

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie krajiny

Zpracování aktivovaného kalu na biologické čistírně

UNIPETROL RPA s.r.o.

Bakalářská práce

Autor: Jana Mušková

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Jan Vymazal, CSc.

2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma zpracování aktivovaného kalu na biologické čistírně UNIPETROL RPA s.r.o. vypracovala samostatně pod odborným vedením ze strany mého vedoucího práce a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Litvínově dne 2. 4. 2010.

.....

Jana Mušková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda vyjádřila poděkování vedoucímu mé bakalářské práce Doc. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutí odborné literatury, cenné rady a podnětné připomínky, návrhy, korekce mé bakalářské práce a čas, který mi věnoval. Dále děkuji panu Ing. Žlunkovi z Unipetrol RPA s.r.o. za poskytnutí odborných informací z praxe v oblasti zpracování aktivovaného kalu.

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na celkovou problematiku zpracování aktivovaného kalu na čistírnách odpadních vod. Je zaměřena na popis samotného aktivovaného kalu, jeho úpravu, zpracování a likvidaci. Aktivovaný kal je výsledkem spontánního směšování přitékající odpadní vody s recirkulovaným aktivovaným kalem a provzdušňování vzduchem za intenzivního míchání v aktivační nádrži. Práce mapuje zpracování kalu na konkrétní ČOV společnosti Unipetrol RPA s.r.o. v Litvínově, Záluží.

Klíčová slova:

Aktivační čistírna odpadních vod, aktivovaný kal, úprava a zpracování aktivovaného kalu, vyhnívání kalu

Abstract

The submitted Bachelor thesis is focused on the entire issue of activated sludge treatment in wastewater treatment facilities. It focuses on the activated sludge characterization, its pretreatment, processing and disposal. Activated sludge is a results of spontaneous mixing of inflowing wastewater with recirculated activated sludge in intensively aerated tanks. The thesis presents sludge treatment at particular wastewater treatment facility of Unipetrol Litvínov, Záluží.

Keywords:

Wastewater treatment facility, activated sludge, sludge digestion, pretreatment and treatment of sludge

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Aktivační čistírna odpadních vod	8
2.1 Aktivační proces.....	8
3. Aktivovaný kal.....	9
3.1 Vznik a základní popis aktivovaného kalu	9
3.2 Klasifikace kalů.....	12
3.2.1 Primární kal	12
3.2.2 Sekundární kal	12
3.3 Rizikové prvky v kalech z ČOV	12
4. Kalové hospodářství ČOV	14
4.1 Redukce množství produkovaných kalů	16
4.1.1 Primární (mechanické) čištění.....	16
4.1.2 Snižování produkce biomasy v aerobním biologickém stupni.....	16
4.1.3 Využití metazoi k redukci množství kalu	16
5. Úprava přebytečného aktivovaného kalu	17
5.1 Zahušťování kalu	18
5.1.1 Sedimentaci v gravitačních nádržích.....	19
5.1.2 Flotace	19
5.1.3 Zahušťovací odstředivky	20
5.2 Stabilizace kalu	20
5.2.1 Anaerobní stabilizace kalu.....	21
5.2.2 Aerobní stabilizace kalů.....	22
5.2.3 Chemická stabilizace	22
5.2.4 Stabilizace kalů v umělých mokřadech.....	23
6. Likvidace čistírenských kalů.....	24
6.1 Konečné metody zpracování kalů	24
6.1.1 Spalování kalů.....	25
6.1.2 Spalování v cementárenské peci	26
6.1.3 Pyrolýza.....	26
6.1.4 Kompostování.....	27
6.1.5 Zemědělské využití.....	27
6.1.6 Skládkování kalů	28
6.2 Výroba bioplynu z kalů.....	28
7. Zpracování kalů na ČOV Unipetrol RPA s.r.o.	30
7.1 Základní popis ČOV	30
7.2 Popis výroby kalového hospodářství (KH)	30
7.2.1 Charakteristika médií v KH	31
7.3 Kapacita kalového hospodářství	33
7.4 Úsek separace, zahuštění a čerpání kalů na BČ II	33
7.4.1 Primární kal	33
7.4.2 Přebytečný kal z DN I	33
7.4.3 Přebytečný kal z DN II.....	34
7.4.4 Čerpání kalů z JPK	34
7.4.5 Čerpací stanice kalů	34

7.4.6 Zahušťovací nádrž ZN IV	35
7.5 Úsek separace, zahuštění a čerpání kalů na BČ III	36
7.5.1 Flotační kaly ze dna nádrže	36
7.5.2 Plovoucí kaly z flotace	36
7.5.3 Přebytný kal z DN III	37
7.5.4 Čerpací stanice (ZN III + flotace)	37
7.5.5 Jímka AM633	37
7.6 Úsek odvodnění flotačních kalů na BČ III	38
7.7 Úsek akumulace a čerpání směsných kalů	39
7.8 Odvodnění, solidifikace a doprava biokalů	39
7.8.1 Účel zařízení	39
7.8.2 Úsek odvodnění	40
7.8.3 Úsek solidifikace	42
7.9 Úsek dopravy ke K 18	45
7.10 Množství zpracovaných kalů	46
8. Závěr	49
9. Literatura	50
10. Seznam obrázků a tabulek	54
11. Přílohy	55

1. Úvod

Čistírna odpadních vod (ČOV) je zařízení, ve kterém dochází k čištění odpadních vod. Slouží k čištění komunálních (splaškových) vod, průmyslových vod, odpadních vod ze zemědělské výroby a dále také kombinací těchto vod. Čistírny se rozdělují především podle velikosti a typu čistírenského procesu. Nejčastějším typem používaných ČOV v ČR je mechanicko-biologická čistírna odpadních vod. Velké čistírny kombinují většinou všechny dostupné čisticí procesy a to mechanické, biochemické a chemické. Vypouštění odpadních vod do recipientů se řídí zákony České republiky, konkrétně zákonem o vodách a zákonem o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu. Při čištění odpadních vod v aktivačních čistírnách dochází k odstranění nerozpuštěných i rozpuštěných látek z odpadní vody, přičemž vznikají čistírenské kaly. V usazovacích nádržích vzniká tzv. primární kal, který je tvořen nerozpuštěnými látkami, které jsou obsaženy v odpadní vodě. V aktivačních nádržích, kde jsou odstraňovány rozpuštěné látky, jako jsou organické látky, amoniak, fosfor nebo těžké kovy, vzniká tzv. aktivovaný kal (Chudoba a kol., 1991). V současné době je kladen velký důraz na ekologické zpracování těchto kalů a jejich využití k dalším, převážně energetickým možnostem. Dříve se kaly vzniklé na čistírnách odpadních vod ukládaly na kalové laguny a vznikaly tak další ekologické zátěže. V současných moderních čistírnách odpadních vod je jedním ze základních a nevyhnutelných technologických zařízení tzv. kalové hospodářství. Bez kalového hospodářství dnes není možné provozovat novou čistírnu odpadních vod.

Základním cílem této bakalářské práce je ucelený náhled na vznik, úpravu a zpracování aktivovaného kalu z čistírny odpadních vod. Dílčím cílem je popis zpracování aktivovaného kalu na biologické čistírně UNIPETROL a.s. Autor práce se snaží poznat a přiblížit zpracování a možnosti využití čistírenských kalů.

2. Aktivační čistírna odpadních vod

2.1 Aktivační proces

Aktivační proces nebo také aktivace je nejstarší kontinuální kultivace mikroorganismů v nesterilních podmínkách (Chudoba a kol., 1991). Čistírny odpadní vod, které využívají proces aktivovaného kalu, se běžně využívají pro čištění splaškových a průmyslových odpadních vod (Wong a kol., 2008). První pokusy s provzdušňováním městské odpadní vody byly prováděny již koncem 19. století v Anglii a Spojených státech (Martin, 1927; Pearse, 1938). Během těchto pokusů se v provzdušňované odpadní vodě obvykle vytvořila vločkovitá suspenze, která však byla vždy po ukončení pokusů vylita i s odpadní vodou. Prvními, kdo zjistili, že pokud se tyto vločky nechaly usadit a použily znovu při další aeraci, byli Ardern a Lockett (1914) v anglickém Manchesteru. Přitom pozorovali, že se stoupající koncentrací suspenze se proces čištění zkracoval ze dnů až na hodiny. Protože se tento kal choval aktivně ve smyslu odstraňování organického znečištění z odpadních vod, byl nazván aktivovaným kalem, a tím vznikl aktivační proces (Chudoba a kol., 1991).

Rozdělení aktivačního procesu (Chudoba a kol., 1991):

1. **Aktivace s oddělenou regenerací kalu** - je jednou z nejstarších modifikací aktivačního procesu, je vhodné jí navrhovat pro koncentrovanější odpadní vody obsahující snadno a rychle rozložitelné látky
2. **Dvoustupňová aktivace** - skládá ze samostatné aktivační a dosazovací nádrže prvního a druhého stupně, navrhuje se pro odpadní vody s vyšším obsahem organického znečištění (BSK_5 nad 300 mg.l^{-1}), umožňuje snížit investiční náklady, není vhodný pro biologické odstraňování dusíku a fosforu
3. **Šachtová aktivace** - reaktor tvoří vnější trouba z ocele, betonu nebo skelného laminátu o průměru 2 až 10 m a hloubce 50 až 200 m, do které je vložena vnitřní trubka o průměru 1 až 1,2 m, díky této konstrukci dochází k úspoře půdy a vyznačuje se vysokým využitím kyslíku ze vzduchu.
4. **Věžová aktivace** - je tvořena uzavřeným a uvnitř protikorozně chráněným reaktorem o průměru 10 až 26 m, výšce 15 až 20m a pracovním objemu

1 200 až 13 000 m³, výhodou je vysoké využití kyslíku ze vzduchu (60 až 80 %), vysoký energetický výtěžek (3 až 4 kg kW.h⁻¹) a malý záběr půdy.

5. **Selektorová aktivace** – je definována jako přítoková část aktivačního systému, ve které je úmyslně udržována vyšší koncentrace rozpuštěného substrátu za účelem podpoření růstu žádoucích nevláknitých organismů a potlačení růstu nežádoucích vláknitých organismů, dochází zde tedy k potlačení vláknitého bytění aktivovaného kalu, zaručuje vysokou účinnost čištění nízké hodnoty kalových indexů.
6. **Adsorpční aktivace** – používá se při čištění průmyslových odpadních vod obsahujících vyšší koncentrace biologicky nerozložitelných organických látek, tím že se dávkuje do odpadní vody nebo do aktivační nádrže práškové aktivní uhlí, které zatěžuje aktivovaný kal a snižuje tak kalový index
7. **Kyslíková aktivace** – k přednostem systému patří to, že potlačuje vláknité bytění a produkuje méně přebytečného kalu, je rozdělena na několik sekcí, které se chovají jako selektor, výhodou kyslíkové aktivace proti aktivaci provzdušňované je její schopnost dodávat potřebný kyslík v neomezených rychlostech
8. **Moderní aktivace** - aktivační nádrže jsou rozděleny na sekce, čímž lze měnit podle potřeby technologický režim, nejdůležitějším prvkem je selektor, který zaručuje, že aktivovaný kal bude mít kalové indexy pod 100 ml.g⁻¹ a provozovatel bude moci podle potřeby udržovat v nádrži koncentraci sušiny kalu od 3 do 9 kg. m⁻³.

3. Aktivovaný kal

3.1 Vznik a základní popis aktivovaného kalu

Aktivovaný kal je výsledkem spontánního směšování přitékající odpadní vody s recirkulovaným aktivovaným kalem a provzdušňování vzduchem za intenzivního míchání v aktivační nádrži. Aktivovaný kal se s čištěnou odpadní vodou vede do dosazovací nádrže, kde se odděluje a zahušťuje. Část takto zahuštěného kalu se vrací zpět do aktivační nádrže (recirkulace) a přebytečný kal se dále zpracovává (Sladká, 1979; Sládeček a kol., 1992).

Na rozdíl od čistých kultur, ve kterých jsou jednotlivé bakterie většinou volně pohyblivé, vyskytují se bakterie v aktivovaném kalu převážně ve formě zoogelí (koloniálních bakterií). Kromě různých druhů bakterií se mohou v aktivovaném kalu vyskytovat houby, plísně a kvasinky. Kromě bakterií jsou pravidelnou součástí aktivovaného kalu bičíkovci, nálevníci, měňavky, slunivky, vířníci nebo hlístice (Sladká 1979, 1989). Kvalitativní a kvantitativní složení aktivovaného kalu závisí hlavně na složení substrátu, na němž byl aktivovaný kal vypěstován, a na hodnotách technologických parametrů během kultivace, jako je době zdržení, zatížení a stáří kalu (Chudoba a kol., 1991; Ambrožová, 2007). Typická produkce surového aktivovaného kalu se pohybuje v rozmezí 1,2 – 2,4 kg na osobu a den (Wong a spol., 2008).

Kal je disperzní systém, který obsahuje látky rozpuštěné, koloidní a především suspendované. V kalu zpravidla převažuje obsah pevných látek. Od 1. ledna 2002 platí nový zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. ve kterém je uváděna definice kalu a stabilizovaného kalu. Současně s novým zákonem nabývá účinnosti i vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Aktivovaný kal je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Kaly představují přibližně 1-2% objemu čištěných vod, je v nich však zkoncentrováno až 50 - 80% původního znečištění (Dohányos, 2006).

