

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



Kalové hospodářství čistíren odpadních vod

(bakalářská práce)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Autor práce: Ondřej Konrád

Praha, březen 2011

Abstrakt

V bakalářské práci s názvem „**Kalové hospodářství čistíren odpadních vod**“ je v první části zrekapitulována legislativa kalového hospodářství. Druhá část práce popisuje charakteristiku kalů, v třetí části je popsáno kalové hospodářství, způsoby zpracování kalů a jejich následná likvidace. Ve čtvrté fázi jsou popsány a porovnány dvě konkrétní čistírny odpadních vod. Pátá fáze je věnována zhodnocení produkce kalu v uvedených čistírnách za rok 2009 a za rok 2010.

Abstract

The work titled "**Sludge management of wastewater treatment plants**" explains the legislation of the sludge management in the first part . The second part describes the characteristics of sludge. In the third section are the sludge management, the sludge treatment methods and their subsequent liquidation described. The fourth part describes and compares two specific wastewater treatment plants. The fifth section is aimed at evaluation of the sludge production in these wastewater treatment plants in years 2009 and 2010.

Klíčová slova

Čistírna odpadních vod, kalové hospodářství, odpadní voda, kal, hygienizace kalu, produkce

Key words

Wastewater treatment plant, sludge management, wastewater, sludge, sludge hygienization, production.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „**Kalové hospodářství čistíren odpadních vod**“ vypracoval samostatně a použil jsem pouze literární prameny a publikace uvedené v seznamu použité literatury.

.....

V Praze dne: 25.3.2011

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Marcele Synáčkové, Csc. za odborné vedení, poskytnutí cenných rad, vstřícnost a ochotu.

1 Obsah

1	Obsah	5
1.	Úvod.....	7
2.	Cíle práce a metodika.....	8
2.1	Cíle práce	8
2.2	Metodika práce.....	8
3.	Legislativa v kalovém hospodářství.....	9
3.1	Legislativa vodního hospodářství	9
3.2	Legislativa odpadového hospodářství.....	9
3.3	Související předpisy	9
3.3.1	Odpady	9
3.3.2	Energetika	10
3.3.3	Hnojiva.....	10
3.3.4	Komposty.....	11
4.	Charakteristika kalů	11
5.	Zpracování kalů	14
5.1	Odebírání kalu ze systému	15
6.	Zahušťování kalů	15
6.1	Gravitační zahušťování	17
6.2	Flotace.....	18
6.2.1	Flotace volná:	18
6.2.2	Flotace s podtlakem	19
6.2.3	Tlaková flotace.....	19
6.3	Zahušťovací odstředivky.....	19
6.4	Rotační, pásové šnekové a štěrbínové zahušťovače.....	20
6.4.1	Rotační zahušťovače	21
6.4.2	Pásové zahušťovače	21
6.4.3	Šnekové zahušťovače.....	22
6.4.4	Štěrbínové zahušťovače	22
7.	Stabilizace kalů	22
7.1	Anaerobní stabilizace.....	23
7.2	Aerobní stabilizace.....	27
7.2.1	Termofilní aerobní stabilizace.....	27
7.3	Autotermní termofilní aerobní stabilizace ATAD	28
7.4	Duální stabilizace.....	29
7.5	Chemická stabilizace.....	29

8.	Odvodňování kalů.....	30
8.1	Přírozené odvodňování – kalové pole, kalové laguny	30
8.2	Strojní odvodňování.....	31
8.2.1	Kalolisy	31
8.2.2	Odvodňovací odstředivky:	32
8.2.3	Termické sušení kalu:	32
9.	Hygienizace kalů.....	33
9.1	Chemická hygienizace kalu	34
9.2	Fyzikální metody hygienizace kalu.....	34
9.2.1	Metoda ozařování.....	34
9.2.2	Pasterizace kalu.....	35
9.3	Účinnost hygienizace kalu	35
10.	Manipulace s kalem	35
10.1	Uskladňování kalů v nádržích.....	35
10.2	Doprava kalů.....	36
10.2.1	Čerpadla	36
10.2.2	Pásové dopravníky	36
10.2.3	Silniční vozy	36
11.	Konečná fáze zpracování kalů	37
11.1	Termické spalování	37
11.2	Kompostování	37
11.3	Skladování.....	38
11.4	Zemědělské využití	38
12.	Konkrétní řešení čistíren odpadních vod	39
12.1	Čistírna odpadních vod „A“	39
12.2	Čistírna odpadních vod „B“	43
13.	Diskuze	45
14.	Závěr	48
15.	Použitá literatura	49
16.	Seznam obrázků.....	51
17.	Seznam tabulek	52
18.	Seznam grafů.....	52

1. Úvod

V této bakalářské práci se zaměřím na zpřehlednění problematiky čištění odpadních vod a dále na strojní a technologické zařízení čistíren odpadních vod, dále jen ČOV.

Tomuto tématu se budu věnovat především proto, že se v současné době klade stále větší důraz na kvalitu vypouštěných odpadních vod do vodních toků. Jedná se o velice aktuální záležitost, která má zásadní vliv na životní prostředí.

Kalové hospodářství je nedílnou součástí každé čistírny odpadních vod. Nejen, že toto hospodářství výrazně ovlivňuje investiční náklady čistíren odpadních vod, ale i celou technologickou linku. Přiváděná odpadní voda na čistírnu odpadních vod je čištěna, čímž dochází k separaci primárního a sekundárního kalu. Obsah látek v odpadní vodě je tak snížen, soustředěn v odpadním kalu a z čistírny odtéká do vodních toků téměř čistá voda.

Velmi důležitým cílem všech čistíren odpadních vod je ochrana životního prostředí a především lidského zdraví. Kaly jsou mnohdy životnímu prostředí a lidskému zdraví výrazně škodlivé a je nutné je dále zpracovat a upravovat. Úprava je vždy ovlivněna zvolenou technologií, která musí zaručovat kvalitativní požadavky na vyčištěnou odpadní vodu, které musí být přijatelné pro životní prostředí a současně musí být dlouhodobě udržitelné a ekonomické.

Kalové hospodářství je omezováno legislativními požadavky např. při jejich dopravě, využití v zemědělství, spalování apod. Legislativa také zakazuje vypouštění kalů do povrchových vod, značně omezuje jejich skládkování a stále přísněji omezuje jejich využití pro zemědělské půdy.

2. Cíle práce a metodika

2.1 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je na základě teoretických a praktických znalostí zřehlednit problematiku čištění odpadních vod. Na začátku této práce se zaměřím na legislativu spojenou s kalovým hospodářstvím a přes charakteristiku a zpracování kalů se dostanu ke dvěma případům konkrétních čistíren odpadních vod, u kterých se zaměřím na produkci čistírenských kalů.

Jako názorný příklad jsem vybral čistírny, které se nachází v Pardubickém kraji. Na žádost mého zdroje informací budu dále pro tyto konkrétní čistírny používat označení písmeny „A“ a „B“. Čistírna „A“ používá moderní čištění a čistírna „B“ zastaralejší čištění.

Způsoby čištění odpadních vod závisí na konkrétních podmínkách dané lokality a musí splňovat určité standardy a minimalizovat bezpečnostní rizika. V rámci mé bakalářské práce se budu věnovat přiblížení dané problematiky.

2.2 Metodika práce

Úvodem práce se zaměřím na interpretaci legislativy spojené s kalovým hospodářstvím s uvedením souvisejících předpisů. Dále detailně přiblížím charakteristiku kalů, jejich zpracování, principy zahušťování kalů a dostupnou zahušťovací techniku. Dále se budu věnovat popisu způsobů stabilizace a odvodňování kalů. Z hlediska ochrany životního prostředí a s tím úzce spojeného lidského zdraví je důležitá hygienizace kalů a následná manipulace s nimi vedoucí k jejich konečnému zpracování.

V poslední části mé bakalářské práce uvedu dva konkrétní případy čistíren odpadních vod, u kterých popíšu postup produkce a zpracování kalů s uvedením statistického a grafického zhodnocení produkce kalů za rok 2009 a 2010.

3. Legislativa v kalovém hospodářství

Kal zařazujeme podle zákona o odpadech. Oprávněná osoba je povinna zařadit odpad do katalogu odpadů, který výrazně ovlivňuje nakládání s kaly. Omezení možnosti ukládání kalů jako biodegradabilního odpadu je dáno požadavky Směrnice rady 1999/31/ES o skládkách odpadů. Ukládá omezení množství biodegradabilního odpadu ukládaného na skládky, což již zohledňuje vyhláška č. 294/2005 Sb.

3.1 Legislativa vodního hospodářství

Zákon č. 254/2001 Sb. O vodách v platném znění, kaly vznikají při provozu vodního díla – úpravny vody a především čistírny odpadních vod. Provoz těchto děl se realizuje podle schváleného provozně-manipulačního řádu.

3.2 Legislativa odpadového hospodářství

Dle § 32 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění (dále jen zákon) se za kal považuje zejména:

- kal z čistíren odpadních vod zpracovávající městské odpadní vody nebo vody z domácností a jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody stejného složení jako městské odpadní vody a odpadní vody z domácností
- kal ze septiků a jiných podobných zařízení
- kal z čistíren odpadních vod výše neuvedených

3.3 Související předpisy

3.3.1 Odpady

- Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech
- Vyhláška č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů
- Vyhláška č. 502/2004 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

- Vyhláška č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady
- Vyhláška č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví katalog odpadů, seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů
- Vyhláška č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady
- Vyhláška č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě
- Vyhláška č. 504/2004 Sb., kterou se mění vyhláška životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě
- Vyhláška č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001., o podrobnostech nakládání s odpady

3.3.2 Energetika

- Vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhu a způsobu využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy
- Vyhláška č. 5/2007 Sb., kterou se mění vyhláška č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy
- Vyhláška č. 453/2008 Sb., kterou se mění vyhláška 482/2005 Sb., o stanovení druhu, způsobu využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb.

3.3.3 Hnojiva

- Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení chemických půd (zákon o hnojivech)
- Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva
- Zákon č. 308/2000 Sb., kterým se mění zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a i agrochemickém zkoušení zemědělských půd

(zákon o hnojivech), a zákon č. 569/1991 Sb., o pozemkovém fondu České republiky, ve znění pozdějších předpisů.

3.3.4 Komposty

- ČSN 465735

4. Charakteristika kalů

Kal neboli směs dvou či více látek, avšak minimálně jedna z těchto látek musí být přítomna v kapalném skupenství a druhá látka ve skupenství rozptýleném (v souvislé kapalně fázi), je jedním z konečných procesů čistírenského zpracování. Při čištění odpadních vod se znečištění v odpadních vodách převádí do kalu a ten je zastoupen asi 1-2% objemu čištěných odpadních vod.

Je složitou heterogenní suspenzí anorganických a organických látek, které pochází z odpadních vod, či z technologického procesu čištění. Díky vysokému obsahu anorganické hmoty a živin mohou zlepšovat fyzikálně chemické, ale i biologické vlastnosti půd. Obsahují nejčastěji dusík a fosfor, další látky jsou obsaženy minimálně. Čistírenské kaly jsou většinou alkalické až neutrální.

Jednou z nejvýznamnějších vlastností kalu je jeho konzistence, která souvisí s koncentrací látek obsažených v čistírenských kálech. Dále můžeme říkat sušina kalu. (Lyčková a kol. 2008a)

Kal z vody můžeme dostat různými způsoby:

- sedimentací
- gravitačními způsoby
- přívodem tepelné energie, či v odstředivce

V sušině je zastoupena jak organická, tak i anorganická složka. Zjistíme-li podíl sušiny anorganické, stanovíme ho jako ztrátu žháním při teplotě 550°C. Organické látky shoří a anorganické zůstanou nerozloženy.

