
<b>Svitavy</b>	17 000	220 **	reakce na změny složení odpadních vod a legislativní požadavky	topná voda z kotle	70 °C
<b>Tišnov - Březina</b>	18 000	272	odpadní voda z masny	topná voda z kotle	70 °C
<b>Třebíč</b>	69 833	844,4	reakce na zákon č. 185/2001 a Vyhlášku MŽP č. 382/2001 Sb.	ohřátý kal z reaktoru	62-65 °C
<b>Uherský Brod</b> současný stav	75 578	726	důvodem pro rekonstrukci je odstranění havarijního stavu ČOV a splnění současných legislativních požadavků	horká pára	<i>nezjištěno</i>
plánovaná intenzifikace	97 170	-			

\* ČOV Jičín je v současné době ve zkušebním provozu, proto údaje mohou být zatíženy chybou.

\*\* údaj z roku 2008

**Tab. 4 Čistírny odpadních vod, kde je použita pasterizace, údaje z roku 2009, rešerše autora, [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42], [43], [44]**

## 7. 5. Výběr typu dezintegrace

Výběr typu dezintegrace byl proveden pro ČOV Tišnov-Březina, kde je využíváno pasterizace kalu (viz tab. 4). Projektovaná kapacita ČOV je 18 000 EO a v současné době zatížení této kapacity odpovídá. ČOV Tišnov-Březina byla vybrána, protože je zde z legislativních důvodů instalováno zařízení, či proces zpracování, který je podobný termické dezintegraci, ale nevykazuje takové výhody jako dezintegrace.

Instalovaná pasterizační linka se skládá ze dvou reaktorů, které zpracovávají kal při teplotě 70 °C. V jednom reaktoru je kal pasterizován a tento ohřátý pasterizovaný kal je využíván k ohřátí kalu v druhém reaktoru. Tím se dosáhne teploty v druhém reaktoru až 40 °C. Chybějící teplo k ohřátí na požadovaných 70 °C je získáno přívodem topné vody z kotle, který je vytápěn pomocí bioplynu. Pasterizovaný kal je pak čerpán do uskladňovací nádrže a dále pak odvodněn na odstředivce.

Je zde upravován kal nejen z Tišnova, ale i z dalších 3 okolních ČOV a jateční odpad z masny v Tišnově. Jedná se o živočišný odpad o vysoké koncentraci sušiny (až 30 % hm.) a ještě vyšší objemové koncentraci zbytků z jatek (až 50 %) a při rozměrech částic odpadů až 2,5 cm [45].

Přestože jednou z provozně nejpoužívanějších metod dezintegrace kalu je ultrazvuk, na této ČOV by nebylo vhodné ho použít. Důvodem je, že při velikosti odpadních částic až 2,5 cm by nebyla zabezpečena hygienizace. Dalším důvodem je, že dezintegrace ultrazvukem je hlavně používána v rozčleněném proudu a pro přebytečný aktivovaný kal. Zkušenosti s účinností hygienizace surového, resp. anaerobně stabilizovaného kalu ultrazvukem neexistují.

S výhodou by zde šlo použít zařízení na termickou dezintegraci kalu a to na stejném místě v kalové lince jako je použita pasterizace. Z tohoto důvodu by se provozní linka ČOV nemusela příliš měnit. Další výhodou kromě hygienizace kalu při termické dezintegraci by měla být ve vyšším obsahu sušiny v odvodněném kalu a tedy menší produkce odvodněného (odpadního) kalu.

Z důvodů uvedených výše byla tedy na čistírnu vybrána termická dezintegrace kalu a porovnána se současnou pasterizací kalu. Dosažitelný obsah vody v kalu po odvodnění je při pasterizaci 73 % a při dezintegraci 60 %.

Zjednodušená ekonomická bilance byla provedena na základě získaných údajů o roční produkci kalu na ČOV Tišnov-Březina. Výpočet se týkal především teoretických ročních nákladů na likvidaci kalu získaného pasterizací a ty byly porovnány s teoretickými náklady na likvidaci kalu získaného termickou dezintegrací. Výpočet znázorňuje tab. 5.