Základní vlastnosti kalu (Hlavínek, 2005):

- Základní charakteristikou kalu je obsah vody určující jeho objemové množství.
- Důležité je chemické složení částic, které jsou obsažené v kalech a ty dále určují i jeho fyzikální vlastnosti.
- Pro první charakteristiku kalu je významný organický podíl v sušině, resp. zbývající podíl anorganický.
- Po odpaření vody při 105 °C zůstanou z kalu látky tvořící **sušinu**, část této sušiny je tvořena látkami původně rozpuštěných ve vodě, které při zahušťování v kalu zůstávají a podstatnou část tvoří suspendované látky, které mají při jeho zpracování rozhodující význam.
- V kalu vedle tzv. prostorové vody, oddělitelné gravitačními silami existuje voda více či méně pevně vázaná na částice kalu.
- Vodu z kalu lze oddělit separací - odvodněním, dále termickými způsoby – sušením.

- Organický podíl kalu se stanoví přibližně jako ztráta žiháním sušiny při 550 °C, zbytek po žihání tvoří látky anorganické.
- Organické látky kalové suspenze lze dále dělit na látky biologicky rozložitelné a látky vůči tomuto rozkladu resistantní.
- Mikrobiální rozklad organického podílu kalu, příp. některé fáze tohoto rozkladu probíhají často za tvorby zapáchajících látek.
- Významné jsou hygienické vlastnosti kalu, zejména obsah patogenních zárodků - bakterií, viru, protozoí, červu a jejich vajíček, atd. při stabilizaci kalu je kladen důraz i na usmrcení těchto patogenů nebo alespoň výrazné snížení jejich počtu.
- Hygienické vlastnosti kalu postihuje i přítomnost toxických látek.

Podstatnou charakteristikou kalu je **obsah sušiny kalu**, který se stanoví odpařením vody při teplotě 105°C jako hmotnostní podíl p_s . Při odpaření vody se odstraní i těkavé látky, kterých je ovšem zanedbatelné množství. Obsah sušiny primárního kalu odebíraného z prvního stupně je kolem 2,5%. Obsah sušiny přebytečného kalu je 0,5 - 1,0%, po zahuštění až 4 - 6% (Hlavínek, 2005). Stabilizovaný a odvodněný kal má obsah sušiny obvykle 20 – 50 %, po termické úpravě až 90% (Hlavínek, 2005). **Stáří kalu** – důležitá charakteristika, udávající množství aktivovaného kalu v systému vztahované k denní produkci kalu (vlastně se jedná o dobu zdržení biomasy) (Hlavínek, 2005).

Surový kal (kal, který ještě nebyl stabilizován) 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. Kaly představují suspenzi pevných látek a agregovaných koloidních látek původně přítomných v odpadních vodách a vzniklých při různých způsobech jejich čištění. Koncentrace kalů se vyjadřuje jako obsah sušiny kalu (vyjádřený buď v g/l nebo v %) (Dohányos, 2006). Složení a obsah sušiny kalu závisí především na charakteru znečištění odpadních vod a na čistírenských procesech, kterým byla daná odpadní voda podrobena (mechanické čištění, biologické čištění nebo jejich kombinace, fyzikálně-chemické čištění nebo dočištění).

Kalový index značí objem usazeného kalu po 30 minutách sedimentace, vztahovaný na koncentraci sušiny kalu. Kaly se rozlišují podle toho, kde jsou ze

systemu čištění odebírány na - primární, sekundární a terciální kal (což je kal z chemického srážení) (Hlavínek, 2005).

3.2 Klasifikace kalů

3.2.1 Primární kal

Odděluje se ze surové odpadní vody v usazovacích nádržích nebo jiných separačních zařízeních, ze kterých je poté odebírán. Je především biologické povahy a jeho složení je dáno především složením odpadní vody a poměry ve stokové síti. Může být také ovlivněn předřazeným chemickým hospodářstvím ČOV (Hlavínek, 2005).

3.2.2 Sekundární kal

Označovaný jako přebytečný aktivovaný kal, či přebytečný biologický kal, je oddělován z biologického stupně čištění v dosazovací nádrži. Obsahuje nerozložené zbytky organických látek a přebytečnou biomasu, opět jeho složení významně ovlivňuje složení surové odpadní vody, dále také použitý způsob čištění a parametry provozu. Oba typy kalů mají odlišné složení a vlastnosti, mohou být zpracovány odděleně nebo společně. Jednotlivé zpracování má výhodu konkrétního využití kalu (např. primární kal do zemědělství). Při společném zpracování se kaly separátně zahustí a dále se vedou do jedné „vyhňovací“ nádrže, kde poté proběhne společná stabilizace (Dohányos, 2006).

3.3 Rizikové prvky v kalech z ČOV

Čistírenské kaly jsou výstupem z procesu probíhajícího v čistírnách odpadních vod (ČOV). Kaly jsou různorodou suspenzí anorganických a organických látek, tedy zdrojem jak organické hmoty, základních živin a stopových prvků, tak i rizikových prvků, nebezpečných organických sloučenin a mikroorganismů (Kubík, 2007).

Aplikace na zemědělskou půdu je nejrozšířenějším způsobem využití upravených čistírenských kalů a jedním z limitujících faktorů tohoto použití jsou zvýšené koncentrace rizikových prvků (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) v kalech. Podle vyhlášky č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na

zemědělské půdě, (MŽP, 2004) musí být při aplikaci upravených čistírenských kalů na zemědělskou půdu dodrženy mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků a na zemědělskou půdu mohou být použity pouze kaly vyhovující mezním hodnotám stanovených vyhláškou uvedených v tabulce 1.

Tabulka 1 - Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě - ukazatele pro hodnocení kalů (Kubík, 2007).

Rizikové prvky	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg.kg ⁻¹ sušiny)	30	5	200	500	4	100	200	2500

V rozmezí hodnot pH, které kaly obvykle mají, se rizikové prvky v kalech vyskytují ve velké míře v nerozpustné formě. Biologická dostupnost těžkých kovů není v přímé korelaci s jejich celkovou koncentrací v kalu ani v půdě. Dostupnost těžkých kovů z čistírenských kalů pro rostliny je dána hlavně půdními vlastnostmi, stejně jako mobilita kovů v půdě po aplikaci čistírenských kalů závisí hlavně na chemických a fyzikálních vlastnostech systému kal – půda. Současný výskyt více než jednoho těžkého kovu v čistírenských kalech v nadměrném množství může po aplikaci kalu způsobit zesílenou (synergickou) toxicitu v půdě. Kovy pocházející z čistírenských kalů jsou akumulovány převážně v povrchových vrstvách půdy a nejdostupnějším pro organismy je zinek (Kubík, 2007).

Kal může být zdrojem šíření původců infekčních a parazitálních onemocnění člověka i zvířat, proto je nutné sledovat, zda obsahuje **potenciální patogeny** - termotolerantní koliformní bakterie, enterokoky a *Salmonella*, vajíčka helmintů, enteroviry, atd, (dále viz tabulka 2) (Radimská, 2006).

Tabulka 2 - Limitní hodnoty mikrobiálního znečištění čistírenských kalů (Radimská, 2006).
KTJ – kolonie tvořící jednotky, CS – celková sušina kalu

Kategorie kalu	Přípustné množství KTJ/g CS	Přípustné množství KTJ/g CS	Přípustné množství KTJ/g CS
	Termotolerantní koliformní bakterie	Enterokoky	<i>Salmonella</i>
I.	do 10 ³	do 10 ³	Negativní nález
II.	10 ³ -10 ⁶	10 ³ -10 ⁶	Nesleduje se

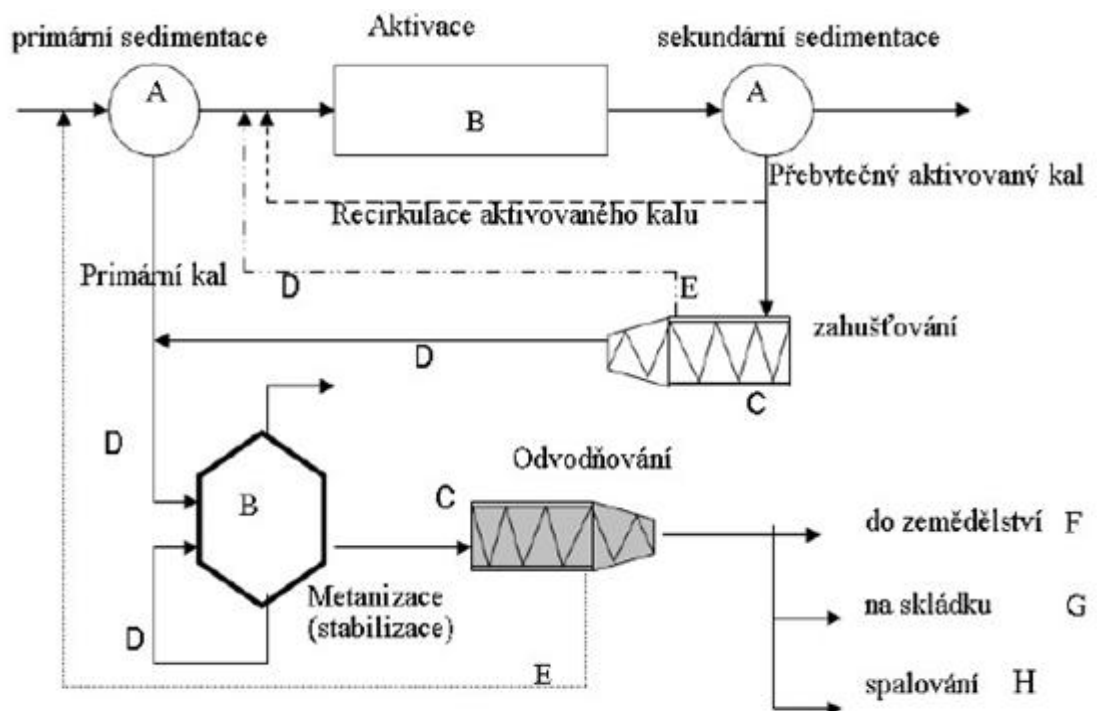
Při zjištění výskytu nepřipustného množství potenciálních patogenů, je nutné provést hygienizaci kalu. Metody hygienizace jsou buď chemické (silná oxidační činidla), či fyzikální (teplota, radiace, ultrazvuk, mechanická destrukce buněk organismů), vždy jde o metody, při kterých dochází k usmrcování mikroorganismů. V České republice je prováděna kontrola kalů na základě zákona č. 147/2002 Sb. (Ministerstvo zemědělství, 2002), o Ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském, ve znění pozdějších předpisů a je zaměřena především na ty ČOV, u nichž je předpoklad, že určitá část produkce kalů je směřována v konečné fázi na zemědělskou půdu. Nejrizikovějšími prvky byly zjištěny Hg, Ni a Pb a také v menší míře Cr. Měření bylo zjištěno, že dochází meziročně ke snížení počtu nevyhovujících vzorků kalů a k pozitivnímu klesajícímu trendu (Radimská, 2006). Mimo kontroly rizikových prvků se v kalech dále také kontrolují ještě další kritéria např. obsah organických polutantů, či mikrobiální znečištění (Radimská, 2006).

4. Kalové hospodářství ČOV

Na každé čistírně odpadních vod musí být řešena problematika kalového hospodářství, návrh a provoz kalové koncovky jsou limitujícím faktorem konečného efektu čištění a plnění požadavků na ČOV. Kalové hospodářství musí být vždy posuzováno ve vztahu k hlavní technologické lince a musí být zaměřeno na (Hlavínek, 2005):

- omezení negativního vlivu kalového hospodářství (KH) na hlavní linku čištění
- zaručení dobrého provozu celého systému
- minimalizace provozních nákladů při současném zajištění dobré funkce KH
- respektování požadavků na ochranu životního prostředí

Zpracování a likvidace čistírenských kalů je jedním z nejdůležitějších a nejkritičtějších problémů čištění odpadních vod. Neexistuje žádná univerzální metoda pro zpracování, využití, eventuelně likvidaci čistírenských kalů a tak rozdílnost přístupů k nakládání s čistírenskými kaly je značná. Kalové hospodářství je limitováno technickým omezením jednotlivých zařízení na ČOV, legislativou a celkovými náklady. Při nakládání s kaly je povinné dodržovat legislativní normy vztahující se na kaly, jedná se zejména o zákon o odpadech, o hnojivech a o ovzduší, dále vyhlášky o zařazení do katalogu odpadů, o nakládání s odpady a zejména o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů. Náklady na provoz kalového hospodářství představují až 50% celkových provozních nákladů čistírny odpadních vod (Lyčková, 2009). Přehledné základní schéma kalového hospodářství čistírny odpadních vod je na obrázku 1.



Obrázek 1 - Základní schéma kalového hospodářství na ČOV (Lyčková, 2009).

4.1 Redukce množství produkovaných kalů

Množství kalů produkovaných na ČOV závisí především na množství a kvalitě čištěných odpadních vod a na použité technologii jejich čištění. Problematiku ovlivňování množství čistírenských kalů můžeme rozdělit do čtyř oblastí.

4.1.1 Primární (mechanické) čištění

Většina znečištění přicházející na čistírnu je ve formě suspendovaných látek. Množství primárního kalu je tedy dáno množstvím suspendovaných látek v surové odpadní vodě, do určité míry závisí na účinnosti separace suspendovaných látek. Separace suspendovaných látek se často upravuje přidávkem koagulačních činidel, tím se dosáhne odstranění většiny suspendovaných i koloidních látek, zvýší se množství primárního kalu a sníží zatížení aktivačního procesu. Množství primárního kalu lze snížit také zamezením používání kuchyňských drtičů bioodpadů. Druhým procesem, jehož aplikace v této oblasti způsobí snížení celkové produkce kalu je anaerobní stupeň předčištění odpadních vod, podstatně se sníží zatížení aerobního biologického stupně (Dohányos, 2006).