Každá biologická čistírna produkuje určité množství kalu v závislosti na její velikosti, zatížení a zvolené technologii čištění.

Vyprodukované kaly se zpracovávají v kalové koncovce, která je nedílnou součástí každé technologické linky čistíren odpadních vod.

Z hlediska provozu, obecných ekologických požadavků i současné legislativy se jedná o velmi důležitý provozní soubor, který je nutno stále sledovat.

Závažnost kalové problematiky čistíren odpadních vod zdůrazňuje skutečnost, že náklady na zpracování kalů dnes činí cca 40% celkových investičních i provozních nákladů čistíren odpadních vod, a že technologické problémy na řadě čistírenských provozů způsobuje právě neřešená a nevyhovující kalová koncovka. Na závěr práce se zaměříme na kalové hospodářství dvou konkrétních čistíren. (Lyčková kol. 2008a)

Typ kalu	% sušiny
Primární kal	2,5 - 5
Aktivovaný kal	0,5 - 1,5

Tab. č. 1 Množství sušiny v kalu (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

Řešení problematiky zpracování a zneškodňování kalů produkovaných z ČOV:

- nárůst produkce čistírenských kalů
- obtíže spojené se změnami vlastností kalů produkovaných novými technologickými postupy při čištění odpadních vod
- nové legislativní předpisy pro nakládání s odpady
- vyhláška č. 382-2001 Sb., pro zemědělské využití kalu nově zavádějící hygienická kritéria
- omezené použití netradičních, investičně a provozně náročných technologií zpracování a zneškodňování kalu

K technickému řešení vlastní koncovky přistupuje dále neméně důležitý problém následného využití nebo likvidace kalu.

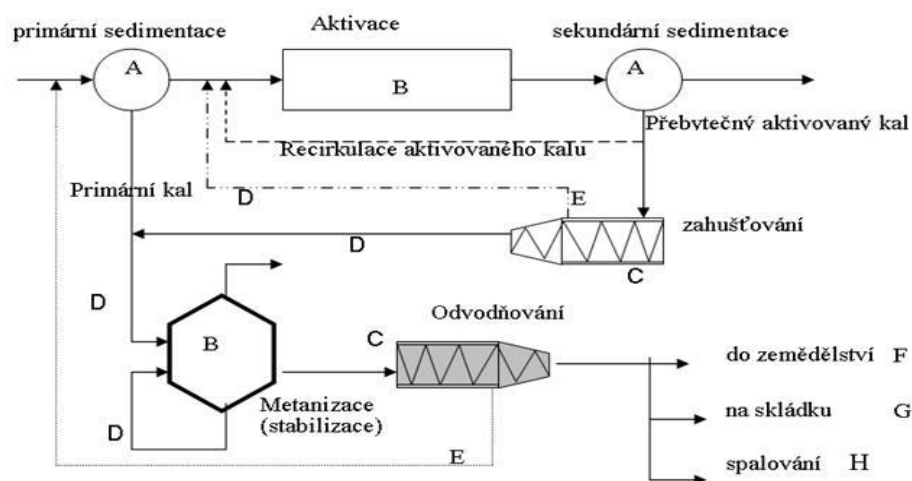
Požadavky na jednoduché a levné řešení u nejmenších čistíren posouvají problematiku dále od technického řešení k řešení organizačnímu. Pokud vodohospodářská organizace provozuje větší počet čistírenských lokalit na celistvém územním, nastává potřeba zpracovat návrh systémového řešení hospodaření s kalem a centralizací náročnějších úprav kalu. (Pytl a kol. 2004)

Způsoby zpracování kalů závisí na místních podmínkách dané lokality, na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech kalů a na možnosti konečného řešení kam s nimi. V současné době přicházejí v úvahu tři způsoby konečného zpracování kalů.

- využití v zemědělství a na rekultivace (po předchozí stabilizaci),
- termické zpracování (různé způsoby spalování – samostatně, v cementárně, pyrolýza),
- uložení na skládku

	% složek		
	Primární	Aktivovaný	Vyhnílý
Organická hmota	60 - 80	60 - 75	45 - 60
Inertní látky	20 - 40	25 - 40	0 - 45

Tab. č. 2 Složení kalu (zdroj: Lyčková a kol. 2008)



Obr. č. 1 Základní schéma čistírny odpadních vod s kalovým hospodářstvím (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

V usazovací nádrži dochází k sedimentaci zrnitých látek, které prošly česlem a lapákem písku. Tento kal nazýváme primární kal. V dosazovacích nádržích sedimentuje kal sekundární (přebytečný kal). Oba kaly mají jiné vlastnosti a proto je možné je použít každý zvlášť, či společně, a tento společný kal nazýváme kal surový.

Důležité je také stáří kalu a kalový index. Tím je objem usazeného kalu po 30 minutách sedimentace vztahený na koncentraci sušiny v kalu. Při hodnotách vyšších než 200 mg.l^{-1} může docházet k bytění kalu a tvorbě vláknitých organismů. Výskyt vláknitých organismů je příčinou špatných vlastností kalu. Nežádoucím jevem při čištění odpadních vod je také výskyt pěn. Ty mohou vznikat při aerobním čištění a také při anaerobní stabilizaci.

5. Zpracování kalů

Prvotními mechanickými metodami zpracování jsou redukce objemu, snížení zápachu a možnosti dalšího využití. Dále je kal zahušťován a stabilizován. K odvodňování dochází až ve finální fázi zpracování. Často se do tohoto procesu zařazuje hygienizace kalů a nové možnosti předpravy kalů. (Hlavínek a kol. 2001)

Obecný postup zpracování kalů:

- odebírání kalů ze systému

- zahušťování kalu
- předúprava kalu
- stabilizace a hygienizace
- odvodňování kalu
- finální likvidace kalu

5.1 Odebírání kalu ze systému

Základní režim odkalování by měl být stanoven pro každou čistírnu odpadních vod individuálně, měl by být stanoven za účasti provozně zkušeného technologa a měl by se také podrobit alespoň nejjednoduššímu testování. Další podmínkou je, aby kal v sedimentačních prostorách nádrží anaerobně nezahňoval. Četnost odkalovacího procesu je cca 3 x – 4 x za 24 hodin v závislosti na způsobu odběru a charakteru kalu. Obvykle bývá hlavním požadavkem provozní spolehlivosti odkalovacího systému optimálně zahuštěný kal. (Lyčková a kol. 2008a)

6. Zahušťování kalů

Zahušťování kalu je první etapou čistícího procesu provozoven ČOV a používá se hlavně k redukci hydraulického zatížení kalového hospodářství. K tomuto procesu zahušťování využíváme strojní bubnové zahušťovače nebo gravitační zahušťování. Mezi gravitační způsoby zahušťování patří sedimentace v nádržích, či flotace.

Proces strojního zahušťování probíhá v zahušťovacích odstředivkách, nebo pásových, rotačních, šnekových či šterbinových zahušťovačích.

Zahušťování kalu má následovat bezprostředně po jeho separaci. Navrhují se buď kontinuálně provozované zahušťovací nádrže podle zatížení plochy nerozpuštěnými látkami, nebo přerušované zahušťovací nádrže podle střední doby zdržení. (Hloušek 2009)

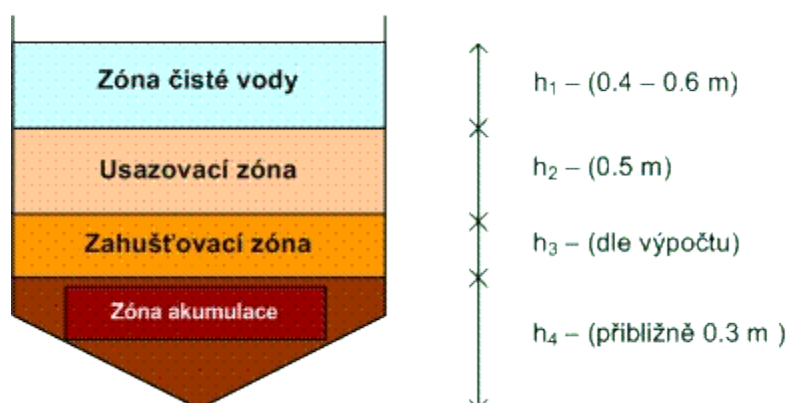
Druh kalu	Střední doba zdržení v hodinách
Primární kal	Od 8 do 12
Směsný surový kal	Od 5 do 8
Aktivovaný kal	Od 4 do 6

Tab. č. 3 Orientační hodnoty střední doby zdržení dle ČSN 756401 (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

Celková hloubka zahušťovací nádrže $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$ by měla být alespoň 3 m.

Technologie využívané k zahušťování kalu:

- Gravitační zahušťování
- Flotace
- Odstředivky
- Rotační, pásové, šnekové a štěrbinové zahušťovače



Obr. č. 2 Zóny v zahušťovací nádrži (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

6.1 Gravitační zahušťování

Gravitační zahušťovače mají mít hloubku 3m. Gravitační zahušťování využívá rozdílu ve specifické hmotnosti mezi částičkou kalu a vodou. Lze říci, že existují dva způsoby zahušťování kalu.

Prvním způsobem je zahušťování v procesu (nastává v kalovém prostoru usazovací nádrže a je velmi efektivní pro primární kaly), druhým způsobem je oddělené zahuštění (spíše pro primární kaly, chemické kaly a kaly z biologického čištění s přisedlou biomasou).

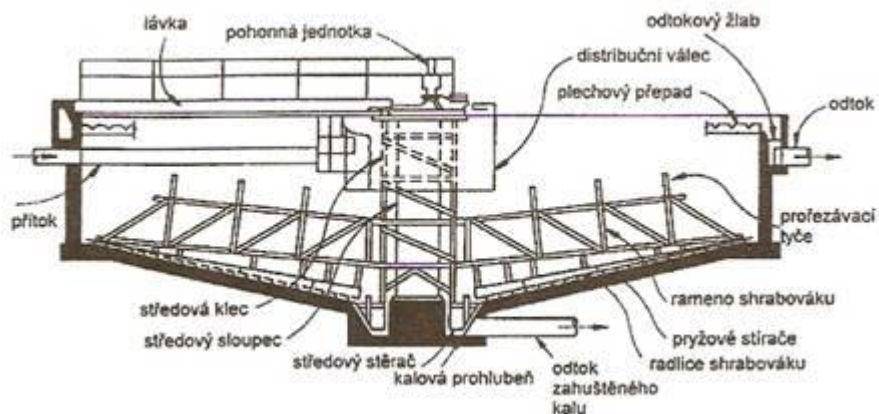
Sedimentační schopnosti primárního kalu jsou dobré, proto je možno v mnoha případech dosáhnout dostatečného zahuštění v usazovací nádrži. Běžný obsah sušiny u primárního kalu je 2,5%. Zvýšení této hodnoty lze dosáhnout instalací automatického systému, či vhodným časovým režimem odkalování. Těmito opatřeními se obsah sušiny primárního kalu zvýší na 3,5 – 4,5%. Pokud jsou tyto hodnoty obsaženy při odtahu z usazovací nádrže, není třeba dalšího zahušťování kalu. (Hlavínek a kol. 2001)

Přebytečný aktivovaný kal má velmi špatné usazovací vlastnosti. Špatné vlastnosti jsou dány velkým objemem kalových částic přebytečného kalu, které jsou při vyšších koncentracích v usazovací nádrži v těsné blízkosti u sebe. Pro zahušťování přebytečného kalu je vhodné použít flotaci nebo strojní způsoby (Hlavínek a Novotný 1996).

Střední doba zdržení by neměla být delší než doba zdržení, po níž by následoval rychlý anaerobní rozklad látek.