	Pasterizace	Tepelná dezintegrace
<b>Dosažitelný obsah sušiny v kalu po odvodnění [%]:</b>	27	40
<b>Odvodněný kal [t/rok]:</b>	1 007	680
<b>Cena za likvidaci 1t kalu [Kč/t]:</b>	450	
<b>Roční náklady na likvidaci [Kč/rok]:</b>	453 333	306 000
<b>Rozdíl nákladů na likvidaci [Kč/rok]:</b>	147 333	

**Tab. 5 Roční náklady na likvidaci kalu**

Z výsledků vyplývá, že dezintegrací kalu je dosaženo většího obsahu sušiny a tím i menšího množství odvodněného kalu. Při stejné ceně za likvidaci jedné tuny odvodněného kalu je vidět, že roční náklady při dezintegraci jsou o 147 333 Kč menší než při pasterizaci.

Tedy co se týče roční produkce kalu a nákladů za jeho likvidaci, by bylo výhodnější kal na ČOV Tišnov termicky dezintegrovat. Nejedná se ale o celkovou finanční bilanci ročních nákladů na provoz ČOV, proto nelze říct, že by tepelná dezintegrace byla celkově ekonomicky výhodnější. Do výpočtu by muselo být zahrnuto více aspektů, jako jsou například pořizovací cena zařízení (zařízení na dezintegraci je mnohem dražší) a energetické náklady na provoz zařízení (energetické náklady na dezintegraci jsou také vyšší).

## 8. ZÁVĚR

Kal je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Produkci kalu nelze zabránit, lze však vhodnými metodami jeho produkci snížit. Snahou Evropské unie je potlačit ukládání kalů na skládky, snížení jejich produkce a bezpečné recyklace.

Jednou z metod, při které dochází ke snížení produkce kalu, je dezintegrace, která je v současné době úspěšně využívána na několika čistírnách odpadních vod. Způsobů jak kaly dezintegrovat je mnoho a některé z nich byly podrobněji popsány. Použití této metody úpravy kalu má i pozitivní účinky na lepší provoz ČOV, protože zlepšuje jeho vlastnosti.