4.1.2 Snižování produkce biomasy v aerobním biologickém stupni.

Snížení produkce přebytečného aktivovaného kalu je možno dosáhnout úpravou technologických parametrů procesu jako jsou stáří kalu, limitace substrátem, typ kultivace biomasy - v biofilmu nebo v suspenzi, vyžití predace, simultánní ozonizace nebo jiného způsobu dezintegrace (Dohányos, 2006).

4.1.3 Využití metazoi k redukcí množství kalu

Ekosystém v biologických čistírnách odpadních vod představuje směsnou kulturu organismů - bakterie, houby, plísně jako zástupce destruentů, protozoa, metazoa, larvy hmyzu jako zástupce konzumentů. V aktivačním systému jsou konzumenti zastoupeni převážně prvoky a příležitostně mnohobuněčnými organismy, ve skrápěných biofiltrech je populace mnohobuněčných významně početnější. Nárůst biomasy ve skrápěných biofiltrech je dramaticky nižší než v aktivačním systému. Mnohobuněční mohou tedy být zodpovědní za nižší produkci

biomasy. Tato nižší produkce je způsobena vyšším stupněm mineralizace kalu, při které je organický uhlík přeměněn na CO₂. Při laboratorních pokusech, byly skrápěné biofiltry inokulovány jednou kulturou mnohobuněčných - Tubificidae. Tyto pokusy ukázaly, že přítomnost těchto mnohobuněčných organismů vede k podstatnému snížení produkce biomasy a rovněž ke zlepšení odvoditelnosti kalu a jeho sedimentačních vlastností. Nevýhodou mineralizace kalu pomocí mnohobuněčných je nárůst dusičnanů a fosfátů ve vodní fázi. Pro využití těchto principů v praxi je však třeba další výzkum (Rensing a Rulkens 1997, Dohányos a Kutil, 2005).

5. Úprava přebytečného aktivovaného kalu

Zpracování odpadních vod je navrženo tak, aby odstraňovalo nežádoucí složky z vody a koncentrovalo je do objemově nevýznamného vedlejšího proudu - kalu. Kal také většinou obsahuje přebytečnou biomasu z biologického čištění. Cílem úpravy kalu je především snižování množství vody, tj. zahušťování a odvodnění kalu, čímž dojde ke zmenšení objemu kalu (Hlavínek 2005). Dále jde o zlepšení jeho hygienických a senzorických vlastností a vytvoření podmínek pro jeho využití. Významným cílem úpravy kalů je zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. Koncentrace prospěšných i znečišťujících složek v kalu (a zdravotní rizika s nimi spojená) závisí na počáteční kvalitě odpadní vody a na úrovni požadované technologie, která zaručí dosažení kvalitativních požadavků na vyčištěnou odpadní vodu. Odpadová politika EU potlačuje ukládání odpadů a podporuje zabránění vzniku odpadů, jejich minimalizaci a recyklaci. Ovšem produkci kalů z ČOV nelze zabránit, pouze lze výběrem technologie zmenšit jeho množství. Navíc stále se zvyšující požadavky na kvalitu vypouštěné vody z ČOV budou dále obecně zvyšovat množství produkovaných kalů (Dohányos a Kutil, 2005).

Primární metody úpravy kalů (Dohányos a Kutil, 2005):

- **separace** - třídění podle kvality materiálu (oddělení organické frakce, oddělení frakcí vhodných k recyklaci - kovy, sklo, plasty apod.);
- **kondicionace** - chemická, termická nebo fyzikálně-chemická předpraha, kam patří přidavek flokulantů ke zlepšení odvodnitelnosti kalů, termická předúprava aktivovaného kalu apod.;

- **zahušťování a odvodňování** - metody pro zvýšení koncentrace sušiny kalu před jeho dalším zpracováním (na koncentraci sušiny do cca 40%), účelem je snížení objemového množství kalové suspenze a odstranit z kalu část volné vody
- **desintegrace** – mechanická (mlýny, vysokotlaké homogenizátory, lyzátovací zahušťovací centrifugy), fyzikální (ultrazvuk), fyzikálně-chemická (termická hydrolýza, alkalická nebo kyselá hydrolýza);
- **hygienizace** – inaktivace patogenů, hygienizace může být zařazena jako samostatná metoda a to před nebo po stupni stabilizace kalu anebo hygienizačně působí již zvolená technologie zpracování kalu (např. termofilní aerobní nebo anaerobní stabilizace, všechny termické metody);
- **anaerobní biologická stabilizace** - methanizace - metoda zušlechtění odpadu přeměnou převážné části jeho organické sušiny na bioplyn, současně dochází k minimalizaci množství zpracovávaného materiálu a k jeho hygienizaci;
- **aerobní biologická stabilizace** - mezofilní, probíhá obvykle v otevřených nádržích, termofilní (autotermní), vyžaduje uzavřené reaktory často jako předstupeň anaerobní stabilizaci (Duální systém);
- **sušení** - zvýšení obsahu sušiny na 60-95%

5.1 Zahušťování kalu

Po odebrání kalu ze systému je první etapou úpravy a zpracování kalu jeho zahušťování. Jeho provedení ovlivňuje veškeré další nakládání s kaly. Zahušťování také určuje investiční a provozní náklady kalového hospodářství (rozměry nádrží, energie na čerpání) (Kutil a kol. 2001). Pokud je kal dále zpracováván anaerobní stabilizací, má zahušťování kalu rozhodující vliv také na (Kutil a kol. 2001):

- tepelnou a energetickou bilanci procesu i celého ČOV
- hydraulické zatížení vyhnívacích nádrží
- produkci bioplynu
- produkci kalové vody
- hygienizaci stabilizovaného kalu

Při zahušťování je z celkového objemu odstraněna část volné vody, optimální obsah sušiny po zahuštění je mezi 5 - 6%, kdy kal je i nadále tekutý, aby se dal

čerpat k dalšímu zpracování (Hlavínek 2005). Metody zahušťování se dělí na (Hlavínek 2005):

- sedimentaci v gravitačních nádržích
- flotaci
- zahušťování v odstředivkách

5.1.1 Sedimentaci v gravitačních nádržích

Primární kal vykazuje většinou dobré sedimentační schopnosti, proto již samotnou sedimentací lze dosáhnout dostatečného zahuštění v usazovací nádrži kolem 2,5%. Tuto hodnotu lze snadno zvýšit instalací odtahového automatického systému, který řídí odtah kalu z usazovací nádrže a zvýší tím koncentraci sušiny na 3,5–4,5% (Hlavínek 2005).

Naopak přebytečný aktivovaný kal má sedimentační vlastnosti velmi špatné. Což je dáno velkým objemem kalových částic přebytečného kalu, které jsou při vyšších koncentracích v usazovací nádrži v těsné blízkosti u sebe a síly mezi nimi působící jsou silnější než gravitační síla. Většina současných ČOV využívá čerpání přebytečného kalu před usazovací nádrž, kde ten poté sedimentuje společně s primárním kalem a oba jsou odsud odebírány jako směsný surový kal. Lze tímto dosáhnout 3 – 4,5% obsahu sušiny v kalu, ovšem při následném zahušťování směsných kalů dochází k nekontrolovatelným aerobním a anaerobním pochodům způsobující zápach i dalším provozním problémům. Proto se u nových ČOV preferuje oddělené zahuštění obou kalů a sedimentace v gravitačních nádržích se doporučuje především pro primární kal, kal z chemického čištění a kal s přisedlou biomasou (Hlavínek 2005).

5.1.2 Flotace

Jedná se o proces oddělování suspendovaných částic z vody působením plynu. Do kalové suspenze je dodáván plyn, nejčastěji vzduch, který tvoří mikrobublinky a na ně se nabalují kalové částice, které jsou vynášeny k hladině. Na hladině vzniká zahuštěná plovoucí vrstva – vzos (float), který má charakter husté kalové pěny. Pěna se odebírá stíráním nebo nasáváním a je poměrně dobře čerpatelná. V praxi se používá tlaková a volná flotace. U tlakové je kal sycen tlakem vzduchu z tlakové nádrže, naopak u volné je vzduch do flotační nádrže

vháněn za normálního tlaku. Používanější je tlaková flotace, kde dochází k pozitivnímu zvýšení koncentrace zahuštěného kalu. Flotaci lze dosáhnout zahuštění kalu na 4-5% obsahu sušiny (Hlavínek 2005).

5.1.3 Zahušťovací odstředivky

Pracují na principu otáčení bubnu a odstředění především přebytečného aktivovaného kalu, nevýhodou jsou větší investiční a provozní náklady a také opotřebení bubnu. Lze tak dosáhnout hodnot sušiny 4–6% (Hlavínek 2005).

Také lze použít rotační, pásové šnekové a štěrbinové zahušťovače, kde je ovšem velká spotřeba flokulantu a zařízení pracují v cyklech, kde je nutná odstávka pro čištění a nejsou tyto zařízení tolik rozšířené (Hlavínek 2005).

5.2 Stabilizace kalu

Stupeň stabilizace kalu stanoví míru jeho určitých vlastností, vyjadřující vhodnost kalu pro daný způsob jeho využití. Podle zákona o odpadech je kal klasifikován jako nebezpečný odpad, 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**. Tento je díky svým vlastnostem možno využít v zemědělství, buď přímo k hnojení a kondicionaci půdy, či až po předchozím kompostování. Tato úprava se nazývá „**stabilizace**“ kalu. Způsoby stabilizace jsou - biologická (aerobní, anaerobní), chemická, termická (pasterizace, sušení) (Radimská 2006). Obecně se pokládá za stabilizovaný kal takový, který nezpůsobuje žádné škody na životním prostředí a nevyvolává obtíže (nepříjemnosti) při zacházení s ním. Pokud je kal stabilizován tak, že nezpůsobuje „škody“ na životním prostředí dá se o něm říci, že nemá nežádoucí účinek na stav ekologie. Účinek na stav ekologie může být buď toxický, nebo pouze akumulace (hromadění) nežádoucího množství inertního materiálu. Pojem „obtíže“ může být posuzován jako negativní působení na smysly člověka zejména na čich (zápach) a zrak (neestetický vzhled) (Dohányos a kol. 1997, Hlavínek 2005).

5.2.1 Anaerobní stabilizace kalu

Je označována jako metanizace či vyhnívání, probíhá v anaerobních podmínkách prostřednictvím mikroorganismů, které rozkládají biologicky rozložitelné organické látky obsažené v surovém kalu. Přitom je uvolňován bioplyn a odtahována kalová voda. Používá se především u velkých ČOV ke společné stabilizaci primárního a přebytečného kalu. Jedná se o několikastupňový proces, na kterém se podílí mnoho skupin mikroorganismů vzájemně se ovlivňujících (Dohányos 2008).

Skládá se z těchto procesů (Dohányos 2008):

- hydrolýza – rozklad makromolekulárních organických látek na nízkomolekulární
- acidogeneze – rozklad produktů hydrolýzy na alkoholy, vyšší kyseliny a další
- acetogeneze – oxidace vyšších produktů acidogeneze na kyselinu octovou, H_2 , CO_2
- metanogeneze – rozklad jednoduhlíkatých látek a kyseliny octové na CH_4 a CO_2

Anaerobní stabilizace (metanizace) kalu probíhá ve vodotěsných a plynotěsných reaktorech – metanizačních nádržích, je velmi citlivá na změnu teploty v reaktoru. Požadavkem je odstranění 75% biologicky rozložitelné organické hmoty a po odstranění kalové vody se zvýší obsah sušiny z původních 5% na 7-10% (Dohányos 2008). Metanizace se dělí na nízkozatíženou a vysokozatíženou (viz tabulka 3). Nízkozatížená se označuje za normální či standardní s menším zatížením a delší dobou metanizace. Vysokozatížená metanizace neboli rychlovyhnívání je zatížena více, má kratší dobu zdržení, kontinuální míchání a vždy má dva stupně. Mezi hlavní návrhové parametry patří doba zdržení, obsah sušiny kalu, teplota a míchání. (Kutil a Dohanyos, 2005).

Tabulka 3 - technologických parametrů nízko a vysokozařízené metanizace (Kutil a Dohanyos, 2005).

Parametr	Nízkozařízená metanizace	Vysokozařízená metanizace
Teplota	30 – 35°C	30 – 35°C
Doba zdržení	20 – 30 dní	10 – 15 dní
Objemové zatížení	0,5 – 1,5 kg.m ⁻³ .d ⁻¹	2 – 5 kg.m ⁻³ .d ⁻¹
pH	6,8 – 7,4	6,4 – 7,8
Míchání	Přerušované	Kontinuální
Počet stupňů	1 nebo 2	Vždy 2

5.2.2 Aerobní stabilizace kalů

Probíhá v aerobních podmínkách prostřednictvím mikroorganismů, které rozkládají biologicky rozložitelné organické látky v surovém kalu. Používá se zejména v malých čistírnách s nízkozařízenými systémy aktivace. Může probíhat ve stejné nádrži jako aktivační proces. Oddělená aerobní stabilizace se používá u větších ČOV pro stabilizaci přebytečného aktivovaného kalu, či směšného kalu. Je zde delší doba zdržení až 25 dní. Výhodou jsou nízké hodnoty BSK₅ v kalové vodě, jednoduchý provoz a nízké investiční náklady. Ovšem nevýhodou jsou vysoké energetické náklady vzhledem ke zvýšené spotřebě energie (Radimská 2006).