Pro gravitační zahušťování gravitačními nádržemi jsou nejvhodnější kaly:

- Primární kal s obsahem sušiny méně než 3%
- Biologické kaly z procesu se smíšeným zahušťováním kalů primárních s přisedlou biomasou
- Biologické kaly s přisedlou biomasou
- Chemické kaly



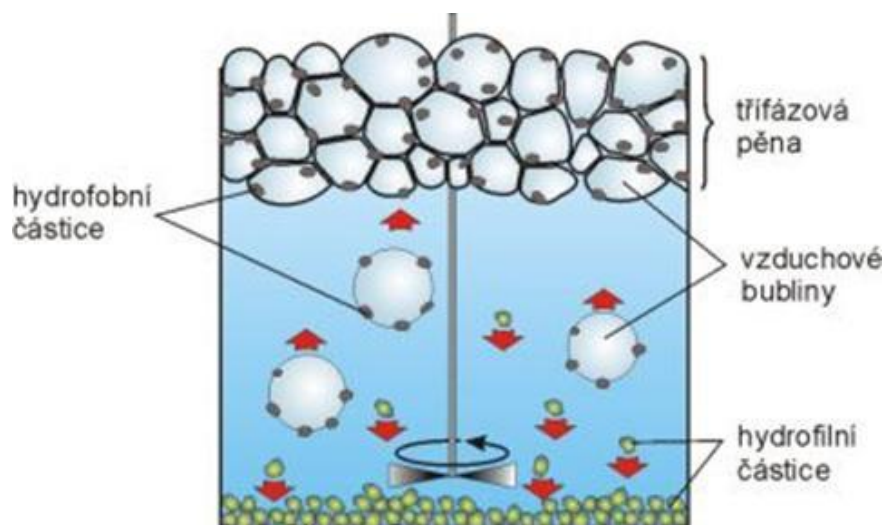
Obr. č. 3 Schéma gravitační zahušťovací nádrže (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

6.2 Flotace

Flotace je jev, při kterém částice lehčí než kapalina stoupají k hladině. Je to způsob rozdužování, tedy třídění částic vody, za působení plynu. Do kalové suspenze je nejčastěji přiváděn plyn (vzduch), který tvoří mikrobublinky. Mikrobublinky na sebe poutají mikročástice a ty vynášejí na povrch, kde tvoří zahuštěnou plovoucí vrstvu (šlem). Vyflotovaný kal se velmi podobá husté pěně, která se odebírá z hladiny odsáváním nebo stíráním. (Moučka 2008)

6.2.1 Flotace volná:

Do flotační jednotky se vhání vzduch ve formě jemných bublinek (nejčastěji u lapačů tuků).



Obr. č. 4 Pěnová flotace (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

6.2.2 Flotace s podtlakem

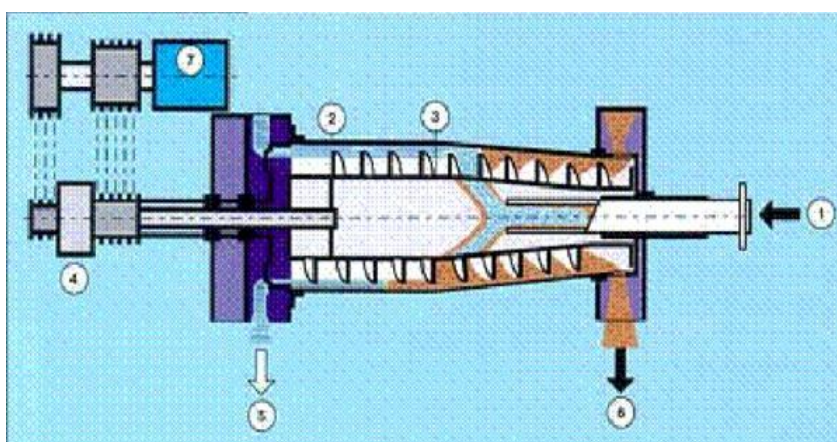
Kal se přivádí pod tlakem do uzavřené nádrže, vzduch rozpuštěný ve vodě se při snížení tlaku uvolňuje a vystupuje ve formě jemných bublinek, které vynášejí částice na hladinu (nejčastěji u průmyslových odpadních vod).

6.2.3 Tlaková flotace

Nejvíce používaný flotační proces, probíhá v otevřené nádrži. Kal se vzduchem se nasycuje v tlakové nádobě, při následném snížení tlaku v otevřené nádrži na hodnotu atmosférického tlaku se uvolňují jemné vzduchové bublinky, které vynášejí kalové částice na povrch.

6.3 Zahušťovací odstředivky

Odstředivky mají malé nároky na prostor. Potřeba technologické vody na proplach je minimální a díky skoro zanedbatelnému úniku aerosolů a zápachu mají vysokou hygienu prostředí. Výhodou odstředivek je, že mají dobré zahušťovací parametry i bez použití flokulantu nebo s jeho malou dávkou. Pokud není použit žádný organický flokulant, může dojít ke zhoršení separační účinnosti na nerozpuštěné látky. (Hlavínek a kol. 2001)



Obr. č. 5 Schéma zahušťovací odstředivky (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

Při otáčení bubnu v odstředivce dochází k tvorbě buněčného lyzátu, který kladně ovlivňuje anaerobní stabilizaci kalu. Buněčný lyzát je uvolněný obsah buněk

mikroorganismů následkem rozrušení buněčných stěn a membrán. Tento pochod probíhá jak přirozenou cestou, či cestou hydrolytických enzymů uvolňovaných do roztoku fermentačními bakteriemi nebo různými metodami redukce.

Přítomnost buněčného lyzátu způsobuje stimulaci anaerobní fermentace. To zrychluje celý proces a prohlubuje rozložitelnost a zvýšení produkce bioplynu. V konečném důsledku má kal nižší obsah organických látek, čímž se zlepší jeho odvodnitelnost za nižší spotřeby flokulantu.

Zahušťovací odstředivky se používají zejména pro zahuštění přebytečného aktivovaného kalu, u něhož lze i bez přidání koagulátu dosáhnout hodnoty sušiny 4 – 6 %. Lze ji také využít pro primární a terciární kal.

Zahušťovací odstředivky mají vysoké provozní a investiční náklady, jsou také celkově hlučné, proto se doporučují pro menší čistírky odpadních vod. Hlavní výhodou odstředivek je, že mají malé nároky na prostor.

6.4 Rotační, pásové šnekové a štěrbínové zahušťovače

Priváděný kal je filtrován přes síto a do kalu je dávkován flokulant, jehož dávka závisí na druhu kalu, typu flokulantu i zahušťovače a na průběhu koagulace před filtrací.

Zařízení je po určité době odstaveno a dochází k čištění síta. K čištění potřebujeme velké množství vody pod velkým tlakem.

Efektivnost procesu ovlivňují parametry zahušťovačů:

- Volba druhu síta a rychlosti bubnu
- Volba flokulantu
- Množství přitékajícího kalu
- Způsob a doba čištění síta při praní



Obr. č. 6 Rotační zahušťovač (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

6.4.1 Rotační zahušťovače

Kal se pomalu pohybuje v nakloněném bubnu, jehož stěny jsou tvořeny sítím. Kal se nejdříve smíchá s fakulantem v reaktoru umístěném před zahušťovačem nebo v něm. Upravený kal je přiváděn do bubnu, kde dochází k cezení vody. Uvnitř zařízení je zařízení na cezení vody a tlakové praní síta. Zahušťovač je používán převážně pro přebytečný aktivovaný kal.

6.4.2 Pásové zahušťovače

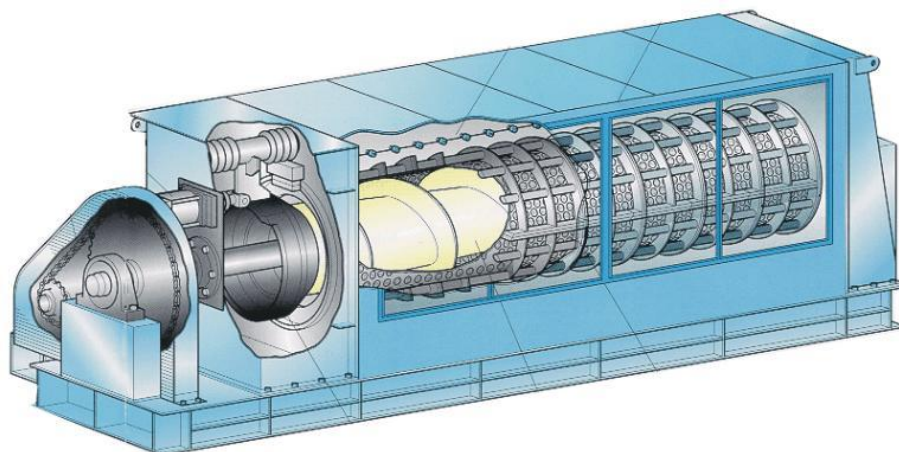
Principem pásového zahušťovače je pohyb kalu po nekonečném pásu (sítu), který je umístěn na nosných válcích. Na sítu zůstávají vločky kalu a voda je prolisována a odváděna.



Obr. č. 7 Pásový zahušťovač (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

6.4.3 Šnekové zahušťovače

Pracuje na principu vynášení kalu šnekem přes statické síto. V lisu je kal zahušťován způsobem zvyšujícím se tlaku při průchodu šnekem. (Hlavínek a kol. 2001)



Obr. č. 8 Šnekový zahušťovač (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

6.4.4 Štěrbínové zahušťovače

Kal je unášen lopatkami na plastovém dopravníku přes síto, na kterém dochází k zahušťování. V zařízení je umístěn koagulační reaktor, zahušťovač, sběrná jímka zahuštěného kalu a pracích vod. (Hlavínek a kol. 2001)

7. Stabilizace kalů

Platná norma ČSN 75 6401 stanoví, že vyprodukovaný kal má být anaerobně, či aerobně stabilizován. Termín stabilizace je široce chápán i používán, ale není přesně definován. Univerzální kritérium pro posouzení stability kalu prakticky neexistuje. Obecně lze pokládat za stabilizovaný kal takový, který nezpůsobuje škody na životním prostředí a nevyvolává potíže při manipulaci s ním. V praxi by se stabilizace měla provádět s ohledem na to, jak se bude s kalem dále nakládat. (Pytl a kol. 2004)

Při aerobním biologickém čištění vznikají dva druhy kalů:

- primární kal z primárního usazování přiváděné odpadní vody
- přebytečný aktivovaný kal, odpadající po aerobním stupni čištění odpadních vod

Primární kal obsahuje kromě anorganické složky i směs různých organických látek, z níž většina je relativně snadno rozložitelná a primární kal tak díky svému složení umožňuje vyšší výtěžnost bioplynu.

U přebytečného aktivovaného kalu se jedná převážně o směs mikroorganismů narostlých na rozpuštěném organickém znečištění. Jejich množství závisí na množství odstraněného znečištění a také na druhu aerobního čištění. Nejrozšířenější metodou zpracování kalu je jeho anaerobní stabilizace, při níž dochází k přeměně většiny rozložitelných organických látek na bioplyn. Dominantním prvkem kalového hospodářství jsou tak anaerobní reaktory (vyhňovací nádrže), ve kterých probíhá anaerobní metanová fermentace.