Vhodný výběr typu dezintegrace záleží na mnoha faktorech. Jedním z nich je ekonomická bilance na likvidaci vyprodukovaného kalu z ČOV. Pro názornost byl sestaven ukázkový příklad, kde je řešeno porovnání termické dezintegrace a pasterizace kalu, používané na ČOV v Tišnově-Březina. Použití pasterizace kalu je podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 nutná pro úpravu vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě. ČOV Tišnov-Březina tyto produkty odebírá z masny a tato čistírna byla vybrána, protože je zde užito pasterizace, která umožňuje splnit legislativní požadavky. Termická dezintegrace také splňuje legislativní požadavky na jakost kalu a je tedy nutné zvážit a srovnat náklady na dezintegraci, které jsou vyšší než u pasterizace s náklady na likvidaci odpadního kalu, jehož produkce je díky pasterizaci zvýšená. Provozní náklady termické dezintegrace a pasterizace a jejich porovnání budou předmětem navazující diplomové práce.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DOHÁNYOS, M. *Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů*. Biom.cz [online]. 2006-05-09 [cit. 2009-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
- [2] *Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů* [online]. 2005 [cit. 2009-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy2005/Bara/charakter.html>>.
- [3] *Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě - Příloha č. 4 k vyhlášce č. 382/2001 Sb* [online]. 2001. Praha: 2008 [cit. 2010-0222]. Dostupné z WWW: <<http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/384b1f568b108495c12570060046ea82?OpenDocument>>.
- [4] Ústav procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT. *Odpadní vody* [online]. [cit. 1-24-2010]. Dostupné z WWW: <<http://www.fs.cvut.cz/cz/u218/pedagog/predmety/5rocnik/tov/studmat/pdf/odpadniv.pdf>>.
- [5] PYTL, V. a kol.: *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. 1. vyd. Praha: Medium, spol. s r. o., 2004. s. 34-38. ISBN 80-239-2528-8.
- [6] ŽABIČKA, Z. *Ukázka části textu z knihy Odvodnění staveb*. [online]. 20.11 2008. [cit. 3-2-2010]. Dostupné z WWW: <<http://www.garten.cz/a/cz/4684-odpadni-voda-vlastnosti-a-podminky-pro-pouziti-1/>>.
- [7] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Aktivovaný kal*. *Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2010-03-02]. Dostupné z WWW: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/ebook.html?p=A007](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=A007)>.
- [8] TUROVSKIY, I. S.; et al. *Wastewater sludge processing*, Wiley & Son Inc., Hoboken, New Jersey (2006), ISBN: 978-0-471-70054-8.
- [9] PÍŠKOVÁ, M., NEJESA, M. *Odpady a jejich využití* [online], 2007 [cit. 2010-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://czu.kbx.cz/4.rocnik/Odpady%20a%20jejich%20vyu%9Eit%ED/Odpady%20a%20jejich%20vyu%9Eit%ED.pdf>>.
- [10] SEDLÁČEK, M; DOHÁNYOS, M a kolektiv. *Kaly a odpady '02*. Ostrava: CICERO. s. 77-79. ISBN 80-238-9476-5.
- [11] Český statistický úřad. *Vodovody, kanalizace a vodní toky, obsah* [online]. Aktualizováno dne: 9. 10. 2009. Praha: 4. 5. 2009. [cit. 2010-03-14]. 2003-09. Dostupné z WWW: <[http://www.czso.cz/csu/2009edicniplan.nsf/t/A70043D7ED/\\$File/w20030911.pdf](http://www.czso.cz/csu/2009edicniplan.nsf/t/A70043D7ED/$File/w20030911.pdf)>.

- [12] DOHÁNYOS, M. *Zvyšování efektivity fermentace-nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi. Biom.cz* [online]. 2009-02-25 [cit. 2010-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivita-fermentace-nejnovejsi-poznatk-ve-vyzkumu-a-praxi>>. ISSN: 1801-2655
- [13] DOHÁNYOS, M. *Česká bioplynová asociace: národní technologická platforma-bioplyn* [online]. Závislost výtěžku metanu na složení a předúpravě suroviny. 2009 [cit. 2010-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=veda-a-vyzkum&nid=zavislost-vytezku-metanu-na-slozeni-a-preduprave-suroviny>>.
- [14] ŠAFAŘÍK, Ivo. Chemické způsoby dezintegrace mikrobiálních buněk. *Chemické listy*. 1991, 85 s. 1194-1202. Dostupné z WWW: <<http://www.usbe.cas.cz/people/safarik/1-chemicka-desintegrace.pdf>>.
- [15] CHU, C. P, LEE D. J. Structural analysis of sludge flocs. *Advanced Powder Technology* [online]. Japan 2004, vol. 15, ISSUE 5 [cit. 2010-02-14], s. 512-532.
- [16] ŘÍHOVÁ AMBROŽOVÁ, J. *Vločky aktivovaného kalu*. Encyklopedie hydrobiologie: výkladový slovník [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2007 [cit. 2010-02-14]. Dostupné z WWW: <[http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid\\_es-006/ebook.html?p=V007](http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=V007)>.
- [17] *APLIKOVANÁ HYDROBIOLOGIE: ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD* [online]. 11-3-2008 [cit. 2010-02-14]. Dostupné z WWW: <[http://ekologie.upol.cz/ku/ahdo/Cistení\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://ekologie.upol.cz/ku/ahdo/Cistení_odpadnich_vod.pdf)>.
- [18] HOUDKOVÁ, L., BORÁŇ J., ELSÄSSER T., BURJANEK F. *Termofyzikální vlastnosti čistírenských kalů - II*. CHISA 2007. Plné texty přednášek (CD-ROM). ČSCHI: Praha, s. 7. ISBN: 80-86059-47-2.
- [19] ELSÄSSER, T. *Perspective methods of sewage sludge utilisation for energy production*, Písemné pojednání ke státní doktorské zkoušce, Brno 2010.
- [20] ELSÄSSER, T., HOUDKOVÁ, L., BORÁŇ, J., SPONAR, J., STEHLIK, P.: *Thermal dependences of physical aspects of sewage sludge*. Process Engineering Publisher, článek ve sborníku akce: 17th International Congress of Chemical and Process Engineering. CD-ROM of Full Texts. Praha 2006, pp.P5.66-7. ISBN 80-86059-45-6.
- [21] ABZ slovník cizích slov, *Pojem CHSK*. [online]. [cit. 2010-1-24]. Dostupné z WWW: <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/chsk>>.
- [22] SYNEK, V. *Chemický a fyzikální rozbor vody*. [online]. 21. 1. 2007. [cit. 2-3-2010]. Dostupné z WWW: <<http://fzp.ujep.cz/~synek/analytika/texty/rozbor%20vody.doc>>.
- [23] BARTÁČEK, J, a kol. *Závěrečná zpráva 2004*. [online]. 2004 [cit. 2009 - 12 - 15]. Dostupné z WWW: <<http://www.mze-vyzkum-infobanka.cz/zpravy-5212.aspx>>.
- [24] OMYA GmbH. patentní spis DE 44 40 728 C 1. Rührwerksmühle, insbesonere Rührwerkskugelmühle [den ohlášení 1994-11-15].