5.2.3 Chemická stabilizace

Spočívá ve zvýšení pH kalu na hodnotu alespoň 11,5 kdy dochází k ničení patogenních organismů (bakterií a virů), zatímco organické látky zůstanou nerozloženy. Skládá se z destabilizace, kde je vápno dávkováno před odvodněním kalu a z poststabilizace, kde se do již odvodněného kalu dává nehasené vápno. Chemická stabilizace se považuje za účinnou metodu hygieničce kalů, ovšem nesmí docházet k delšímu skladování kalů, kde by hrozilo opět to, že by se kal stal hygienicky závadným (Radimská 2006). 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. Jedním z hlavních požadavků pro další zpracování a využívání kalů je ve většině případů jejich hygienické zabezpečení (odstranění patogenních mikroorganismů) toto se často vydává za hlavní cíl stabilizace. Za **hygienizovaný** se pokládá kal, který prošel takovou úpravou, že počty indikátorů patogenních mikroorganismů byly sníženy na požadovanou hodnotu. Za **stabilizovaný hygienizovaný** kal lze pokládat kal, který prošel takovou úpravou, že množství rozložitelných organických látek v % celkového množství kalu a biologická aktivita kalu je snížena na takovou hodnotu, že již nepodléhá spontánnímu biologickému rozkladu (Dohányos a Kutil 2005).

5.2.4 Stabilizace kalů v umělých mokřadech

Pro odvodňování a stabilizaci aktivovaného kalu se s výhodou využívají umělé mokřady (Nielsen 2008). Při tomto způsobu je aktivovaný kal aplikován na povrch umělého mokřadu, který je vyplněn dobře propustným filtračním materiálem (většinou šterk) a osázen mokřadní vegetací s velkou evapotranspirační schopností (nejčastěji rákos obecný-*Phragmites australis*). Odvodnění kalu se uskutečňuje jednak gravitačním průsakem vody a jednak evapotranspirací. První pokusy byly prováděny již v 50. letech 20. století v Německu (Seidel, 1967), ale ve větší míře se používá tento způsob v Evropě od druhé poloviny 80. let minulého století především ve Francii a Dánsku (Nielsen, 2007, 2008). V Dánsku je například tímto způsobem zpracováváno asi 50% veškerého aktivovaného kalu a největší čistírna, kde je tento způsob aplikován je pro 125 000 EO (Nielsen, 2008). Touto metodou lze zpracovat kaly s obsahem pevných látek v rozmezí 0,5-5%. Doba aplikace kalů je 8-12 let a po této době má stabilizovaný kal obsah pevných látek 30-40% a lze jej vytěžit pro další využití. Pro aktivovaný kal se používá zatížení 50-60 kg m⁻² rok⁻¹ (vztaženo na sušinu) a je nutné mít k dispozici minimálně 8 polí (Obr. 2), která jsou zatěžována střídavě (Nielsen, 2007). V České republice se tento způsob příliš neuplatňuje, i když poloprovozní pokusy byly velmi úspěšné (Šálek, 2003, 2005; Šálek a spol., 2009)



Obrázek 2 - Stabilizace kalů na ČOV Helsingør v Dánsku pro 42 000 EO. Deset rákosových polí (na obrázku za aktivační čistírnou) zpracovává ročně 650 tun aktivovaného kalu od roku 1996.
Foto Steen Nielsen.

6. Likvidace čistírenských kalů

6.1 Konečné metody zpracování kalů

Čistírenský kal, který prošel jednotlivými stupni úprav, stabilizace a hygienizace lze využít především následujícími finálními metodami (Dohányos a Kutil 2005):

- **kompostování** - aerobní biologická stabilizace materiálů, využití jeho hnojivých vlastností, možnost využívání kompostů pro úpravy vodohospodářsky neexponovaných ploch - městská zeleň, pásy podél silnic apod.,
- **aplikace na zemědělskou půdu** - využití kalů jako hnojiva v zemědělské výrobě - navrácení do půdy toho, co z půdy vzešlo, jedná se pouze o upravené kaly,
- **spalování v cementárenské peci** - nová ekologická a bezodpadová metoda likvidace odpadu (zpracování do cementu),
- **spoluspalování** - spalování společně s energeticky bohatším palivem. (teplárny a elektrárny, spalovny TKO, obvykle se přidává množství kalu do 5 % spotřeby uhlí),

- **spalování** - nejúčinnější metoda hygienizace materiálu, měla by se používat především pro biologicky nerozložitelné organické materiály nebo materiály kontaminované nebo toxické, či jinak nebezpečné,
- **pyrolýza** – při pyrolýze kalu probíhá chemická destrukce organických látek teplem za nepřítomnosti kyslíku,
- **skládkování** - uložení materiálu na zabezpečenou skládku, když se nenaleznou snadnější metoda využití nebo likvidace, skládkování by se především mělo používat pro inertní materiály. Jedná se o nejméně ekologicky vhodné řešení - přesouvá problém pouze na pozdější dobu. V současné době je v ČR zakázáno ukládání kalů na skládky.

V tabulce 4 jsou uvedeny příklady využití kalů v různých zemích ve světě.

Tabulka 4 - Příklady využití kalů v různých zemích v % (Girovich, 1996; Wong a kol. 2008).

	Zemědělství	Skládky	Spalování	Oceán	Ostatní
Francie	60	20	20		
Španělsko	50	35	5	10	
USA	33	34	16	6	11
Portugalsko	11	29		60	
Řecko	10	90			
Austrálie	9	76	2	13	

6.1.1 Spalování kalů

Metody spalování kalů jsou v současné době nejrozvinutější a nejpropracovanější především v Japonsku. Nejvhodnější se ukazuje fluidní spalování. Největší spalovny zpracovávají až 300 t sušiny kalu za den. V případě, že ze spalovaného kalu bylo předem odstraněno dostatečné množství vody a odvodněný kal obsahuje dostatečné množství organických látek, je tento materiál energeticky soběstačný při spalování (tj. sám hoří). Ve většině případů se spaluje surový kal, tj. směs primárního a přebytečného aktivovaného kalu po zahuštění a odvodnění. Někdy se spaluje také kal po anaerobní stabilizaci, přičemž bioplyn se může v případě potřeby používat jako podpůrné palivo (Fukuda 1996).

Jedním z problémů spalování je potenciální toxicita plyných emisí. Z tohoto důvodu musí být kladen důraz na jejich účinné čištění. Z těžkých kovů jsou nejproblematictější olovo a kadmium, avšak jejich potenciální nebezpečí je sníženo tím, že jejich obsah v kalech je nízký a neustále klesá. Další toxické substance jako jsou PCB, dioxiny, pesticidy a podobně, mohou být zneškodněny následným spalováním při teplotě 1200°C. Teplota kouřových plynů je využívána k předehřívání vstupujícího kalu a vzduchu pro spalování, nebo pro jiné účely. Podstatným přínosem spalování kalů je minimalizace objemu. Při spalování se sníží objem kalu o více než 90%, přitom zbylý materiál je inertní a lze jej bez obav uložit na skládku nebo jinak využít (Dohányos a Kutil 2005).

6.1.2 Spalování v cementářské peci

Tato metoda byla vyvinuta opět v Japonsku a má následující výhody (Kutil 2003):

- úplné odstranění všech toxických organických látek v důsledku vysoké teploty vypalování (>1000°C);
- těžké kovy jsou vázány do cementářského slínku a nemohou být vyluhovány;
- úspora uhlí a surovin;
- snížení emisí CO₂;
- bezodpadové zpracování kalu.
- je možno zpracovávat nejenom sušený ale i odvodněný kal

Pro udržení dobrých vlastností cementu je možno sušeným kalem nahradit pouze 5% používaného uhlí a použitý kal musí být vysušen na vysoký obsah sušiny cca 95%.

Využití této metody připravuje např. město Zurich, kde se počítá s likvidací kalů spálením v cementářské peci k tvorbě slínku. Podobná metoda likvidace kalu byla zkoušena i s kaly ÚČOV Praha (Kutil 2003, Dohányos a Kutil 2005).

6.1.3 Pyrolýza

Je novým technologickým postupem likvidace čistírenských kalů, při níž probíhá chemická destrukce organických látek teplem (800-1000 °C) za nepřítomnosti kyslíku. Produkty pyrolýzy jsou plyné (oxid uhličitý, oxid uhelnatý, vodík, methan a další uhlovodíky), kapalné (kondensát a vyšší uhlovodíky) a tuhý zbytek. Poměr kapalného a pevného produktu závisí na podmínkách a teplotě pyrolýzy. Je známa řada technologických variant, lišící se tlakem, teplotou a

eventuálně použitím katalyzátorů. Pyrolýzní plyn a kapalný podíl se spalují, tuhý zbytek je možno skládkovat. Je žádoucí vést proces tak, aby byl minimalizován kapalný podíl a tuhý zbytek byl co nejméně vyluhovatelný. Technologie je finančně náročnější, ovšem v současné době při neustálém růstu ceny fosilních paliv (zejména ropy a zemního plynu) a tlaku proti jejich využívání může být tato technologie technicky i ekonomicky atraktivní (Dohányos a Kutil 2005).

6.1.4 Kompostování

Kompostování je způsob využití biodegradabilních odpadů k výrobě organického hnojiva - kompostu. Přeměnu organické hmoty odpadů na humusové složky při kompostování zabezpečují převážně aerobní mikroorganismy. Přívod vzduchu je základní podmínkou aerobního procesu. Jde o analogické procesy jako při přeměně organické hmoty v přírodním prostředí. Výhodou kompostování je to, že ve zralém kompostu již nelze poznat původní odpady. Kompostováním lze využít energii stabilizovaných čistírenských kalů a kompost dále použít k úpravám vodohospodářsky neexponovaných ploch. Kompostováním se v České Republice zpracuje zhruba 50 % stabilizovaných kalů (Raclavská a kol., 2003).

6.1.5 Zemědělské využití

Ke hnojení zemědělské půdy buď samostatně, ale lépe ve směsi s jinými hnojivy lze použít čistírenské kaly, které neobsahující nebezpečné škodliviny. Odpadní kaly lze mísit s přírodními i se syntetickými hnojivy, které by mohly vstoupit do potravinových řetězců. V největším rozsahu lze k hnojení používat odpadní kaly z čistíren odpadních vod s velkým zastoupením organických složek. Surové kaly jsou pro hnojení nevhodné, neboť obsahují velké množství mikroorganismů, nebezpečných jak pro člověka, tak i pro zvířectvo. Proto se k hnojení využívají stabilizované kaly z čistíren odpadních vod, u nichž je obsah mikroorganismů podstatně snížen. Ani u stabilizovaných kalů nejsou však mikroorganismy zcela potlačeny, takže režim hnojení je nutno tomuto přizpůsobit. Pro zemědělské využití kalů z ČOV je nutno dodržovat vyhl. č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Ve vyhlášce jsou mj. stanoveny mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě. V České Republice se kaly využívají spíše při rekultivacích než přímou aplikací na zemědělskou půdu (Kusá a Růžek 2000).

6.1.6 Skládání kalů

Ukládání čistírenských kalů na skládky není konečné řešení, odsouvá se tím pouze problém na pozdější dobu. Dlouhodobým složištěm čistírenských kalů jsou často kalové laguny, kde se po několik let ukládají stabilizované čistírenské kaly. Ovšem právě tyto laguny jsou ekologicky neúnosné a v ČR jsou zahrnuté do starých ekologických zátěží (MŽP, 2005). Ukládání kalů by měla být poslední možnost, když se nenalezne snadnější metoda využití či likvidace. Ukládání kalů na skládky se řídí zákonem č. 185/2001Sb., o odpadech ve znění pozdějších předpisů, především vyhlášky č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, vyhlášky č. 383/2001 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady a vyhlášky č. 294/2005 Sb. o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu. V posledním desetiletí se množství kalů uložených na skládky v České Republice výrazně snižuje. V roce 2000 se uložilo na skládku 20% čistírenských kalů, v současné době je v ČR zákaz ukládání kalů na skládku (MŽP 2009).

6.2 Výroba bioplynu z kalů

Anaerobní fermentací je možné zpracovávat širokou škálu organických materiálů, lze jí samozřejmě využít i kaly z ČOV (dále také cíleně pěstovanou biomasu, odpady ze zemědělství a živočišné výroby atd.). Výhodou anaerobní fermentace je možnost zpracování při relativně nízké sušině 3 – 35% a navíc vznikající nerozložený zbytek zpracované suroviny – digestát je možné využít k recyklaci živin – hnojení (Kajan a Lhotský 2006). Při čtyřech stádiích anaerobní fermentace – hydrolýze, acidogenezi, acetogenezi a metanogenezi dochází k rozkladu organických látek a vzniku metanu (Kajan a Lhotský 2006). Výtěžnost metanu při tomto procesu záleží na druhu substrátu – kalu. Z hmotnostní energetické bilance procesu plyne, že teoretická hodnota CHSK vzniklého metanu se rovná teoretické CHSK původního substrátu. Ovšem skutečná výtěžnost je nižší protože CHSK substrátu obsahuje i část biologicky nerozložitelnou a také se část spotřebuje na růst nové biomasy (Kajan a Lhotský 2006).