Obr. č. 9 Bioplynová stanice (CzechReAgency 2011)

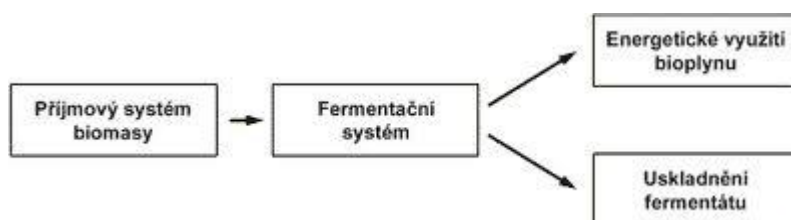
7.1 Anaerobní stabilizace

Anaerobní stabilizace je nejrozšířenější metodou zpracování kalů. Anaerobní stabilizace kalu je označována také jako metanizace nebo vyhňování. Používá se především u středních a velkých čistíren odpadních vod, stabilizuje se primární kal

společně s přebytečným kalem, i když jsou v některých případech zahušťovány odděleně. Na anaerobním rozkladu organických látek se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů, kde produkt jedné skupiny se stává substrátem skupiny druhé, a proto výpadek jedné ze skupin má za následek narušení celého systému. Účinnost anaerobní stabilizace kalů se hodnotí podle skutečného úbytku organické sušiny kalu. Lze ji vypočítat z bilance celkové sušiny kalu a organické sušiny surového kalu a kalu po metanizaci. Za anaerobně stabilizovaný kal lze považovat kal, ve kterém již neprobíhají intenzivní biologické pochody, působící senzorické a hygienické problémy. Konečnými produkty jsou pak vzniklá biomasa, plyny (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) a nerozložitelný zbytek organické hmoty.

Díky produkci bioplynu je proces energeticky výhodný. Získaná energie pokrývá energetické požadavky vlastního procesu (ohřev metanizačních nádrží, míchání). Nadbytečná energie vylepšuje energetickou bilanci celé čistírny odpadních vod (vytápění budov, ohřev teplé vody, elektrická energie pro pohon různých zařízení). (Dohányos a kol. 2004)

V procesu anaerobní stabilizace dochází v důsledku přeměny organických látek na bioplyn ke značnému snížení sušiny kalu. To má za následek snížení nákladů na další zpracování kalu. Anaerobně stabilizovaný kal se může použít ke hnojení a zlepšení struktury půdy.



Obr. č. 10 Schéma anaerobního vyhnívání (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

Proces rozkladu organických látek probíhá ve čtyřech fázích:

- a) **Hydrolyza** - přeměna makromolekulárních organických rozpuštěných i nerozpuštěných látek na nízkomolekulární.

- b) **Acidogeneze** – v této fázi jsou rozkládány produkty hydrolýzy na alkoholy, vyšší kyseliny a také jednodušší produkty (kyselina octová, H₂, CO₂)
- c) **Acetogeneze** – oxidace vyšších produktů acidogeneze na CO₂, H₂ a kyselinu octovou. Obsah homoacetogenních mikroorganismů, které produkují vodík je nezbytný, protože rozkládají kyselinu propionovou a ostatní organické kyseliny vyšší než octovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny.
- d) **Metanogeneze** – poslední fáze, kde dochází k rozkladu jednoduhlíkatých látek (methanol, kyselina mravenčí, methylamin, CO₂, H₂, CO) a kyseliny octové.

Obsah sušiny přitékajícího kalu je cca 5%, v procesu metanizace a po oddělení kalové vody se obsah sušiny zvýší na 7 – 10 %. Konečným produktem anaerobní stabilizace je vyhnílý kal. Pro další účely by se měl kal odvodnit.

Anaerobní proces je limitován faktory, které je nutné dodržet, abychom zaručili kvalitu jeho průběhu. Tyto faktory jsou následující:

- teplota procesu – je závislá na kultuře mikroorganismů, které jsou pro konkrétní proces využívány
- pH – mělo by se pohybovat v takovém rozmezí, ve kterém jsou mikroorganismy schopny růst, pH 6,5-7,5
- přítomnost živin – potřebný poměr živin se udává jako CHSK:N:P v rozmezí od 300:6,7:1
- přítomnost toxických a inhibujících látek – nejčastěji vyskytující se látky, které svými inhibičními účinky mohou ovlivnit nebo zcela zastavit proces, jsou amoniak a mastné kyseliny, jejichž tvorba je závislá na pH procesu fermentace

Anaerobní stabilizace probíhá ve vodotěsných a plynotěsných reaktorech – vyhnívacích nádržích. Surový kal je přiváděn kontinuálně nebo v pravidelných intervalech, současně je odebírán zpracovaný kal a kalová voda. Typem reaktorů byla dvouúčelová šterbinová nádrž, kde v různých částech reaktoru probíhá

sedimentace i anaerobní stabilizace kalu. V současnosti se navrhují velkoobjemové jednoúčelové nádrže.

Metanizace rozdělujeme na dva typy. Jako standardní je označována nízkozatížená, druhým typem je vysokozatížená, označovaná jako rychlovyhřívací. Nízkozatížená se provozuje s menším zatížením a delší dobou zdržení, míchání bývá přerušované, může být zařazen jeden nebo dva stupně. Vysokozatížená je zatížena více, má kratší dobu zdržení, probíhá dokonalé kontinuální míchání a to vždy ve dvou stupních. Anaerobní reaktor je prvním stupněm, je zpravidla vyhříván a míchaný. Druhý stupeň slouží k oddělení kalové vody a vyhnílého kalu. Takto stabilizovaný kal je následně odvodněn a zpracován.

Anaerobní stabilizace je nejrozšířenějším způsobem stabilizace čistírenských kalů a stále více se využívá pro zpracování různých zemědělských odpadů. V poslední době se vyvíjejí metody pro anaerobní stabilizaci tuhých městských odpadů.

Anaerobní procesy rozkladu organických látek probíhají také ve skládkách.

Pro čištění odpadních vod je anaerobní stabilizace použita v případech:

- vysoké koncentrace organického znečištění odpadních vod
- vysoký obsah suspendovaných látek v odpadních vodách
- vyšší teplota odpadních vod zhoršující přístup kyslíku při aerobním čištění
- stabilizace kalu
- stabilizace tuhých odpadů
- zpracování zemědělských odpadů

Technologie anaerobní stabilizace kalu je na jednotlivých ČOV v České republice více méně stejná. Zpracováváný surový čistírenský kal (primární a přebytečný aktivovaný kal) o sušině 2 – 3% a při 65% organických látek je dávkován do vyhřívacích nádrží – fermentorů. Z důvodů zlepšení energetické bilance procesu je někdy kal před dávkováním zahušťován na obsah sušiny 4 – 6%. Vyhřívací nádrže jsou většinou železobetonové, obsah nádrží je většinou

promícháván. Obvykle pneumatically bioplynem nebo hydraulicky. (Hlavínek a kol. 2001)

Účinnost anaerobní stabilizace kalu se hodnotí podle skutečného úbytku organické sušiny kalu. Lze jí vypočítat z bilance celkové sušiny surového kalu po metanizaci. Za anaerobně stabilizovaný kal, považujeme kal, ve kterém již neprobíhají intenzivní biologické procesy, působící senzorické a hygienické problémy. Konečnými produkty jsou pak vzniklá biomasa, plyny (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) a nerozložitelný zbytek organické hmoty.

Díky produkci bioplynu je proces energeticky výhodný. Získaná energie pokrývá energetické požadavky vlastního procesu (ohřev metanizačních nádrží, míchání). Nadbytečná energie vylepšuje energetickou bilanci celé čistírny odpadních vod (vytápění budov, ohřev teplé vody a energie pro pohon různých zařízení). (Dohányos a kol. 2004)

7.2 Aerobní stabilizace

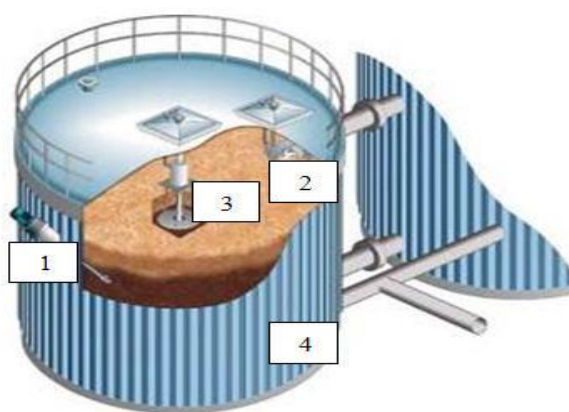
Při aerobní stabilizaci mikroorganismy rozkládají biologicky rozložitelné organické látky, které se nacházejí v surovém kalu. Organická hmota je oxidována na CO_2 a H_2O . Je velice vhodná pro malé čistírny odpadních vod, kde jsou provozovány nízkozatížené systémy aktivace. Nevýhodou je vysoká spotřeba energie a horší energetická bilance z hlediska nízké produkce bioplynu. Aerobní stabilizace může probíhat ve stejné nádrži jako aktivační proces. Kal, který je stabilizován aerobně, má horší odvodňovací vlastnosti než anaerobně stabilizovaný kal.

Hygienizace tohoto kalu vyžaduje vyšší dobu zdržení, proto není příliš efektivní. Touto stabilizací dojde k odstranění minimálně 38% organické hmoty a při teplotě 15°C je doba zdržení více než 60 dní a při teplotě 20°C je tato doba více než 40 dní.

7.2.1 Termofilní aerobní stabilizace

Tato stabilizace je nejvhodnější hlavně pro lokality 5000 EO až 40000 EO. Kalové nádrže jsou provzdušňovány vzduchem nebo kyslíkem. Pokud jsou provzdušňovány vzduchem nebo kyslíkem, můžeme dosáhnout teploty kalu $40 - 60^\circ\text{C}$.

V aerobně termofilní stabilizaci se zpracovává jak přebytečný kal, tak i směs primárního a sekundárního kalu. Stabilizace a hygienizace kalu je zaručena po 32 hodinách při teplotě vyšší než 50°C. Kal je odebírán z reaktoru a dopravován do vyrovnávací nádrže. Po odběru stabilizovaného kalu z reaktoru se tento reaktor doplní částečně stabilizovaným kalem z předehřívacího reaktoru. Do reaktoru se pak doplní surový kal. U větších zařízení mohou jednotlivé stupně sestávat z více nádrží. V prvním stupni jsou teploty mezi 35 – 50°C a ve druhém mezi 50 – 60°C. (Hlavínek a kol. 2001)



- 1 – boční provzdušňovač
- 2 – řezací zařízení k regulaci pěny
- 3 – centrální provzdušňovací a míchací zařízení
- 4 – uzavřená zateplená nádrž

Obr. č. 11 Schéma uspořádání ATS reaktoru (EnviWeb 2011)

7.3 Autotermní termofilní aerobní stabilizace ATAD

Při autotermní aerobní stabilizaci lze využít probíhající biologické procesy. Principem je využití velkého reakčního tepla, které vzniká při biochemických reakcích. Vysoká teplota je způsobena dostatečně koncentrovaným substrátem a reakčním systémem, který musí být izolován od okolí. Zvýšená teplota urychluje biologické procesy, při kterých dochází k umírání patogenních organismů. Stabilizace proběhne během několika dní. Tím je zajištěna požadovaná hygienická kvalita kalu.

Reaktory mají obvykle tvar válce. Poměr mezi průměrem a výškou je závislí na způsobu provzdušňování. Při chemické aeraci se doporučuje průměr zhruba 2:1,

při tlakové aeraci a přívodu technicky čistého kyslíku, pak výška větší než 1,5 násobek průměru. Nádrže mají být uzavřené ze všech stran a tepelně izolované. Rovněž potrubí se substrátem vně reaktoru má být izolované. (Hlavínek a kol. 2001)



Obr. č. 12 Zařízení pro autotermní termofilní stabilizaci (Fortex ags 2011)

7.4 Duální stabilizace

Duální stabilizace je kombinací aerobně termofilního stupně a anaerobního stupně stabilizace, tím může být dosaženo nižších investičních a provozních nákladů.

V prvním aerobně termofilním stupni se dosáhne exotermickou látkovou přeměnou ohřátí kalu na teplotu více než 50°C, tím dojde k pasterizaci. Dimenzování se provádí na menší části rozložitelných organických látek. Doba zdržení je 1 – 3 dny. Pokud je cílem odlehčit následující stupeň, dimenzuje se na odbourání odpovídající požadovanému odlehčení anaerobie.