- [25] ŠUMNÁ, J., MICHNIAKOVÁ, B. *NOVÁ STRATÉGIA V OBLASTI ODPADOV*. 12. - 13. 3. 2008. [cit. 2009-12-15]. Dostupné z WWW: <<http://kchbi.chtf.stuba.sk/cevoze/doc/Prednasky%20KaO%202008.pdf>>.
- [26] TUKAČ, V. *Chemické listy 93 – Katalytická mokrá oxidace průmyslových odpadních vod*. [online]. 1999 [cit. 12-16-2009]. Dostupné z WWW: <[http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999\\_09\\_570-574.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_09_570-574.pdf)>.
- [27] GRANIT [online]. 2007 [cit. 2010-03-19]. The Granit Wet Oxidation Process (WOP). Dostupné z WWW: <<http://www.granit.net/>>.
- [28] *Sovak* [online]. Vydáno: 2005. ročník 14. číslo 11 [cit. 2009-12-17]. Dostupné z WWW: <[http://www.sovak.cz/sites/File/casopis\\_cela\\_cisla\\_2005/11\\_05.pdf](http://www.sovak.cz/sites/File/casopis_cela_cisla_2005/11_05.pdf)>.
- [29] *SONOTRONIC: Ultrasonics Technology* [online]. 2008 [cit. 2010-03-20]. Sonication of Biosolids. Dostupné z WWW: <<http://www.sonotronic.de/technologies/ultrasonic>>.
- [30] *CAMBI: recycling energy* [online]. Asker (Norway): 2008 [cit. 2010-03-04]. Unleash the Power of Anaerobic Digestion. Dostupné z WWW: <<http://www.cambi.no/photoalbum/view2/P3NpemU9b3JnJmlkPTI1ODM4OCZ0eXBIPTE>>.
- [31] RADIMSKÁ, I. *Termofilní aerobní stabilizace kalu* [online]. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta stavební. Dostupné z WWW: <[http://water.fce.vutbr.cz/zamestnanci/hlavinek/download/cisteni\\_OV/cov18\\_termofilni\\_stabilizace.pdf](http://water.fce.vutbr.cz/zamestnanci/hlavinek/download/cisteni_OV/cov18_termofilni_stabilizace.pdf)>.
- [32] *Hielscher-Ultrasound Technology* [online]. 1999-2007 [cit. 2010-04-24]. Ultrasonic Waste and Sludge Treatment. Dostupné z WWW: <<http://www.hielscher.com/ultrasonics/sludge01.htm>>.
- [33] KAJAN, M, LHOTSKÝ, R. *Možnosti zvýšení výroby bioplynu na stávajících zařízeních*. [online]. Listopad 2006 [cit. 12-17-2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/30.pdf>>.
- [34] *Kalové hospodářství čistíren odpadních vod*. VŠCHT : [cit. 2010-04-10]. Dostupné z WWW: <[http://web.vscht.cz/starad/html/COV\\_Skripta\\_Kal\\_hosp.doc](http://web.vscht.cz/starad/html/COV_Skripta_Kal_hosp.doc)>.
- [35] ROEDINGER, M.; et al. Stand der Klärschlammdesinfektion, 6. Klärschlammtage, 12.-15. května 2009, Fulda Německo
- [36] *Tenza* [online]. 2006 [cit. 2010-04-11]. Čistírny odpadních vod. Dostupné z WWW: <<http://www.tenza.cz/cz/aktivita/provadeni-staveb/ekologicke-stavby/cistirny-odpadnich-vod/>>.
- [37] *ACON* [online]. 2002 [cit. 2010-04-11]. AEROTHERM. Dostupné z WWW: <<http://www.acongroup.cz/home.htm>>.