Anaerobní rozklad organických látek je limitován řadou faktorů (Kajan a Lhotský 2006):

- **Vliv teploty** – s rostoucí teplotou vzrůstá rychlost probíhajících procesů, dále ovlivňuje interakce mezi druhy organismů, dochází ke změně dynamiky procesu a může vést až k havárii procesu. Ke konstantnímu procesu je třeba konstantní teploty.
- **Vliv reakce prostředí – pH** – vyžaduje se pH neutrální v rozmezí kolem 6,5 – 7,5 které je nutné dodržovat uvnitř reaktoru, snížení Ph je výsledkem přetížení reaktoru a dochází ke zvýšení produkce mastných kyselin a může dojít ke zhroucení procesu.
- **Přítomnost nutrietů** – pro správný provoz reaktorů je nutný správný poměr dusíku a fosforu k organickým látkám a rovněž tak přítomnost mikronutrientů, dále také přítomnost řady růstových faktorů k zamezení nerovnoměrných stavů v reaktoru.
- **Vliv technologických faktorů** – technologická stránka procesu řeší akumulaci substrátu – kalu v reaktoru, míchání a dobu zdržení
- **Přítomnost toxických a inhibujících látek** – tyto látky nepříznivě ovlivňují biologický proces, nejčastěji amoniak a mastné kyseliny, záleží na jejich koncentraci a na pH v reaktoru

Prvořadým předpokladem dobré funkce bioplynového reaktoru je znalost vlastního fermentačního procesu. Reaktory se liší podle druhu zpracovávaného substrátu – reaktor pro zpracování rozpuštěného substrátu, dále pro zpracování substrátu v suspenzi (obsah sušiny 10-12%) a třetím je reaktor na zpracování tuhých materiálů do 15 - 50 % sušiny. Bioplyn produkovaný z dobře pracujících reaktorů je cennou energetickou surovinou a to díky vysokému obsahu metanu a jeho dobré výhřevnosti. Dnes je využíván k výrobě elektrické energie, topení či kogeneraci tj kombinaci obojí (Kajan a Lhotský 2006).

7. Zpracování kalů na ČOV Unipetrol RPA s.r.o.

7.1 Základní popis ČOV

Čistírna odpadních vod společnosti Unipetrol RPA s.r.o. Litvínov, Záluží byla vybudována v 70. letech minulého století v tehdejších chemických závodech - Chemopetrol Litvínov. Tato čistírna se skládá ze tří částí biologického čištění. BČ I je oddělen od zbývajících dvou stupňů a je zaměřen na separaci olejů z vody. BČ II a BČ III jsou umístěny mimo areál chemického závodu, kdy BČ II je dvoustupňová a BČ III je jednostupňová. V roce 2007 bylo přistoupeno k rekonstrukci BČ II a to druhého stupně biologického čištění, neboť zařízení již bylo strojně i technologicky zastaralé. Hlavním požadavkem rekonstrukce bylo dosažení požadovaných parametrů výstupní odpadní vody z prvního stupně i druhého stupně BČ II. Byla provedena výměna zastaralé technologie aerace a zastaralého strojního zařízení biologické čistírny, včetně měření a regulace s napojením do řídicího systému. Zastaralé povrchové aerátory byly vyměněny za jemnobulinnou aeraci. Potřebný vzduch do jednotlivých sekcí je dodáván pomocí provzdušňovacích elementů a dmychadel. Nová technologie umožňuje vyšší využití dodaného vzduchu pro proces nitrifikace, lepší výsledky v čištění odpadních vod a v neposlední řadě úsporu elektrické energie. Provoz biologických čistíren odpadních vod je podmíněn vhodnou likvidací přebytečného aktivovaného kalu, který vzniká v procesu čištění vod z průmyslového areálu společnosti. Účelem kalového hospodářství je likvidace těchto kalů pomocí systému dosazovacích a zahušťovacích nádrží, homogenizace, odstředění, míchání s chezacarbem a spalování spolu s hnědým uhlím (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2008).

7.2 Popis výroby kalového hospodářství (KH)

Principem nové technologie solidifikace kalů je smíchání přebytečných kalů s chezacarbem. Celý proces likvidace se skládá ze čtyř propojených celků: zahuštění a odvodnění kalů, solidifikace a konečné spoluspalování. Přebytečné kaly z čistírny odpadních vod, vzniklé zpracováním vody z průmyslového areálu Unipetrol RPA s.r.o. Litvínov, jsou z dosazovacích nádrží čerpány do zahušťovacích nádrží a následně, přes homogenizační nádrže, do provozního celku odvodnění na teplárnu T 700. Odvodnění probíhá pomocí odstředivky. Odvodněné kaly jsou skladovány

v síle, které slouží jako zásobník pro klíčové zařízení technologie – mixér. Do mixeru je v daných poměrech dávkován odvodněný kal a chezacarb (a pokud je, tak i odvodněný flotační kal). Po promíchání těchto látek vzniká sypký, nelepivý a neprášivý černý materiál (se sušinou $\pm 30\%$ v závislosti na míchacím poměru kal/chezcarb), který je možno dopravovat pomocí dopravních systémů sypkých hmot. Solidifikovaný kal je přidáván do mlýnských okruhů práškových kotlů ke spalovanému hnědému uhlí. Tato technologie dokáže zpracovat až 375 kg přebytečného kalu za hodinu, přepočteno na 100% sušiny (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.2.1 Charakteristika médií v KH

Emulzní flokulant - Použití po zředění na 0,1 až 0,3 % ve flokulační stanici jako přídavek k nástřiku odstředivky a pro zahuštění kalů v zahušťovací nádrži.

Primární kal - primární kal vzniká v usazovací nádrži sedimentací nerozpuštěných látek ze splaškových vod, obsahuje převážně organické a anorganické látky.

Přebytečné biologické kaly (PK) - přebytečné kaly mohou pocházet z dosazovacích nádrží, obsahují převážně směsnou kulturu mikroorganismů.

Plovoucí kaly z JPK - plovoucí kaly mohou pocházet z dosazovací nádrže, či usazovací nádrže, plovoucí kaly obsahují převážně směsnou kulturu mikroorganismů

Zahuštěné biologického kaly - zahuštěné kaly vznikají sedimentací přebytečných kalů. Složení kalů je shodné s přebytečnými kaly, tj. obsahují převážně směsnou kulturu mikroorganismů.

Směsný biokal (BK) - vodní suspenze biologického zahuštěného a přebytečného kalu, která vzniká smísením jednotlivých kalů. Koncentrace pevných částí, obsah sušiny je v rozmezí 0,5–2%. Rozmezí hustoty je 950 – 980 kg/m³.

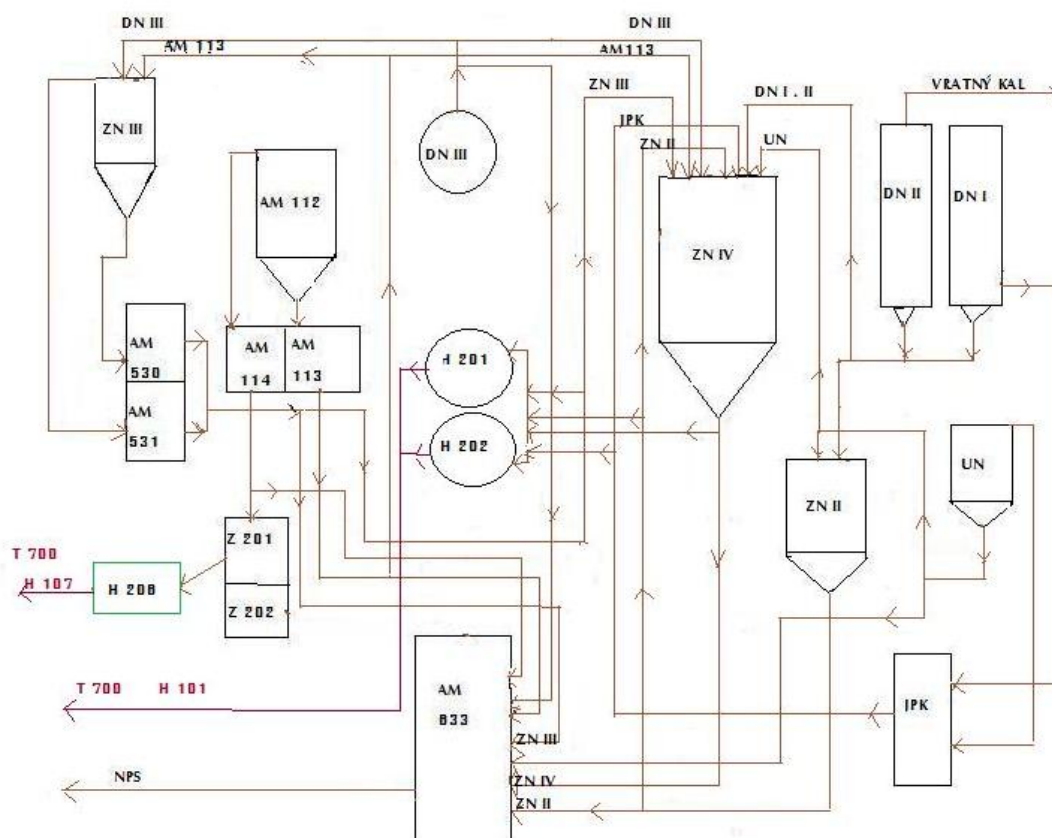
Dnový flotační kal - kal vznikající na dně flotační nádrže – směs uhlovodíků, olejů a železa a jiných příměsí látek.

Plovoucí flotační kal (FK) - kal vyflotovaný na hladinu flotační nádrže – směs uhlovodíků, olejů, železa a vzduchu, který je z kalů vymíchán v nádrži AM114.

Odvodněný flotační kal (OFK) - odvodněný flotační kal je tmavý pastovitý, obtížně sypký materiál zapáchající po uhlovodících. Vzhled může mít i lesklý nádech v závislosti na obsahu ropných látek. Vniká odvodněním plovoucího flotačního kalu pomocí odstředivky na BČ III. OFK je odvážen kontejnery na T700. Předpokládaný obsah sušiny 32 – 45 %, dle provozních podmínek může být i nižší cca 20 %.

Flotační kal obsahuje uhlovodíky v množství 28 – 290 g/l NEL (byly zjištěny C8-C12, C14 a C16) a také značné množství železa. (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009)

Přehledné schéma kalového hospodářství BČ Unipetrol RPA s.r.o. je zobrazené na obrázku 3. Základními prvky kalového hospodářství jsou: ZN II, III, IV – zahušťovací nádrže, UN – usazovací nádrž, JPK – jímka plovoucích kalů, DN I, II, III – dosazovací nádrže, AM 112 – flotační nádrž, AM 113, 114 – kalové jímky, AM 530, 531 – kalové jímky, Z 201 – odstředivka, Z 202 – flokulační stanice, H 201, 202 – zásobní nádrže, AM 633 – kalová jímka, H 206 – kontejner pro odstředěný flotační kal, T 700 – teplárna, H 101, 107 – zásobníkové nádrže v areálu teplárny T 700.



Obrázek 3 – Schéma kalového hospodářství BČ II a BČ III společnosti Unipetrol RPA s.r.o. v Litvínově Záluží (Čerpáno z technického odboru Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009, nákres Mušková)

7.3 Kapacita kalového hospodářství

Objem zpracovaných kalů je uveden v následující tabulce 5, lze z ní vyčíst, že čím je vyšší obsah sušiny tím je nižší průtok. Příklad: průtok v hodnotě 75 m³ /hod je možný při obsahu sušiny 0,5% (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

Tabulka 5 – Objem zpracovaných kalů v závislosti na obsahu sušiny (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

Průtok	Sušina	Průtok	Sušina
m³/h	%	m³/h	%
75,00	0,5	25,00	1,5
50,00	0,75	21,43	1,75
37,50	1	18,75	2
30,00	1,25	16,67	2,25

Propustnost dopravního potrubí mezi biologickou čistírnou a teplárnou T700 je 50 t/hod (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.4 Úsek separace, zahuštění a čerpání kalů na BČ II

7.4.1 Primární kal

Splaškové a dešťové vody z Litvínova spolu se splaškovými vodami z PCH po mechanickém předčištění natékají do usazovací nádrže, přeřinulá voda je alternativně zavedena na BČ II, ale nyní je vypouštěna přes soustavu dešťových usazovacích nádrží do řeky Bíliny. Usazený primární kal ze dna UN je čerpán do zahušťovací nádrže II, havarijně lze čerpat přes jímku AM 633 do NPS, případný plovoucí kal je odváděn do jímky plovoucích kalů. Přeřinulá voda ze ZNII je odváděna na BČ II. Při mimořádných situacích je možné kaly z UN do jímky AM 633 nebo do ZN IV (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.4.2 Přebytečný kal z DN I

Odsazený přebytečný kal z dosazovací nádrže I je čerpán do ZN II nebo do ZN IV k dalšímu zahuštění. Alternativně lze tento kal čerpat také do AN I nebo do AN III. Plovoucí kal z DN I je čerpán do JPK nebo do vratného kalu. (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.4.3 Přebytečný kal z DN II

Přebytečný kal z dosazovací nádrže II je čerpán do ZN II nebo do ZN IV k dalšímu zahuštění. Alternativně lze tento kal čerpat také do AN I nebo do AN III. Plovoucí kal z DN II je čerpán do vratného kalu. (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).



Obrázek 3 – Aktivační nádrž AN II, dosazovací nádrž DN II, BČ Unipetrol RPA s.r.o.