Pokud je cílem desinfekce kalu, dimenzuje se na dosažení požadované teploty pomocí přehřívání. (Hlavínek a kol 2001)

Samotná stabilizace kalu probíhá v mezofilním stupni. Přiváděný organický substrát prošel termofilním stupněm, proto jsou anaerobní procesy podstatně rychlejší. Účinnost tohoto systému je o 3 – 7% vyšší než u klasické anaerobní stabilizace.

7.5 Chemická stabilizace

Při chemické stabilizaci kalu se zvyšuje pH na hodnotu 11,5. Při této hodnotě pH dochází k ničení patogenních organismů, ale organické látky zůstanou

nerozloženy. Viry a bakterie jsou ničeny přímým efektem pH a uvolňováním amoniaku při pH větším než 12. Zvýšení pH se provádí nejčastěji přípravkem oxidu vápenatého (CaO) nebo hydroxidu vápenatého [Ca (OH)₂]. Podle toho v jaké fázi zpracování se chemická stabilizace provádí, se rozlišuje chemická destabilizace, stabilizace a poststabilizace. (Dohányos, 2006)

Při prestabilizaci je vápno dávkováno před odvodněním kalu a dávka by měla být taková, aby bylo zřejmé, že stačí k usmrcení patogenů, tedy minimálně pH 12 po dobu alespoň dvou hodin a následně aby hodnota pH neklesla pod pH 11 po dobu několika dní. Odvodnění a zpracování kalu probíhá většinou za zvýšeného pH.

8. Odvodňování kalů

Základem v technologii zpracování kalu je jeho odvodňování, využití a likvidace. Při něm dochází ke zmenšení jeho objemu a tím i ke zmenšení nároků na transport a zpracovatelské technologie pro využití kalu. Při odvodňování kalu se používají flokulanty, kterými se tvoří filtrovatelné suspenze. Hlinité a železité soli mají největší význam a tvoří hydroxidy. Předpravou pomocí organických flokulantů jsou dávky menší.

8.1 Přirozené odvodňování – kalové pole, kalové laguny

Kalové pole je otevřená mělká nádrž. Dno je vybetonováno a pokryto vrstvou štěrkopísku. V této vrstvě je zabudována drenáž, která odvádí oddělenou vodu z kalu. Do nádrže se vypouští stabilizovaný kal ve vrstvě 20 – 40cm, který se odvodňuje vsakováním do drenážní vrstvy a také výparem. Kal z pole odebíráme nakladači a transportujeme k dalšímu zpracování. Tento způsob je velice časově náročný, závisí na klimatických podmínkách a také má velké nároky na zastavěnou plochu.

Kalové laguny mají přirozené dno bez drénu. Obvodové zemní hráze se zpevňují kamenitým záhozem aj. Navrhují se nejméně dvě jednotky pracující samostatně. Nápustná vrstva je 0,7 – 1,5 m a pro stroje na těžbu kalu se upravuje vjezd do laguny. Obvykle se do laguny vypouští všechna kalová voda.

8.2 Strojní odvodňování

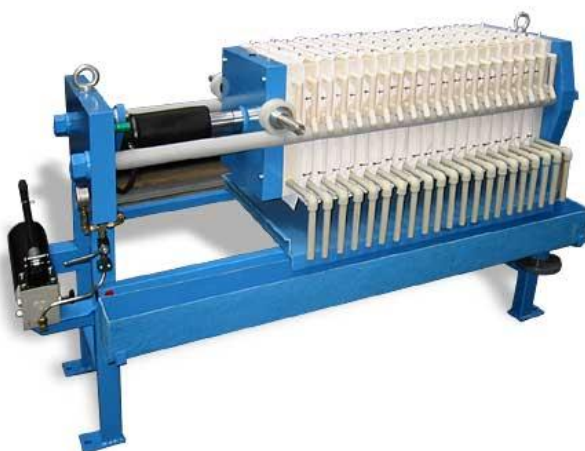
Strojní odvodňování odpadních kalů je rychlejší a účinnější než přirozené odvodňování. Nejčastěji se používají kalové lisy (kalolisy) a dekantační odstředivky. Do agregátu je dávkován flokulant a tím dochází ke smíchání s kalem. Kal je nutno upravovat, aby mikročástice kalu agregovaly do malých makrovloček. Tím se zvýší účinnost odvodnění. Provádíme úpravu termickou – zvýšení teploty na 100°C pod tlakem, nebo chemickou – přidávek flokulantu.

8.2.1 Kalolisy

Jsou vyráběny dva základní typy kalolisů, a to komorové a membránové kalolisy. Membránové kalolisy dosahují dvojnásobného výkonu ve srovnání s odpovídajícími kalolisy. V provozu kalolisů dnes prosazujeme automatizaci. Pracovní prostor je tvořen jednotlivými komorami filtračních desek, které mají v pracovní části drenážní systém povlečený filtrační tkaninou. V průběhu cyklu kapalná fáze vstupní suspenze prochází tkaninou a pevné částice jsou v této vrstvě zachyceny. Dalším čerpáním suspenze dochází k vytvoření pevného kalového koláče, který na koci procesu vypadává ze zařízení, a kapalina je dále drenážním systémem vedena mimo pracovní prostor.

Typy desek:

- Membránové – deska opatřena komorovou membránou
- Komorové – rám a deska sloučeny do jednoho celku
- Rámové – samostatný rám a filtrační deska



Obr. č. 13 Kalolis (zdroj: Lyčková a kol. 2008)

8.2.2 Odvodňovací odstředivky:

Princip této odvodňovací odstředivky je založen na oddělování pevných a suspenzovaných částic odstředivou silou.

Odstředivka má tyto části:

- dva souosé válcové bubny

Otáčejí se diferencovaně, Na vnitřní buben je navařen šnek a vnější buben je plnoplášťový. Suspenze je vpuštěna přírodním potrubím do otáčejícího se bubnu a je usmířena ke vnitřnímu plášti bubnu. Působením odstředivé síly jsou pevné částice usazovány na povrchu vnějšího bubnu, z vnějšího bubnu jsou šnekem kontinuálně posílány do kuželové části bubnu. Zahuštěný sediment je z kuželové části vyhrnut šnekem do výsypní části odstředivky, odkud sediment vypadává z odstředivky hrdlem výsypky do prostoru pod odstředivkou.

8.2.3 Termické sušení kalu:

Máme dvě metody sušení

- Nepřímé
- Přímé

8.2.3.1 Nepřímé

Teplo je v případě nepřímého sušení přenášeno k sušenému materiálu nepřímo prostřednictvím tepelných ploch. Teplotní plocha (médium je v přímém kontaktu se sušeným kalu. Typickým příkladem pro kontaktní metody sušení kalu jsou sušárny diskové. Základním konstrukčním prvkem je válcové těleso sušárny, jehož vnitřní vyhřívané žebrovaní tvoří stator diskové sušárny. Vyhřívaný rotor slouží k provzdušnění, kypření a transportu sušeného kalu. Systém štětek a lopatek zabraňuje tvoření nápeků na diskovém médiu. Neustálý kontakt mezi vyhřívanými plochami tvoří základ účinnosti sušícího procesu a také je možné zpracování jak vyhnílého, tak i nevyhnílého čistírenského kalu.

8.2.3.2 Přímé

V rotační bubnové sušárně je kal přiváděn do sušárny z jedné strany. Prostřednictvím rotace bubnu a jeho vnitřku je kal přetransportován na druhý konec

a současně přichází do kontaktu s velmi horkým plynem. Výsledkem je granulovaný kal.

Pásové sušárny - u horizontálních pásových sušáren je odvodněný čistírenský kal k sušení rozprostřen na pásech, které se pomalu pohybují v proudu teplonosného média. Kontakt kalu se vzduchem je potřeba a také dopravní pásy jsou prodyšné. Podíl prachových částic v průběhu sušení je malý, protože kal na pásu není nikterak fyzicky namáhán.

Ve fluidní sušárně – kontakt je realizován na základě intenzivního stoupání plynů, vytvářeného vysokou umělou turbulencí, které nese částice kalu až do jeho usušení. Podle typu kalu je obsah sušiny ve formě bezprašných granulí kolem 90%. Prach je proudem vzduchu vracen do cyklonu a po smíšení s odvodněným kalem se vrací zpět do sušárny.

9. Hygienizace kalů

Proces, jímž se záměrně snižuje bakteriální kontaminace kalů, nazýváme hygienizace, a jeho podstatou je vytvořit takové prostředí, ve kterém bakterie nejsou schopny přežít. Obecně lze k hygienizaci použít všech metod, při kterých dochází k usmrcování mikroorganismů. (Ekomvo, 2011)

Základní hygienizační metody lze rozdělit do tří skupin:

- Chemické metody – zahrnují reakci s chemickými činidly (vápno, minerální kyseliny)
- Fyzikální metody – zahrnují působení teploty, radiace atd.
- Biotechnologické metody – zahrnují souběžný proces stabilizace a hygieničce kalu

Dále hygienizační metody dělíme:

- Metody před procesem stabilizace
- Metody tvořící součást procesu stabilizace
- Metody po stabilizaci, přídatná, následná hygienizace

Volba metody hygienizace kalu je závislá na technologii stabilizace kalů a na velikosti čistírny odpadních vod. S výhodou lze používat metody, kde hygienizační efekt je součástí procesu stabilizace kalů. Pro menší čistírny se doporučuje autotermní termofilní stabilizace kalu, resp. dodatečná úprava kalu vápnem. Chemickou hygienizaci lze použít jako koncovou část kalového hospodářství, což je výhodné pro doplnění stávající technologie v případě, že kal nespĺňuje mikrobiologická kritéria kvality kalu. Termické procesy se především z ekonomických důvodů používají na velkých čistírnách. Hygienizaci kalu, jako součást procesu stabilizace kalu, lze s výhodou použít při rekonstrukci kalového hospodářství čistíren odpadních vod. (Lyčková a kol. 2008a)

9.1 Chemická hygienizace kalu

Úprava vápněním je nejčastější úpravou kalu. Při úpravě páleným vápnem dochází k hygienizaci kalu spolupůsobením zvýšené teploty a hodnoty pH. Nehašené vápno je dávkováno do odvodněného kalu, které reaguje s vodou a vzniká Ca(OH)_2 . Při reakci se zvýší teplota na 50- 80°C, čímž dochází ke zničení patogenů.

Při úpravě kalu hašeným vápnem dochází k hygienizaci kalu pouze v důsledku zvýšené hodnoty pH. Dávka by měla být taková, aby došlo k usmrcení patogenů, tedy hodnota pH více než 12.

Dále méně používaná metoda je hygieničce kalu za použití chloru, ozonu a formaldehydu. Tyto metody jsou ale výrazně dražší. (Lyčková a kol. 2008a)

9.2 Fyzikální metody hygienizace kalu

Termická předprava tekutého kalu s následnou mezofilní nebo termofilní anaerobní stabilizací kalu probíhá po dobu minimálně 30 min. při teplotě 70°C.

9.2.1 Metoda ozařování

Tato metoda je velice drahá, zato velice účinná. Spočívá v gama a beta záření. Účinnost se zvyšuje vlivem teploty a ozářený kal má také lepší odvodňovací vlastnosti.

9.2.2 Pasterizace kalu

Pasterizace je proces, při kterém zahříváme kal na určitou teplotu po krátkou dobu, např. na 70°C po dobu 30 minut. Optimální je teplota 64 – 70°C, která zaručuje vysoký stupeň devitalizace patogenních mikroorganismů. Pasterizace musí být kombinována s následnou stabilizací kalu, často v anaerobní vyhnívací nádrži. Výhodou nepasterizovaného kalu je jeho lepší stabilizace a lepší odvodňovací vlastnosti.