- [38] BENEŠ, J. MOZOLOVÁ, B. ČOV Bystřice pod Hostýnem. *Sovak* [online]. 2000, č. 06 [cit. 2010-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/91d3befe81002ebfc1256c370072c86c?OpenDocument>>.
- [39] *Femax engineering* [online]. 2009 [cit. 2010-04-12]. Čistírny odpadních vod/FEMAX ENGINEERING. Dostupné z WWW: <<http://www.femaxeng.cz/cz/?clanek=124>>.
- [40] *TENEZ a. s.* [online]. 16. 5. 2009 [cit. 2010-04-12]. Hygienizace/pasterace kalu na ČOV. Dostupné z WWW: <[http://www.tenez.cz/app/clanek/169/hygienizace\\_kalu\\_cov](http://www.tenez.cz/app/clanek/169/hygienizace_kalu_cov)>.
- [41] Dlouhý I. T. A. *Rekonstrukce čistírny odpadních vod v městě Sedlčany* [online]. 2003 [cit. 2010-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.dlouhy-ita.cz/index.php?dbtx=cz1refl&mm=11>>.
- [42] Město Uherský Brod [online]. 2009 [cit. 2010-04-12]. *Zpráva k „Rekonstrukci a intenzifikaci ČOV Uherský Brod“*. Dostupné z WWW: <[www.ub.cz/public/dzr/zm-010/10\\_jednani/40\\_bod\\_zprava.doc](http://www.ub.cz/public/dzr/zm-010/10_jednani/40_bod_zprava.doc)>.
- [43] *Apache Tomcat* [online]. 1999-2007 [cit. 2010-04-12]. Intenzifikace ČOV Svitavy. Dostupné z WWW: <[http://tomcat.cenia.cz/eia/download.jsp?view=eia\\_cr&id=PAK339&file=oznameniDOC](http://tomcat.cenia.cz/eia/download.jsp?view=eia_cr&id=PAK339&file=oznameniDOC)>.
- [44] MěÚ Svitavy. *Svitavy-životní prostředí 2008*. [online]. 2008 [cit. 2010-04-21]. Dostupné z WWW: <[http://www.svitavy.cz/rad/odbory/zp/rocenka/2008\\_rocenka.pdf](http://www.svitavy.cz/rad/odbory/zp/rocenka/2008_rocenka.pdf)>.
- [45] SEICHTER, P, PEŠL, L a ŠIMÁNEK, L. *Hygienizace kalu a substrátu pasterizací v míchaném aparátu*. Kaly a odpady '06. Brno. Asociace čistírenských expertů ČR, 2006, s. 209-216. ISBN 80-239-7258-8 .