7.4.4 Čerpání kalů z JPK

Čerpání kalů z JPK je řízeno dle měřené hladiny a dle sušiny kalu. Při dosažení max. hladin v obou nádržích H201, H202 ,nebo při dosažení hodnoty sušiny v kalu pod 0,6 hm % se automaticky nastaví trasa do ZN IV. Při dosažení hodnot sušiny v kalu pod 0,5 hm% se automaticky zastaví chod, po uplynutí 1 hod se chod obnoví a zároveň se prověří hodnota sušiny po prvních 10 min čerpání. (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.4.5 Čerpací stanice kalů

Primární kal je čerpán z UN do ZN II nebo do jímky AM633. Plovoucí kal z JPK je buď čerpán přímo do ZNIV nebo do jímky AM633. Zahuštěné kaly ze ZN II mohou být čerpány buď přímo do ZN IV nebo do nádrží H201, H202 anebo do

jímky AM633. Z jímky AM633 jsou veškeré akumulované kaly čerpány na NPS. Na trase výtlačku do H201, H202 je osazeno měření zákalu a průtoku. Je možné nezávislé čerpání, ale i společné čerpání kalů. (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.4.6 Zahušťovací nádrž ZN IV

Pro zahušťování přebytečného a plovoucího kalu z dosazovacích nádrží DN I, DN II a primárního kalu z usazovací nádrže je vybudována nová zahušťovací nádrž ZN IV o objemu 1700 m³. V běžném provozu je tato nádrž připravena pro zvládnutí přechodového stavu pro jímání a zahuštění plovoucích kalů z jímky plovoucích kalů JPK nebo pro hydraulické odlehčení ZN II nebo ZN III. Zahušťovací nádrž ZN IV bude dále využívána pro zvládnutí případných havarijních stavů nebo jako záložní zahušťovací nádrž pro případ odstávky zahušťovací nádrže ZN II nebo ZN III (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

Do flokulační komory AM411 zahušťovací nádrže ZN IV je možno čerpat následující kaly

(Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009):

- přebytečné kaly z dosazovací nádrže DN I;
- přebytečné kaly z dosazovací nádrže DN II;
- kaly z jímky plovoucích kalů JPK, z usazovací nádrže UN, ze zahušťovací nádrže ZN II;
- přebytečný kal z dosazovacích nádrží DN III;
- zahuštěný kal ze zahušťovací nádrže ZN III;
- flotační kaly ze dna jímky AM113.

ZN IV slouží pro intenzifikaci zahušťovacího procesu kalů, když se vyskytne problém se sedimentací. K podpůrné sedimentaci slouží dávkování flokulantu, které se provádí v závislosti na měřených průtocích. Flokulační komora je vybavena dvěma vrtulovými míchadly, která slouží k dokonalému promíchání směsi kalů a emulzního flokulantu. Roztok flokulantu je připravován čerpáním z flokulační stanice tak, aby koncentrace zředěného roztoku byla cca 0,1 % hm. Koncentrovaný flokulant je čerpán do statického směšovače, které je řízeno pomocí frekvenčního

měníče. Směs flokulantu a kalů natéká do nátokové galerie. Nátoková galerie má tři komory: první pro rozmíchání flokulantu, druhou flokulační a třetí uklidňovací odtud. Z třetí komory kaly natékají gravitačně do středového válce zahušťovací nádrže ZN IV. ZN IV je opatřena pomaluběžným ramenovým stíracím zařízením (rychlost otáčení 2 ot/h). Toto zařízení je vybaveno stíráním dna a hladiny a současně je opatřeno rozrušovacím plotem pro rozrušování nežádoucích kalových vrstev. Plovoucí kaly natékají do jímky AM413, opatřené pomaluběžným vrtulovým míchadlem. Zahuštěný kal ze dna je čerpán pomocí odstředivých čerpadel v závislosti na stavu klíčových technologických uzlů BČ II, BČ III, buď do nádrží H201, H202 nebo do jímky AM633. V případě nízkého obsahu sušiny v zahuštěném kalu je možno kal přečerpat na BČ II. Přeřinulá voda ze ZN IV je gravitačně odváděna do aktivační nádrže AN II na BČ II (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.5 Úsek separace, zahuštění a čerpání kalů na BČ III

7.5.1 Flotační kaly ze dna nádrže

Kal je stírán ze dna nádrže a odváděn do jímky AM113. Přepouštěcí armatura mezi jímkami AM113 a AM114 zůstává trvale uzavřena. Čerpadla mohou kaly čerpat do ZN III nebo do ZN IV. Havarijně může být zvolena i trasa do jímky AM633 (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.5.2 Plovoucí kaly z flotace

Kal z hladiny flotace je stírán do jímky AM114. Jímka AM114 je homogenizována míchadlem. Jímka AM114 je hydraulicky trvale oddělena od jímky AM113. Z jímky AM114 jsou plovoucí flotační kaly čerpány přímo na odstředivku, která je umístěna v nové zateplené hale i s flokulační stanicí. Čerpadly je možno plovoucí kaly čerpat na odstředivku nebo v případě přechodného stavu do jímky H205 a v havarijním případě do jímky AM633 (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).



Obrázek 4 – Flotační nádrž AM 112 na BČ III Unipetrol RPA s.r.o.

7.5.3 Přebytečný kal z DN III

Přebytečný kal z BČ III je čerpán pro účely zahuštění do ZN III nebo do ZN IV. Havarijně může být zvolena i trasa do jímky AM633. Alternativně lze tento kal čerpat do AN II (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.5.4 Čerpací stanice (ZN III + flotace)

Plovoucí kal ze ZN III je odváděn do jímky AM531, stíraný kal ze dna ZN III je z kónusu odváděn do jímky AM530. Kal z obou jímek AM531/530 je čerpán buď na ZN IV, do nádrží H201, H202 nebo havarijně do jímky AM633 (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.5.5 Jímka AM633

Jímka AM633 je využívána jen pro havarijní účely. Kaly jsou z jímky čerpány na NPS (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.6 Úsek odvodnění flotačních kalů na BČ III

Plovoucí flotační kaly z jímky AM114 jsou čerpány k odvodnění na odstředivku Z201. Spouštění a vypínání odstředivky je řízeno dle hladiny v AM114. Odstředivka je vybavena dávkováním flokulantu pro lepší odvodnění kalu. Flokulant je připravován v ředící dvoukomorové flokulační stanici. Do flokulační stanice je přiváděna čerstvá voda a koncentrovaný emulzní flokulant. Z flokulační stanice je ředěný flokulant dávkován do nástřiku kalu na odstředivku. Odvodněný flotační kal je z odstředivky dopravován děleným dopravníkem do kontejneru H206, který je konstrukčně upraven k převozu odvodněných kalů do místa jejich následné likvidace. Množství odvodněného flotačního závisí na provozu výroby v areálu, odhadované množství kalu je cca 8 – 10 m³/týden. Odvodněný flotační kal je skladován v kontejneru H206 až do jeho naplnění a následně je převážen do přijímacího sila externích kalů v areálu T 700, odkud je pomocí šroubového čerpadla dopravován k homogenizéru. Fugát z odvodnění kalů je gravitačně veden do nádrže H205 (12 m³), odtud je vrácen zpět do jímky AM113 nebo v případě vysokých podílů olejů zpět na vstup před flotaci. Z prostoru odstředivky, dopravníku1 a jímky H205 je odtahován vzduch případně znečištěný výpary z flotačních kalů pomocí ventilátorů. Vzdušina je likvidována přes zkrápěný biologický filtr, náplň – kúra, hobliny (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).



Obrázek 5 – Dekantační odstředivka Z 201 k odvodnění plovoucích flotačních kalů na BČ III Unipetrol RPA s.r.o.



Obrázek 6 – Šnekový dopravník N 201, kontejner H 206 pro uskladnění odvodněných flotačních kalů na BČ III Unipetrol RPA s.r.o.

7.7 Úsek akumulace a čerpání směsných kalů

Na BČ III jsou instalovány dvě zásobní nádrže H201 a H202. Nádrže jsou vybaveny míchadly, měřením hladiny a měřením zákalu. Výtok z nádrží je napojen na sání dvou odstředivých čerpadel. Výtlak čerpadel je vybaven měřením průtoku a měřením zákalu. Směsné kaly lze čerpat přes areál závodu do prostoru T 700 do nádrže H101 nebo z jedné nádrže do druhé (např. pro potřeby promíchání) nebo havarijně do jímky AM633 (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

7.8 Odvodnění, solidifikace a doprava biokalů

7.8.1 Účel zařízení

Zařízení provozního souboru slouží k odvodnění biokalů z ČOV, solidifikaci odvodněných biokalů a flotačního kalu Chezcarbem. Dále slouží ke skladování a dopravě solidifikovaných kalů do zásobníku ke kotli K 18 teplárny T 700 tak, aby mohly být ve směsi s hnědým uhlím spáleny jako tuhé palivo. Zejména za účelem maximálního využití kapacit jednotlivých zařízení výroby odpadní vody a odpadů

(VOVO) jak v areálu BČ, tak T700, při výrazné nerovnoměrnosti v tvorbě biokalů, je zařízení rozděleno do tří relativně nezávislých úseků. Každý z nich prakticky začíná a končí zásobníkem. Jedná se o úseky (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009):

- úsek odvodnění, který „pracuje“ z homogenizační nádrže H 101 do zásobníku OBK – H 102;
- úsek solidifikace, který „pracuje“ ze zásobníků OBK – H 102, OFK – H 107 a CHZC – H 103 do zásobníku solidifikovaného kalu (původně přijímací zásobník) H 08.001;
- úsek dopravy solidifikovaného kalu ke K 18, který „pracuje“ ze zásobníku solidifikovaného kalu H 08.001 do zásobníku H 10.001 – rozdělovacího zásobníku K 18.

7.8.2 Úsek odvodnění

Biologické kaly z ČOV, zahuštěné v ZN II, III případně IV a shromažďované v H 201 a 202 v areálu ČOV, jsou jako směsný biokal čerpány do homogenizační nádrže H 101 v areálu T 700. Směsný biokal obsahuje 2 – 6 % sušiny. Odstředěný flotační kal, shromažďovaný v kontejnerech objemu cca 8 m³ v areálu VOVO – BČ III, je cca 1x týdně převážen auty do areálu T 700 a vyklápen do zásobníku OFK – H 107. Zásobník je umístěn v kryté jímce s nuceným větráním, víka jsou ovládána hydraulicky. OFK obsahuje 32 – 45 % sušiny. Aktivní saze Chezacarb jsou přiváženy z výroby Chezacardu ZCHV-A autocisternami. Z autocisteren jsou po připojení na plnicí potrubí a pneumaticky plněny do sila H 103. Homogenizační nádrž H 101 je vybavena míchadlem a dvojím protiexplozním vyústěním do atmosféry. Pro možnost výplachu potrubí směsného biokalu vodou je do potrubí zaústěna čerstvá voda z výtlačku pomocného čerpadla. Směsný biokal z H 101 je řízeně čerpán na odstředivku Z 101. Společné sání čerpadel je vybaveno armaturou pro odběr analytických vzorků. Je zde měřeno množství kalu a jeho hustota (obsah sušiny). V odstředivce Z 101 je směsný biokal odvodňován/zahušťován na odvodněný biokal s obsahem sušiny 18 – 25 %. Otáčky bubnu odstředivky jsou udržovány ŘS na navolené konstantní hodnotě, otáčky vynášecího šneku jsou řízeny v závislosti na zatížení šneku (měření kroutícího momentu), které je funkcí hustoty (obsahu sušiny) a množství vyhrnovaného OBK (výšce vrstvy v bubnu) a také

zatížení odstředivky (množství a kvalité kalu na vstupu). OBK je z bubnu vyhrnován šnekem a padá do šnekového dopravníku N 101, kterým je dopravován do H 102. V případě nevyhovující kvality OBK je z odstředivky vyplachován potrubím fugátu do jímky H 105 B. Fugát za normálního provozu a kvality odtéká z bubnu odstředivky do jímky „čistého“ fugátu H 105 A, při nedostatečné kvalitě přes do jímky H 105 B. Fugát z jímky H 105 A je řízeně čerpán na blok 22. Nevyhovující fugát, výplachy a oplachy zařízení případně obsah jímky H 105 C apod., shromažďovaný v jímce H 105 B, je řízeně čerpán do H 101. V předstihu před čerpáním je obsah jímky řízeně rozmíchán bočním míchadlem A 102. V potrubí kalu před odstředivkou je instalován statický směšovač, kam je řízeně, pomocí frekvenčních měničů pohonů, dávkován daný objem ředěného flokulantu v poměru k vypočtené hmotnosti sušiny v kalu, čerpadly z automatické flokulační stanice Z 104. Koncentrovaný flokulant je do zásobníku flokulační stanice řízeně čerpán z přepravního kontejneru za současného řízeného ředění čerstvou vodou. Přepážkou dělený zásobník flokulační stanice je míchán míchadly. Vypouštění zásobníku a nouzový přepad jsou zavedeny do jímky H 105 C (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).



Obrázek 7 – Silo chezakarbu H 103 na T 700 Unipetrol RPA s.r.o.



Obrázek 8 – Dekantační odstředivka Z 101, homogenizační nádrž H 101 s míchadlem na T 700 Unipetrol RPA s.r.o.