9.3 Účinnost hygienizace kalu

Hodnocení účinnosti hygienizace provádíme chemickými a mikrobiologickými analýzami, ty určují množství patogenních látek obsažených v čištěné vodě. Požadavky na hygienicky zabezpečený kal, který chceme využívat na zemědělské půdě, se řídí právními předpisy, viz vyhláška č. 382/2001 Sb. A v pozdějším znění vyhláška č. 341/2008 Sb.

- Kategorie 1. – kal, který je možno aplikovat na půdu využívanou zemědělci, při dodržení ustanovení vyhlášky č. 382/2001 Sb.
- Kategorie 2. – kal, který je možno aplikovat na půdy určené pro pěstování technických plodin a na půdy, na kterých se minimálně tři roky po použití čistírenských kalů nebude pěstovat zelenina a intenzivně plodící ovocná výsadba a ostatních ustanovení vyhlášky č. 382/2001 Sb.

10. Manipulace s kalem

10.1 Uskladňování kalů v nádržích

Stabilizovaný kal je shromažďován ve stabilizačních nádržích a přečerpáván z nádrží vyhnívacích. Nádrže nám slouží k vyrovnání výkyvu mezi produkcí a zpracováním stabilizovaného čistírenského kalu. Zde končí metanizace a kal se v nich odděluje a zahušťuje do vrstev kalové vody, kterou lze odčerpávat.

Uskladňovací nádrž je otevřená, válcového charakteru, s plochým dnem a základním technologickým vybavením, jako je kalové potrubí a armatury pro přívod a odtah kalu, dále potrubí přepadového (havarijního) charakteru. Může být vybavena vzduchovým potrubím pro pneumatické míchání nebo vrtulovým míchadlem.

Tyto nádrže mají buď vlastní strojovnu nebo mohou být napojeny na strojovnu vyhnívacích nádrží.

10.2 Doprava kalů

Je možné použít dopravníky, silniční vozy, ale nejčastěji jsou využívány různé typy kalových čerpadel a dopravníků.

10.2.1 Čerpadla

Slouží k dopravě kalů mezi jednotlivými zařízeními čistírny a musí být odolná vůči veliké konzistenci přepravovaných látek. Přebytečný kal se čerpá do stabilizační nádrže, či nádrže uskladňovací. Řada kalů obsahuje tvrdé, až ostré částice, které často způsobují nadměrné poškození vnitřních součástí čerpadel, což také ovlivňuje volbu konstrukčních materiálů. Řada kalů má velice vysoce lepivé vlastnosti a s jejich provozem můžeme čerpadlo značně zalepit. To vede ke zvýšení energie potřebné k přepravě kalů a také ke snížení výkonu daného čerpadla. Pro dopravu kalů s nízkým obsahem tuhých látek se často využívají čerpadla na vodu.

10.2.2 Pásové dopravníky

Pásové dopravníky jsou určeny k dopravě vylisovaných kalů a jiného materiálu. Nejčastěji na kratší vzdálenosti v rámci čistírny odpadních vod.

10.2.3 Silniční vozy

Při přepravě na větší vzdálenosti slouží upravená silniční vozidla (cisterny, speciální nákladní vozy, fekální vozy, nákladní vozy s návěsem, traktory, kontejnery a sklápěče).

11. Konečná fáze zpracování kalů

Jestliže kal odvodníme a stabilizujeme, pak je třeba z čistírny odstranit. Můžeme využít tyto metody:

- termické spalování
- kompostování
- skládkování
- jiné

11.1 Termické spalování

Kal, který chceme termicky spalovat, musí alespoň z části obsahovat tuhé i kapalné spalitelné složky. Organická hmota je hlavní spalitelnou složkou při termickém spalování. Samotný proces spalování je závislý na složení kalu (obsah sušiny, organické složky a výživná hodnota). Jestliže jsou v kalu zastoupeny více organické složky, má větší výhřevnost. Naopak jestliže jsou zastoupeny ve větší míře složky nespalitelné, musí se přidávat přídavné palivo s dostatečnou výhřevností. (Lyčková a kol. 2008b)

Základní metody spalování jsou:

- rotační etážové topeniště
- rotační topeniště
- fluidní topeniště

11.2 Kompostování

Tento způsob využívá biodegradabilních odpadů k výrobě kompostu. Kompost je kvalitní organo-minerální hnojivo. Přeměnu organické hmoty odpadů na humusové složky při kompostování zabezpečují převážně aerobní mikroorganismy, proto je nutný přívod vzduchu.

Do kompostů lze využít i kaly z průmyslových čistíren odpadních vod, pokud obsahují dostatek organické hmoty a obsah nežádoucích látek (kovy). (Malý a kol. 1996)

Při první fázi rozkladu polysacharidů, bílkovin a tuků je vytvářeno teplo, které ohřívá kompost na teploty 50 - 65°C. V kompostu se zvyšuje kyselost substrátu, která vzniká hromaděním organických kyselin. Tato fáze trvá 2 – 3 týdny. Ve druhé fázi klesá teplota na 40 – 45°C a mění se složení mikroorganismů. V poslední etapě kompost dozrává a získává hnědou barvu.

11.3 Skladování

Podmínkou pro skladování kalu na skládce je jeho stabilizace a odvodnění. Výhodou skladování přímo na místě je zjednodušení a zlevnění odvozu mimo prostor čistírny odpadních vod na řízené skládky nebo jeho dalšího zpracování. (Metalmind 2011)

Kalová sila navrhujeme:

- Kruhová
- Obdélníková
- Čtvercová

11.4 Zemědělské využití

Na zemědělské půdě se používají stabilizované kaly z čistíren odpadních vod. U těchto kalů je snížen obsah mikroorganismů. Surové kaly jsou pro člověka a zvířata životu nebezpečné a proto jsou zde uvedeny následující důležité parametry.

Kaly z čistíren odpadních vod musí plnit kritéria, která jsou ošetřena vyhláškou č. 382/1996 Sb., o podmínkách využití upravených kalů na zemědělské půdě.

Kal je aplikován na zemědělskou půdu jednou až dvakrát ročně a po aplikaci je zaorán.

12. Konkrétní řešení čistíren odpadních vod

12.1 Čistírna odpadních vod „A“

Odpadní vody jsou na čistírnu odpadních vod „A“, dále jen ČOV „A“ vedeny stokou, která je před čistírnou opatřena odlehčovací komorou s možností škrzení přítoku na čistírně. Odpadní vody do velikosti průtoku 90 l/s jsou přiváděny na mechanické předčištění, nadměrné průtoky v případě dešťových přívalů přepadají přes přelivnou hranu a dále jsou odváděny přímo do recipientu. V dešťovém oddělovači je rovněž osazeno stavítko pro možnost odstavení čistírny.

Odpadní vody jsou přiváděny do strojovny mechanického předčištění, kde je na přítoku do česlicového žlabu umístěna ručně vybíraná prohlubeň pro zachycení šterku. Voda je vedena přes samočisticí jemné česle o průlině 6 mm s lisem na shrabky a promýváním. Česle slouží k zachycení látek, které by dále mohly způsobit poruchu strojního zařízení anebo jiné závady. Pro případ odstávky strojních česlí jsou do paralelního žlabu instalovány ruční česle s průlinami 30 mm. Oba žlaby jsou pro možnost odstávky osazeny stavítky. Shrabky jsou ukládány v plastových popelnicích a průběžně odváženy k likvidaci. Před strojně stírané česle byly jako jejich ochrana instalovány dodatečně hrubé česle o průlině 60 mm. Vody zbavené shrabků jsou vedeny do vertikálního lapáku písku, odkud je písek čerpán pomocí mamutkového čerpadla do nerezového separátoru písku. Mechanicky předčištěná voda je přivedena do rozdělovacího objektu, kde se oddělí průtoky. Průtok do 17 l/s je odváděn dále do aktivace a průtok nad 17 l/s přepadá do bočních žlabů a odtud natéká do dešťové zdrže. Po naplnění dešťové zdrže se pomocí čerpadla, po odeznění dešťových průtoků, její objem odčerpá do čistícího procesu. Po vyčerpání dešťové zdrže se pomocí vyplachovací klapky vypláchnou sedimenty usazené na dně.

Předčištěná voda natéká přes rozdělovací žlab do dvou aktivací. Aktivace je tvořena dvojicí oběhových aktivací v původních oxidačních příkopech. Aerace a oběh aktivační směsi v nitrifikační fázi každého příkopu zajišťuje čtveřice hřebenových bubnů. Oběh aktivační směsi v denitrifikační fázi zajišťuje dvojice míchadel. Simultánní nitrifikace a denitrifikace je řízena z řídicího systému střídáním anoxické a oxické fáze v nádrži.

Při anoxické fázi dochází k biologickému odstranění dusíkatého znečištění z odpadní vody za nepřítomnosti vzdušného kyslíku. Pro funkčnost denitrifikace je nutno zabezpečit udržení směsi ve vznosu pomocí míchadel. V oxické fázi pokračují za intenzivního okysličování pomocí hřebenových bubnů biologické procesy čištění. Z aktivačních nádrží natéká aktivační směs do rozdělovací šachty před dosazovacími nádržemi a odtud gravitačně natéká do všech tří dosazovacích nádrží. Rozdělovací objekt umožňuje odstavení jednotlivých nátoků do dosazovacích nádrží.

Směs vtéká do středového sloupu a klesá ke dnu. Tím dochází k intenzivnímu oddělování aktivovaného kalu. Vyčištěná voda přepadá přes stavitelné přepadové hrany do odtokového potrubí, kde je osazen měrný Parshallův žlab P3 s ultrazvukovým čidlem. Čerpadla pro čerpání vratného a přebytečného kalu jsou umístěna v recirkulační šachtě čerpání vratného a přebytečného kalu z dosazovacích nádrží. Vratný kal (externí recirkulace) je čerpán ze dna dosazovaku do aktivací. Oproti projektu bylo dodáno 3. čerpadlo samostatně na přebytečný kal. Chemické srážení fosforu je prováděno dávkováním síranu železitého. Síran je dávkován do vody před rozdělovací šachtou před dosazovacími nádržemi.

Výtlak přebytečného kalu je sveden do armaturní komory mezi kalojemy, kde se rozvětjuje na nátoky do obou kalojemů. Kalojemy jsou vybaveny kalovými čerpadly pro míchání a vyčerpání obsahu kalojemu buď na sítopásový lis nebo do fekálního vozu nebo do druhého kalojemu. Pro čerpání kalu na odvodňovací stanici je využito hydrostatického přetlaku a sacích schopností vřetenového čerpadla odvodňovací stanice. Kalojemy jsou vybaveny zónovými odběry odsazené vody. Veškerá odsazená kalová voda je svedena zpět do čistícího procesu.