7.8.3 Úsek solidifikace

Zásobník OBK H 102 je vybaven měřením hladiny. Pro možnost výplachu je do víka přivedena čerstvá voda. Pro ulehčení vyprazdňování zásobníku a plnění čerpadla, připevněného ve dně zásobníku, je na dně zásobníku instalován posuvný rám/posuvné dno, poháněné hydraulickou stanicí. Střídavý horizontální pohyb posuvného rámu uvolňuje klenby a nálepy lepivého a málo tekutého OBK. Periodickým provozem je řízeně, dle váhy, dávkováno potřebné množství OBK pro každou šarži mixeru/homogenizeru Z 102. Zásobník OFK H 107 není vybaven měřením hladiny/stavu. Kontrolu je možno provádět pohledem při otevření vík. Pro možnost výplachu je do zásobníku přivedena čerstvá voda. Pro ulehčení vyprazdňování zásobníku a plnění čerpadla, připevněného ve dně zásobníku, je na dně zásobníku, obdobně jako u H 102, instalován posuvný rám/posuvné dno. Posuvný rám a víka jsou poháněny hydraulickou stanicí. Periodickým provozem je řízeně volbou doby provozu (a známého výkonu čerpadla) dávkováno potřebné množství OFK pro každou šarži mixeru/homogenizeru Z 102. Pokud bude OFK ze zásobníku H 107 spotřebován, bude probíhat solidifikace kalu v mixeru jen pro OBK. Potrubí OFK mezi krytou jámkou pro H 107 a halou st. 1132/1 je temperováno

elektrickým podtápěním na +5°C. Proti přeplnění je vybaveno spínačem s napojením na zvukový signál houkačky. Pro usnadnění vyprazdňování sila (rovnoměrného plnění rotačního podavače R 101) nebo rozrušení „klenbování“ je silo vybaveno provzdušňovacím systémem Vibra-disk Z 106, který pomocí pulsů tlakového vzduchu rozrušuje vrstvy v silu. Vzdušina ze sila, původem z pseudopravy, provzdušňování nebo inertizace CO₂, je odtahována řízeně do atmosféry ventilátorem přes tkaninový filtr, výsledný malý podtlak v silu zabraňuje prášení Chezacarb do okolí. Ze sila H 103 je řízeně, v závislosti na hladině, pneumaticky doplňováno mezisilo H 104. Chezacarb z H 103 padá po otevření dálkově ovládané armatury do rotačního podavače R 101, jehož ucpávky jsou za provozu zahlcovány tlakovým vzduchem přes solenoidový ventil. Rotační podavač dávkuje Chezacarb do směšovače (ejektoru) v potrubí pseudopravy, kterým je dopravován do H 104. Dopravním médiem je vzduch, nasávaný ventilátorem L 101 a přiváděný do směšovače, kde přes vestavěnou Venturiho trubici strhává Chezacarb. K rozrušení klenby je do konusu přiveden vzduch z výtlačku dvěma hadičkami. Ve vrchní části H 104 se díky tangenciálnímu přívodu (princip cyklonu) Chezacarb odloučí a vzdušina z pseudopravy (případně inertizace a provzdušnění) je odtahována ventilátorem přes filtr do atmosféry.

Periodickým provozem rotačního podavače je řízeně, dle váhy, dávkováno potřebné množství CHZC pro každou šarži mixeru/homogenizeru Z 102. K odstranění rizika výbuchu prachu Chezacarb je zařízení řízeně inertizováno CO₂, který je za redukčním ventilem rozveden přes solenoid a omezovací clonu do plnicího potrubí H 103, přes solenoid a omezovací clonu do plnicího potrubí H 104 a přes omezovací clonu do plnicího potrubí Z 102. Mixer/homogenizér Z 102 je kónická nádoba usazená na tenzometrech váhy. K zabránění všech mechanických vlivů okolí jsou veškerá napojení na mixer provedena přes kompenzátory. Uvnitř je instalováno otočné rameno s pohonem, na konci ramene je míchací šnek s pohonem, který kopíruje kónické stěny, středem je zavedena hřídel vrtulového intenzifikátoru s pohonem. Pro možnost výplachu je mixér vybaven přes solenoidový ventil přívodem čerstvé vody, na který je možno nasadit oplachovací hlavici. Pro možnost zastavení otáčivého ramene v definované pozici (mimo plnicí hrdla) je tato opatřena spínačem. Pro možnost odběru analytických vzorků je mixer vybaven automatickým vzorkovačem. Solidifikovaný kal je vypouštěn zespodu po otevření dálkově ovládané armatury do násypky H 108 (o kapacitě cca 1,5 šarže mixeru), ze které padá do

šnekového dopravníku, kterým je dopravován přes přesyp do šnekového dopravníku, ze kterého padá do sila solidifikovaného kalu H 08.001 ve st. 1132/2. Výplachy vodou případně „nekondice“ po rozředění vodou jsou vypouštěny do podzemní jímky H 105C, kam také jsou kanálky v podlaze svedeny veškeré oplachy z haly odstředivky. Jímka je opatřena míchadlem a ponorným čerpadlem, kterým je obsah H 105 C (případně po naředění vodou) řízeně čerpán do jímky H 105 B. Míchání/solidifikace kalů v mixeru/homogenizéru Z 102 probíhá šaržovitě v cyklech, 1 šarže obnáší cca 800 kg, trvá včetně vyprázdnění mixeru cca 22 min (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).



Obrázek 9 – Homogenizér/mixér Z 102 na T 700 Unipetrol RPA s.r.o.

Základní míchací poměry kalů (OBK + OFK) : chezacarb (CHZC) jsou (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009):

- 6 : 1 = přibližně (656 kg + 30 kg) : 114 kg
- 5 : 1 = přibližně (637 kg + 30 kg) : 133 kg
- 4 : 1 = přibližně (610 kg + 30 kg) : 160 kg

Ze zařízení solidifikovaného kalu Z 102, H 108, N 103 a N 104 je vzdušina odsávána společným potrubím do zásobníku H 08.001, odkud je přes tkaninový filtr F 08.001

odsávána ventilátorem L 08.001 do atmosféry. Odsávání N 103 a 104 je vybaveno ručně nastavitelnými klapkami (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).



Obrázek 10- Šnekový dopravník N 104 solidifikovaného kalu do zásobníku H 08.001 na T 700 Unipetrol RPA s.r.o.

7.9 Úsek dopravy ke K 18

Silo/zásobník solidifikovaného kalu H 08.001 ve st. 1132/2 je vybaveno měřením hladiny. Tkaninový filtr je řízeně regenerován pulsy tlakového vzduchu v závislosti na tlakové ztrátě filtru Δp . Pro ulehčení vyprazdňování sila ve tvaru ležatého kvádra jsou na dně instalovány posuvné rámy. Jejich pohyb, případně otevírání vík sila pro potřebu vnitřní kontroly, zajišťuje hydraulická stanice, umístěná v SV místnosti st. 1132/2. Spodní západní hrana zásobníku je tvořena šnekovým vynašečem s pohonem opatřeným frekvenčním měničem, kterým lze volit výkon celé dopravní trasy. Šnekovým vynašečem se plní přes ruční armaturu se snímačem polohy. Solidifikovaný kal z N 08.004 padá do řetězového dopravníku N 09.001 kterým je vynášen z jímky st. 1132/2 do přesypu v kotelně st. 1122 ve výšce cca 21 m. Odsávání vzdušiny z přesypu zajišťuje tkaninový filtr s ventilátorem, filtr je opět řízeně regenerován pulsy tlakového vzduchu v závislosti na tlakové ztrátě

filtru Δp . Přesypem je plněn řetězový dopravník, který dopravuje solidifikovaný kal přes přesyp ve výši cca 22 m na úrovni kotle K 18 do šnekového dopravníku N 09.003. Z něj padá solidifikovaný kal přes ruční armaturu se snímači polohy do zásobníku solidifikovaného kalu pro K 18, který je opět vybaven filtrem s ventilátorem.

Doprava je řízena ŘS, pro kontrolu chodu jsou N 08.003, 08.004, 09.001 až 3 opatřeny snímači otáček. N 09.001 je opatřen izolací s elektrickým podtápěním. Vně podzemní jímky (prostor pod H 08.001, N 08.003 a 004 a začátku N 09.001)/základu st. 1132/2 jsou v rozích severovýchodním, severozápadním a jihozápadním instalovány 3 podzemní studny/jímky pro sběr podzemních vod. Jímky jsou vybaveny čerpadly s automatickým spínáním od hladiny, odčerpávaná voda je zavedena do kanalizace. Elektrorozvaděč pro čerpadla je umístěn vně st. 1132/2 v severozápadním rohu. Zařízení slouží k udržování hladiny podzemních vod pod úrovní, kdy by hydrostatický tlak začal „vytlačovat“ základ st. 1132/2 (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

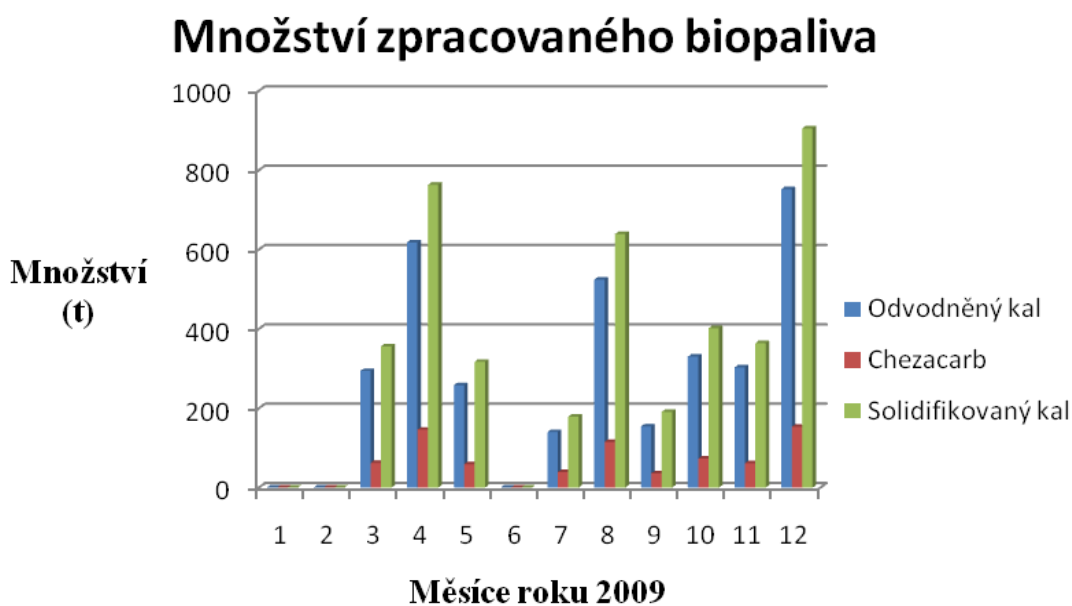
7.10 Množství zpracovaných kalů

Na biologické čistírně odpadních vod společnosti Unipetrol RPA s.r.o. v Litvínově, Záluží je evidováno množství zpracovaných kalů od měsíce března roku 2009. Měsíční data o zpracovaných kalcích (biopalivu), jsou uvedena za rok 2009 v tabulce 6 a graficky znázorněna na obrázku 11. Za rok 2010 v tabulce 7 a na obrázku 12. V tabulkách je samostatně uveden odvodněný kal, chezakarab a společný solidifikovaný kal. Nulové měsíční hodnoty jsou zapříčiněné úpravami nových technologií (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

Tabulka 6 – Množství zpracovaného biopaliva na BČ Unipetrol RPA s.r.o. v roce 2009 (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

Měsíce roku 2009	Odvodněný kal (t)	Chezacarb (t)	Solidifikovaný kal (t)
I.	0	0	0
II.	0	0	0
III.	294	62	356
IV.	618	146	763
V.	258	59	317
VI.	0	0	0
VII.	140	39	179
VIII.	524	115	639
IX.	154	36	191
X.	330	73	402
XI.	303	61	364
XII.	752	153	905
Celkem 2009	3373	744	4116

Z tabulky je zřejmé, že za rok 2009 bylo na BČ Unipetrol RPA s.r.o. zpracováno celkem 3.373 tun odvodněného kalu, dále 744 tun chezakarbu a jako směsi obou uvedených produktů bylo zpracováno 4.116 tun solidifikovaného kalu. Tento kal byl energeticky využit v teplárně T700 společnosti Unipetrol RPA s.r.o. k výrobě tepla (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).



Obrázek 11 – Množství zpracovaného biopaliva na BČ Unipetrol RPA s.r.o. (data z technického odboru Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

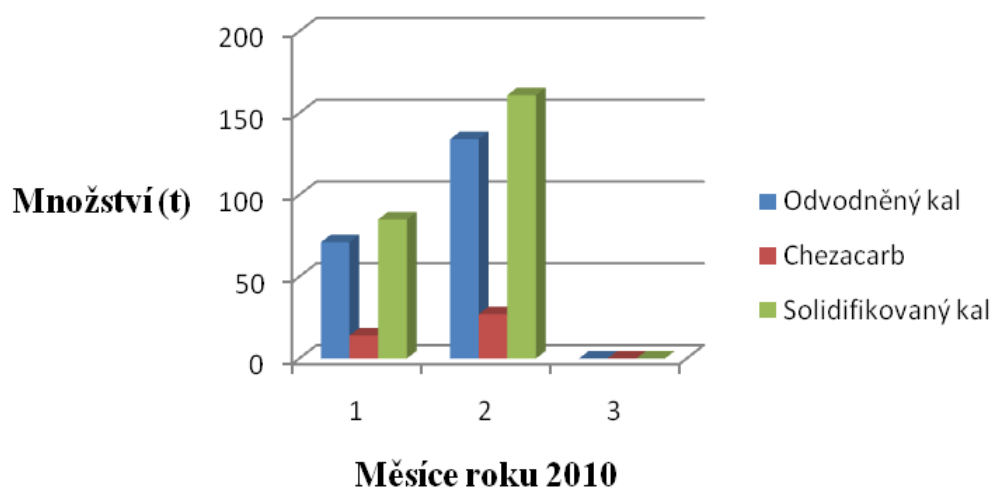
Měsíční hodnoty zpracovaného biopaliva na BČ Unipetrol RPA s.r.o. v roce 2010 jsou uvedené v tabulce 7.