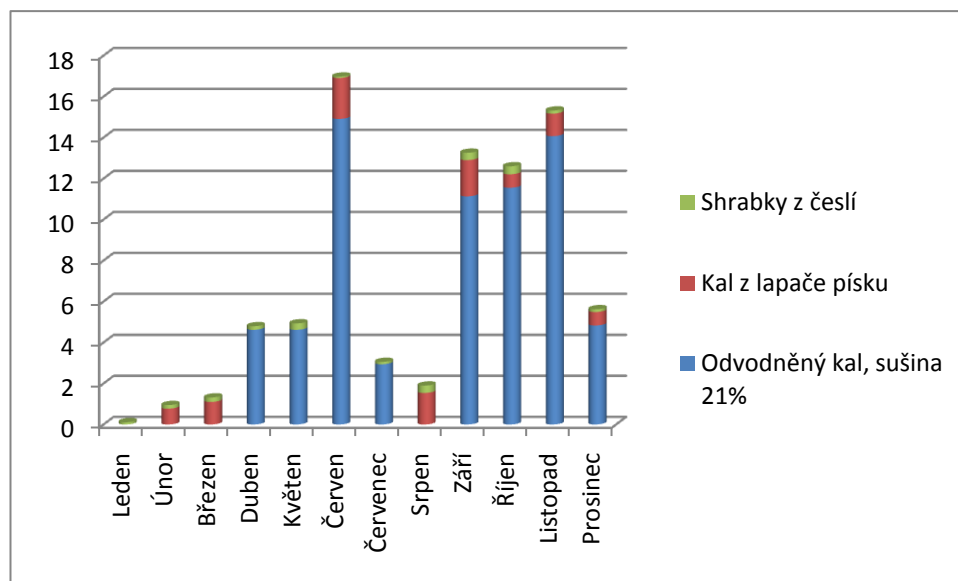
Kal z kalojemu je odvodňován na sítopásovém lisu. Do lisu je dávkován flokulant z jeho chemické jednotky. Zahuštěný kal cca 21% je dále dopravován pásovým dopravníkem mimo budovu do kontejneru. Odsazená voda natéká zpět do čistícího procesu.(Ekomonitor spol. s.r.o. 2011)

Kapacita ČOV: 5 370 EO.

Rekonstrukce ČOV „A“ zahrnovala tyto technologické části:

- Hrubé předčištění
- Aktivace
- Dosazovací nádrže
- Chemické sražení fosforu
- Dešťová zdrž
- Kalojem a zahušťování kalu
- Lisování kalu

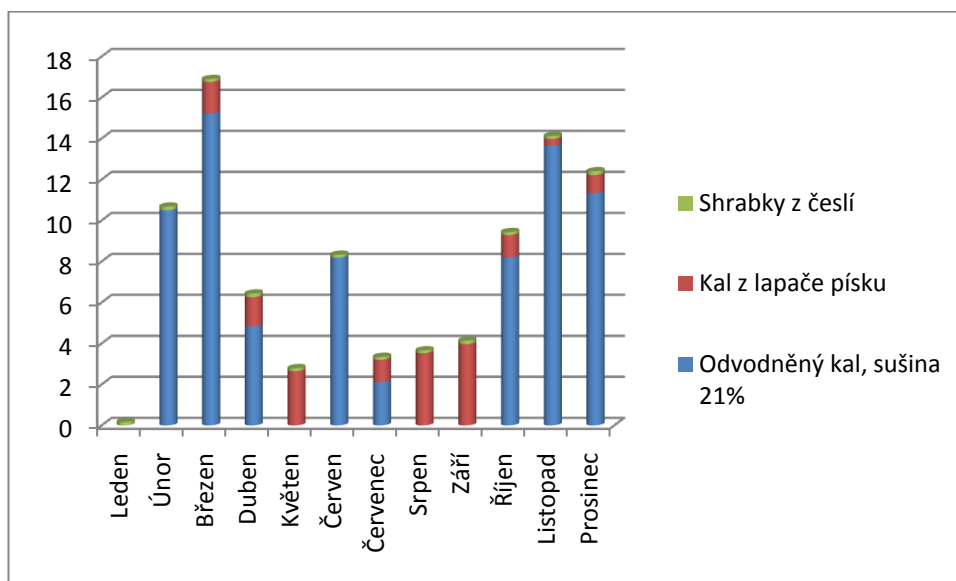
Z dostupných získaných informací o produkci čistírenského kalu za rok 2009 a za rok 2010 je zřejmé, že největší podíl na vyprodukovaném čistírenském kalu má primární kal. Jeho sušina tvoří zpravidla 21%.



Graf č. 1 ČOV „A“ - Množství vyprodukovaného čistírenského kalu za rok 2009 v tunách.

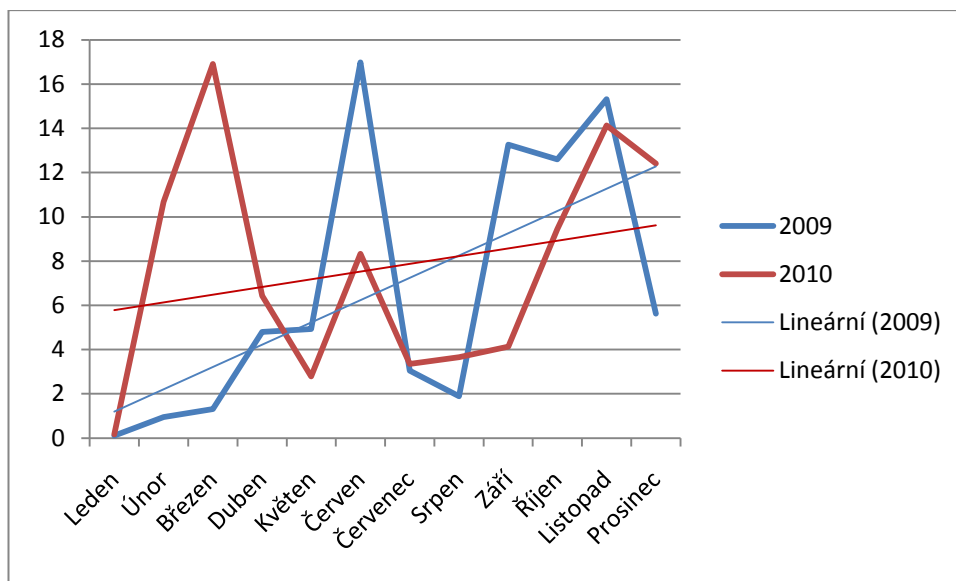
Podíl shrabků z česlí a podíl kalu z lapačů písku je oproti odvodněnému kalu minimální, ale ne zanedbatelný. Tyto součásti ČOV zabezpečují především to, aby se na čistírenskou linku nedostaly objemnější nečistoty, které by mohly čistírenskou linku poškodit.

Pro porovnání uvádím stejné grafické zpracování produkce čistírenského kalu v roce 2010.



Graf č. 2 „A“ - Množství vyprodukovaného čistírenského kalu za rok 2010 v tunách.

Z uvedených grafů je zřejmé, že nelze najít souvislost vyprodukovaného čistírenského kalu s konkrétním časovým obdobím v rámci sledovaných let. Zaměřil jsem se tedy na trendový vývoj produkce kalu za jednotlivé sledované roky. Z následujícího grafu č. 3 je zřejmé, že produkce čistírenského kalu měla stoupající tendenci v roce 2009. Během roku 2010 lze vidět mírný pokles nárůstu produkce čistírenského odpadu oproti roku 2009.



Graf č. 3 ČOV „A“ - Porovnání produkce čistírenského kalu za rok 2009 a 2010.

V roce 2009 čistírna vyprodukovala cca 80,82t sušiny a trend měl vzestupný charakter a v roce 2010 vyprodukovala čistírna odpadních vod 92,44t sušiny a trend se mírně stabilizoval.

Celkově lze říci, že produkce čistírenského kalu stoupla o 14,4% za rok 2010 oproti roku 2009. Vzrůstající trend produkce kalů může být způsoben modernizací ČOV „A“, která byla provedena těsně před sledovaným obdobím a technologickým rozšiřováním ČOV „A“.

12.2 Čistírna odpadních vod „B“

ČOV „B“ dále jen ČOV „B“ je navržena na mechanicko-biologické bázi. Pracuje na principu dlouhodobé aktivace kalu s jeho částečnou aerobní stabilizací. Aktivační nádrž je oxidační příkop s dvěma povrchovými aerátory. Dosazovací nádrž, dortmundského typu, je vertikální s kruhovým průměrem 5m.

Kalové hospodářství je složeno ze čtyř kalových polí pro produkci kalu, který je jednou za dva až tři měsíce odčerpáván, aby byl zajištěn kontinuální provoz ČOV „B“.

Od odlehčovací komory u tělesa dráhy přitékají odpadní vody na ČOV „B“ azbestocementovým přivaděčem v délce 120m, DN 200 při spádu 4%, který je hydraulicky průchozí pro výhledovou kapacitu ČOV „B“ (tj. 20 l/s).

Hrubé předčištění ČOV „B“ je tvořeno podélným dvoukomorovým lapákem písku a sedimentační nádrží primárního kalu (v podstatě se jedná o štěrbinovou nádrž). Česle na ČOV „B“ nebyly instalovány, jsou předmětem projektu rekonstrukce ČOV „B“ v rámci přivedení dalších odpadních vod ze sousedních osad.

Po průchodu hrubým předčištěním jsou odpadní vody přečerpávány z objektu čerpací stanice odpadních vod do biologické sekce ČOV „B“.

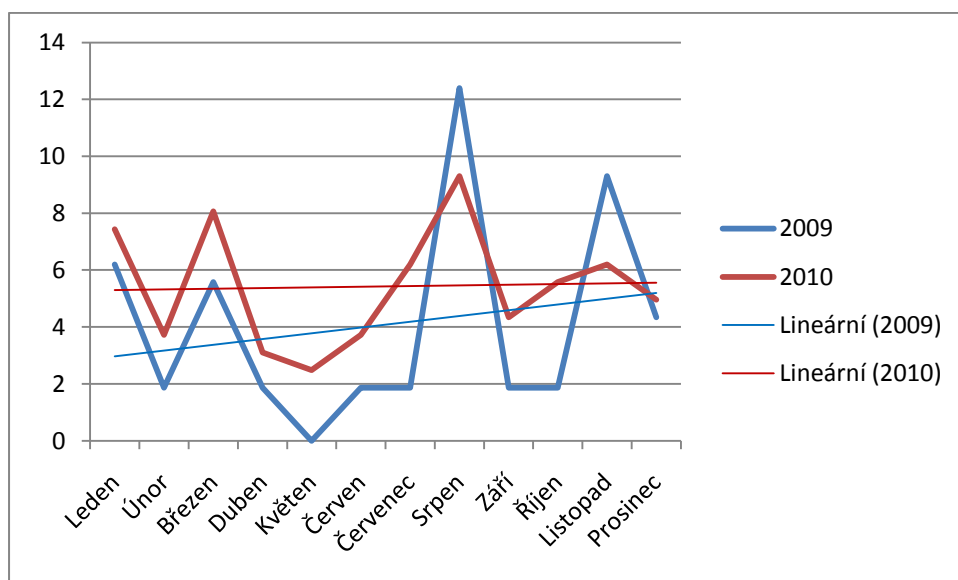
Z oxidačního příkopu odtéká aktivační směs do dosazovací nádrže, odkud odtéká vyčištěná odpadní voda přes měrný objekt do recipientu..

V současné době jsou na ČOV přiváděny odpadní vody z celé obce a z místního automobilového závodu.

Základní návrhové parametry zařízení

Kapacita ČOV: max. 1520 EO (140 l/os.den)

I v tomto případě v následujícím grafu č. 4 uvádím porovnání produkce čistírenského odpadu za sledované období, tedy roky 2009 a 2010.



Graf č. 4 ČOV „B“ - Porovnání produkce čistírenského kalu za rok 2009 a 2010.

V roce 2009 čistírna vyprodukovala celkem 48,98t sušiny a roční trend produkce kalu měl mírně stoupající charakter. V roce 2010 vyprodukovala čistírna odpadních vod 65,10t sušiny a trend produkce kalu se téměř stabilizoval. Celkový nárůst produkce kalu v roce 2010 činí 33% oproti roku 2009.

13. Diskuze

V této práci jsem zpřehlednil problematiku čištění odpadních vod, kde jsem se nejdříve stručně zaměřil na legislativu spojenou s čistírnami odpadních vod. Dále charakteristiku kalů a následné zpracování kalů. Zpracování kalů je dlouhý a technologicky náročný proces, který je nutné stále řídit a kontrolovat. Dnešní technologické vybavení nám umožňuje velice kvalitně zpracovávat kaly dle požadavků a směrnic EU, proto se ho snažíme aplikovat v co nejširším měřítku. V dnešní době jsou některé velké obce napojeny na čistírny odpadních vod, které zpracovávají anaerobně, tudíž rychleji a kvalitněji. Doba zdržení je oproti aerobním čistírnám kratší. Kal, který je přiváděn na čistírnu odpadních vod v obci vybavené aerobní stabilizací se zdrží déle než kal přiváděný na čistírnu vybavenou anaerobní stabilizací. Nevýhodou malých obcí je také to, že kanalizace se tam vybudovala až na přelomu 20. a 21. století. Dnes už je kanalizace téměř všude standardem a proto je nutné se věnovat problému kalového hospodářství.

Způsoby zpracování kalů závisí na mnoha faktorech, jako jsou lokalita, vlastnosti kalů, jeho následné využití.

Po separaci kal zahušťujeme. Zahušťování je proces, kterým se odděluje přebytečná kalová voda bezprostředně po separaci. Proces gravitačního zahušťování (gravitace, sedimentace, flotace) je nejméně finančně náročný. Při dimenzování velkých čistíren odpadních vod je výhodnější zahušťovat v mechanických odstředivkách (pásových, rotačních, šnekových a šterbinových).

Aerobní stabilizace se využívá spíše v menších obcích a městech a anaerobní stabilizace se využívá dnes již také. Výhodou moderní anaerobní stabilizace je, že vše probíhá v uzavřených vyhnívacích nádržích a z vyhnívání lze

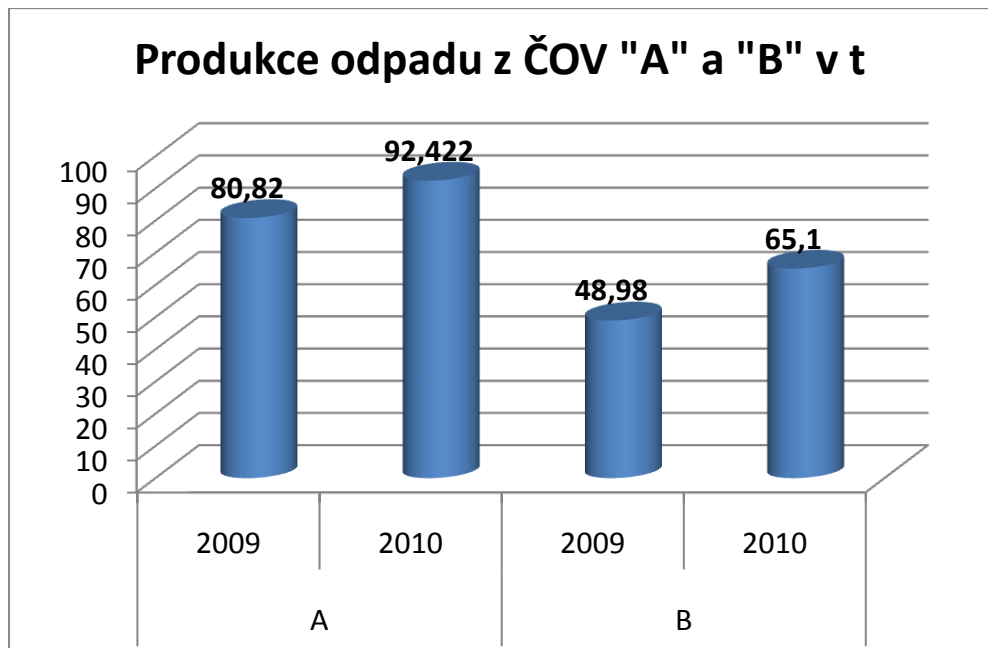
čerpat energii, kterou lze využít pro samotný chod čistírny nebo k dalším potřebám.

Odvodňovat lze stabilizovaný čistírenský kal prostřednictvím kořenových systémů (kalových lagun). Pro tyto účely je potřeba mít k dispozici plochu, která je vhodná pro vybudování kalové laguny a vybudování mělkých, odvoditelných nádrží vysypaných vrstvou písku a pokryté vrstvou geotextílie. Velikost dávek kalu závisí na konkrétních podmínkách dané lokality a také na vývoji rostlin v této lokalitě. Tento systém je využíván hlavně u malých čistíren odpadních vod. Pro velké čistírny je výhodné strojní odvodňování.

Strojní odvodňování je dnes už často spojeno s automatizací a také má lepší hygienickou stabilitu. Kalolisy máme membránové, komorové a rámové. Zejména se používají k čištění odpadních vod a tak v pivovarnickém a cukrovarském průmyslu. Pod kalolisy jsou v pracovním prostoru drenážní systémy, které odpadní vodu odvedou bezpečně mimo pracovní prostor. Po dokončení procesu z kalolisy vypadnou koláče vylišovaného kalu a kal je dále zpracováván.

Při manipulaci s kalem je nutné dbát bezpečnostních opatření, protože vyhnílé kaly mohou být značně nebezpečné, proto je nutné zabezpečit co nejkratší systém vedení kalu.

Při analýze čistírny odpadních vod „A“ a čistírny odpadních vod „B“ jsem zjistil, že produkce kalu v roce 2010 je vyšší než v roce 2009. U čistírny odpadních vod „A“ je nárůst 14,4 % a u čistírny odpadních vod „B“ je nárůst 33% (viz. Graf č. 5).



Graf č. 5 Produkce odpadu z ČOV „A“ a ČOV „B“ v tunách.

Z mého průzkumu a následného zpracování získaných dat vyplývá, že čistírna odpadních vod „A“ má velice kvalitní a moderní proces čištění úměrný velikosti středního města. Čistírna odpadních vod „B“ je zachovalá, ale její systém čištění je zastaralý a potřebuje navrhovanou rekonstrukci.

14. Závěr

V bakalářské práci s názvem „Kalové hospodářství čistíren odpadních vod“ jsem se snažil zřehlednit problematiku kalového hospodářství čistíren odpadních vod a zaměřit se na konkrétní ČOV a jejich produkci kalu v praxi.

Zjistil jsem, že celková produkce kalu v jednotlivých čistírnách vzrůstá a jednotlivé čistírny se naopak snaží produkci kalu minimalizovat. Na základě zjištěných údajů lze říci, že ČOV „A“ má lepší technologické zpracování oproti ČOV „B“.

15. Použitá literatura

Czech Renewable Energy Agency, 2011: Bioplyn a jeho využití v zemědělství. Online: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/bioplyn>. Staženo: 14.4.2011

Dohányos M., Koller J., Strnadová N., 2004: Čištění odpadních vod. VŠCHT, Praha, 177 s.

Dohányos M., 2006: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Online: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>, staženo: 25.3.2011.

EKOMONITOR s.r.o. Chrudim, Píšťovy 820, 2011 <http://www.ekomonitor.cz>, nepublikováno

Ekomvo s.r.o., 2011: Hygienizace kalů. Online: <http://ekomvo.cz/cs/kalova-hospodarstvi-hm/hygienizace-kalu-hm.html>, staženo: 27.3.2011.

EnviWeb, 2011: Variantní návrh ekonomické likvidace kalů dle velikosti ČOV. Online: <http://www.enviweb.cz/clanek/voda/74715/variantni-navrh-ekonomicke-likvidace-kalu-dle-velikosti-cov>, staženo: 3.3.2011.

Fortex ags, 2011: OSS – oxytherm sludge systém. Online: <http://www.fortex.cz/cz/cistirny-odpadnich-vod/produkty/oss-oxytherm-sludge-system>, staženo: 2.3.2011.

Hlavínek P., Novotný D., 1996: Intenzifikace čistíren odpadních vod. NOEL 2000, Brno 85 s.

Hlavínek P., Mičín J., Prax P., 2001: Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, Brno 251 s.

Hloušek L., 2009: Zahušťování biologických kalů s následným odvodněním snižuje náklady na čištění odpadních vod. Online: <http://www.ecotechnika.sk/ecotechnika-12009/zahustovani-biologickych-kalu.html>, staženo: 27.3.2011.

Lyčková B., Fečko P., Kučerová R., 2005a: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů. Online: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/materiály/bara/info.html>, staženo: 25.3.2011.

Lyčková B., Fečko P., Kučerová R., 2005b: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů. Online: <http://homen.vsb.cz/hgf/546/materiály/bara/vyuziti.html>, staženo: 25.3.2011.

Malý J., Hlavínek P., 1996: Čištění průmyslových odpadních vod. NOEL 2000, Brno, 255s.

Metalmind technologická zařízení, 2011: Skladování čistírenských kalů. Online: <http://www.metalmind.cz/uprava-a-cistení-vody/cistirenstvi/komunalni-voda/skladkovani-a-doprava-odvodneneho-kalu/>, staženo: 27.3.2011.

Moučka P., 2008: Využití flotace ve vodním hospodářství. Online: http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/7765/moučka_2008_bp.pdf?sequence=1, staženo: 27.3.2011.

Pytl V. a kol., 2004: Příručka provozovatele odpadních vod, SOVAK 2004, Praha 209 s.

Zákon č. 156/2000 Sb., o hnojvech, v platném znění

Zákon č. 185/2006 Sb., o odpadech, v platném znění

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění

Zákon č. 308/1998 Sb., kterým se mění zákon č. 156/2000 Sb.

Zákon č. 569/1991 Sb., o pozemkovém fondu České republiky

16. Seznam obrázků

Obr. č. 1 Základní schéma čistírny odpadních vod s kalovým hospodářstvím (zdroj: Lyčková a kol. 2008).....	14
Obr. č. 2 Zóny v zahušťovací nádrži (zdroj: Lyčková a kol. 2008).....	16
Obr. č. 3 Schéma gravitační zahušťovací nádrže (zdroj: Lyčková a kol. 2008)	18
Obr. č. 4 Pěnová flotace (zdroj: Lyčková a kol. 2008)	18
Obr. č. 5 Schéma zahušťovací odstředivky (zdroj: Lyčková a kol. 2008).....	19
Obr. č. 6 Rotační zahušťovač (zdroj: Lyčková a kol. 2008).....	21
Obr. č. 7 Pásový zahušťovač (zdroj: Lyčková a kol. 2008).....	21
Obr. č. 8 Šnekový zahušťovač (zdroj: Lyčková a kol. 2008)	22
Obr. č. 9 Bioplynová stanice (CzechReAgency 2011)	23
Obr. č. 10 Schéma anaerobního vyhnívání (zdroj: Lyčková a kol. 2008)	24
Obr. č. 11 Schéma uspořádání ATS reaktoru (EnviWeb 2011).....	28
Obr. č. 12 Zařízení pro autotermní termofilní stabilizaci (Fortex ags 2011)	29
Obr. č. 13 Kalolis (zdroj: Lyčková a kol. 2008)	31

17. Seznam tabulek

Tab. č. 1 Množství sušiny v kalu (zdroj: Lyčková a kol. 2008).....	12
Tab. č. 2 Složení kalu (zdroj: Lyčková a kol. 2008).....	13
Tab. č. 3 Orientační hodnoty střední doby zdržení dle ČSN 756401 (zdroj: Lyčková a kol. 2008)	16

18. Seznam grafů

Graf č. 1 ČOV „A“ - Množství vyprodukovaného čistírenského kalu za rok 2009 v tunách.	41
Graf č. 2 „A“ - Množství vyprodukovaného čistírenského kalu za rok 2010 v tunách.	42
Graf č. 3 ČOV „A“ - Porovnání produkce čistírenského kalu za rok 2009 a 2010.	43
Graf č. 4 ČOV „B“ - Porovnání produkce čistírenského kalu za rok 2009 a 2010... ..	44
Graf č. 5 Produkce odpadu z ČOV „A“ a ČOV „B“ v tunách.	47