Tabulka 7 – Množství zpracovaného biopaliva za první dva měsíce roku 2010 na BČ Unipetrol RPA s.r.o. (Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

Měsíc roku 2010	Odvodněný kal (t)	Chezacarb (t)	Solidifikovaný kal (t)
I.	71	14	85
II.	134	27	161
Celkem	205	41	246

Grafické znázornění množství zpracovaného biopaliva na BČ Unipetrol RPA s.r.o. v roce 2010 je uvedené na obrázku 12.

Množství zpracovaného biopaliva



Obrázek 12 – Množství zpracovaného biopaliva na BČ Unipetrol RPA s.r.o. za dva měsíce roku 2010 (data z technického odboru Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009).

8. Závěr

Kalové hospodářství je dnes již nedílnou součástí moderních čistíren odpadních vod. Hlavním cílem kalového hospodářství je zpracování kalů nejvhodnějším způsobem tak, aby byly při minimálních nákladech respektovány požadavky zejména na ochranu životního prostředí, dále také zdravotního zabezpečení a využití kalů přinášelo užitek. Velká většina čistírenských kalů je v ČR využívána k energetickým účelům a to k výrobě tepla či elektrické energie, případně ideálně v kogeneraci. K tomuto účelu jsou kaly zpracovány nejčastěji spalováním. Spalováním je energeticky využito kal také z biologické čistírny odpadních vod společnosti Unipetrol RPA s.r.o. v Litvínově Záluží. Kde za rok 2009 bylo energeticky využito k výrobě tepla spalováním celkem 3.373 tun odvodněného kalu, který by bez moderního kalového hospodářství skončil v kalové laguně Kopisty bez dalšího využití. Moderní technologie a zejména výzkum v oblasti využití a zpracování čistírenských kalů významně přispívají k ochraně životního prostředí, neboť čistírenských kalů jako i mnoho dalšího odpadu z různorodé lidské činnosti každoročně přibývá. Zásadním úkolem současné lidské společnosti by mělo být úsilí o udržení životního prostředí v přiměřeně přijatelném stavu i pro budoucí generace.

9. Literatura

- Ambrožová, J., 2007. Aplikovaná a technická hydrobiologie. VŠCHT Praha.
- Ardern, E. A, Lockett, W. T., 1914. Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters. *J. Soc. Chem. Ind.* 33: 523-539.
- Dohányos M. 2008: Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace. *Biom.cz*, <http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>. ISSN: 1801-2655.
- Dohányos M., 2006: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz*, 2006. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
- Dohányos M., Kutil J., 2005: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů, <http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655
- Dohányos M., Zábranská J., Jeníček P., 1997: Enhancement of anaerobic sludge digestion by using of a special thickening centrifuge. *Wat. Sci. Tech.* 36 (6-7): 334-340.
- Fukuda H., 1996: Japan paves the way to putting sludge underfoot. *Water Quality International* 2: 18-20.
- Girovich, M. J., 1996. Biosolids characterization, treatment and use. In: Girovich, M. J. (ed.), *Biosolids Treatment and Management*. Marcel Dekker, New York, pp. 1-46.
- Hlavínek P., 2005: Kalové hospodářství čistíren odpadních vod, ÚVHO – VÚT Brno, http://water.fce.vutbr.cz/zamestnanci/hlavinek/download/cisteni_OV/prednasky/COV_13.pdf
- Chudoba J., Dohányos M., Wanner J., 1991: *Biologické čištění odpadních vod*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- Kajan M., Lhotský R., 2006: Možnosti zvýšení výroby bioplynu na stávajících zařízeních, ENKI o.p.s. Třeboň, Listopad 2006, 123 pp.
- Končalová H., Květ J., 1987: Možnosti a omezení metody čištění vody v rhizosféře helofyt. In: Žáková, Z., Květ, J., Lhotský, O. a Marvam, P. (eds.), *Sborník konf. Vegetační způsoby čištění odpadních vody a možnosti jejich aplikace*, ČSVTS VÚV Brno, pp. 187-192.
- Kubík L., 2007: Rizikové prvky v kalech z čistíren odpadních vod, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rizikove-prvky-v-kalech-z-cistiren-odpadnich-vod-cov>

- Kusá H., Růžek P., 2000: Možnosti využití kalů z ČOV v zemědělství. VÚRV Praha 2000
- Kutil J., 2003: Zkušenosti a poznatky z pokusného spalování suchého čistírenského kalu v cementářské peci. In: Sborník přednášek semináře AČE ČR, Spalování kalů z čistírenských odpadních vod, Brno, pp. 47-56,
- Kutil J., Dohányos M., Zábranská J., Vrána J., 2001: Může být ČOV energeticky soběstačná?, Sborník přednášek 4. Mezinárodní konference AČE ČR, Mladá Boleslav, pp. 67-72.
- Lyčková B., 2009: Posouzení možnosti využití kalů z ČOV na povrchu terénu. 2009-10-05, <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/posouzeni-moznosti-vyuziti-kalu-z-cov-na-povrchu-terenu>>. ISSN: 1801-2655
- Ministerstvo zemědělství, 2002: Zákon č. 147/2002 Sb. o ústředním kontrolním a zkušebním ústavu zemědělském, 17. 4. 2002, Sbírka 147/2002, Částka 61/2002
- Muller J. A., 2000: Pretreatment processes for the recycling and reuse of sewage sludge. Wat. Sci. Tech. 42 (9): 167-174.
- MŽP a MZ 2001: Vyhláška č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, zdroj: SBÍRKA ZÁKONŮ ročník 2001, částka 143, ze dne 31. 10. 2001,
- MŽP, 2001: Vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb. ze dne 17. října 2001 o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě Zdroj: SBÍRKA ZÁKONŮ ročník 2001, částka 145, ze dne 09. 11. 2001,
- MŽP, 2001: Vyhláška MŽP č. 383/2001 Sb. ze dne 17. října 2001 o podrobnostech nakládání s odpady Údaje o shromažďovacích místech nebezpečných odpadů a sběrových místech a skladech odpadů Zdroj: SBÍRKA ZÁKONŮ ročník 2001, částka 145, ze dne 09. 11. 2001
- MŽP, 2001: Zákon č. 185/2001 Sb. O odpadech, zdroj: SBÍRKA ZÁKONŮ ročník 2001, částka 71, ze dne 14. 06. 2001,
- MŽP, 2005: VYHLÁŠKA č. 294/2005 Sb. ze dne 11. července 2005 o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, Zdroj: SBÍRKA ZÁKONŮ ročník 2005, částka 105, ze dne 21. 07. 2005.
- MŽP, 2005: Staré ekologické zátěže, http://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/a4.htm
- MŽP, 2009: Kaly z čistíren odpadních vod, http://www.mzp.cz/cz/kaly_cistiren_odpadnich_vod

- Nielsen, S., 2007. Helsingre sludge reed bed systém: reduction of pathogenic microorganisms. *Water Science and Technology* 56(3): 175-182.
- Nielsen, S., 2008. Environmental impact of sludge treatment and recycling in reed bed systems. In: In: Jørgensen, S.E. a Fath, B. D. (eds.), *Encyclopedia of Ecology*, 2. díl. Elsevier, Amsterdam, pp. 1339-1342.
- Pearse, L. (ed.), 1938. *Modern Sewage Disposal*. Federation of Sewage Works Association, New York.
- Raclavská H., 2003: Problémové ukazatele při použití kalů z ČOV pro povrchové terénní úpravy a rekultivaci. In: *Sborník přednášek - Odpadní vody 2003*, Olomouc, ed. Wanner, Sýkora, Brno, 457 st.
- Radimská I., 2006: Termofilní aerobní stabilizace kalu, ÚVHO – VÚT Brno, http://water.fce.vutbr.cz/zamestnanci/hlavinek/download/cistení_OV/cov18-termofilni_stabilizace.pdf
- Rensing J.H., Rulkens W.H., 1997: Using metazoa to reduce sludge production. *Wat. Sci. Tech.* 36 (11): 171-179.
- Sakai Y., Fukase T., Yasui H., Shibata M. 1997: An activated process without excess sludge production. In: *Sborník mezinárodní konference Wastewater Sludge Waste or Resource? Proceedings Part one*. pp. 90-97., Czestochowa, 1997, Poland
- Seidel, K., 1967. Über die Selbstreinigung natürlicher Gewässer. *Naturwissenschaften* 63: 286-291.
- Schmidt I., Sliemers O., Schmid M., Bock E., Fuerst J., Kuenen J.G., Jetten M.S.M., Strous M., 2003: New concepts of microbial treatment process for the nitrogen removal from wastewaters. *FEMS Microbiol. Rev.* 27: 481-492.
- Sládeček, V., Sladká, A. a Ottová, V., 1992. Příručka k mikroskopickému hodnocení čistíren odpadních vod. ČSVTS Praha.
- Sladká, A., 1989. *Biologické metody a hodnocení čistírenských procesů*. Výzkumný ústav vodohospodářský a SZN Praha.
- Sladká, A., 1979. *Biologie a hodnocení aktivovaného kalu*. MLVH ČSR a Dům techniky Pardubice.
- Šálek, J., 2003. Využití mokřadní vegetace k odvodnění tekutých stabilizovaných čistírenských kalů. In: Malá, E. A Šálek, J. (eds.), *Sborník konference Přírodní způsoby čištění odpadních vod III*. VUT Brno, Kabinet životního prostředí, pp. 71-76.

- Šálek, J., 2005. Poznatky z výzkumu odvodnění stabilizovaných kalů mokřadní vegetací a možnosti aplikace v praxi. In: Hyánková, E. A Křiška, M. (eds.), Sborník konference Přírodní způsoby čištění odpadních vod IV. VUT Brno, Kabinet životního prostředí, pp. 67-72.
- Šálek, J., Křiška, M. a Šálek, J., 2009. Uspořádání zařízení na odvodnění a využití stabilizovaných čistírenských kalů malých producentů. In: Křiška, M., Šálek, J. a Plotěný, K. (eds.), Sborník konference Přírodní způsoby čištění odpadních vod VI. Akademické nakladatelství CERMO, Brno, pp. 80-87.
- Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2009: Interní prozatímní provozní předpis pro zahušťování a čerpání kalů na BČ II a BČ III, Litvínov – Záluží, 126 st.
- Technický odbor Energetika Unipetrol RPA s.r.o., 2008: Provoz čistírny odpadních vod, Interní předpis, Litvínov – Záluží, 118 st.
- Wong, F. Y., Rudolph, V. a Zhu, Z. H., 2008. Sewage sludge technologies. In: Jørgensen, S.E. a Fath, B.D. (eds.), Encyclopedia of Ecology, 4. díl. Elsevier, Amsterddam, pp. 3227-3242.

10. Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 - Základní schéma kalového hospodářství na ČOV .	15
Obrázek 2 - Stabilizace kalů na ČOV Helsinge v Dánsku pro 42 000 EO	24
Obrázek 3 – Aktivační nádrž AN II, dosazovací nádrž DN II,	34
Obrázek 4 – Flotační nádrž AM 112 na BČ III Unipetrol RPA s.r.o.	37
Obrázek 5 – Dekantační odstředivka Z 201 k odvodnění plov. flotačních kalů	38
Obrázek 6 – Šnekový dopravník N 201, kontejner H 206	39
Obrázek 7 – Silo chezakarbu H 103 na T 700 Unipetrol RPA s.r.o.	41
Obrázek 8 – Dekantační odstředivka Z 101, homogenizační nádrž H 101	42
Obrázek 9 – Homogenizér/mixér Z 102 na T 700 Unipetrol RPA s.r.o.	44
Obrázek 10- Šnekový dopravník N 104 solidifikovaného kalu do zásobníku	45
Obrázek 11 – Množství zpracovaného biopaliva na BČ Unipetrol RPA s.r.o.	47
Obrázek 12 – Množství zpracovaného biopaliva na BČ Unipetrol RPA s.r.o.	48
Obrázek 13 – Nová popelová skládka Kopisty s viditelným plovoucím potrubím	55
Obrázek 14 – Detailní pohled na část nové popelové skládky Kopisty	55
Tabulka 1 - Mezní hodnoty koncentrací rizikových prvků v kalech	13
Tabulka 2 - Limitní hodnoty mikrobiálního znečištění čist. kalů	14
Tabulka 3 - Technologických parametrů nízko a vysokozatížené metanizace	22
Tabulka 4 - Příklady využití kalů v různých zemích v %	25
Tabulka 5 - Objem zpracovaných kalů v závislosti na obsahu sušiny	33
Tabulka 6 - Množství zpracovaného biopaliva v roce 2009	47
Tabulka 7 - Množství zpracovaného biopaliva za 1,2/2010	48

11. Přílohy



Obrázek 13 – Nová popelová skládka Kopisty s viditelným plovoucím potrubím na hladině laguny Unipetrol RPA s.r.o.



Obrázek 14 – Detailní pohled na část nové popelové skládky Kopisty Unipetrol RPA s.r.o.