

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ
TECHNIKY

Čistírny odpadních vod: zpracování kalu

Bakalářská práce

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Podolka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **437273**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Čistírny odpadních vod: zpracování kalu

Název bakalářské práce anglicky:

WWT plant: sludge treatment

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte literární rešerši se zaměřením na problematiku odvodňování a zahušťování kalů z čistíren odpadních vod. Při zpracování rešerše se zaměřte zejména na:

- 1) Zdroje kalu v čistírně odpadních vod.
- 2) Používané postupy pro zpracování, odvodňování a zahušťování kalů.
- 3) Zařízení používaná pro odvodňování a zahušťování kalů.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

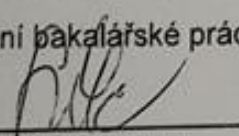
doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

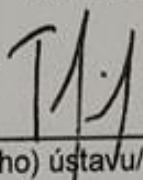
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

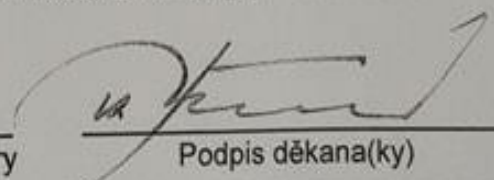
Datum zadání bakalářské práce: **23.10.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.01.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

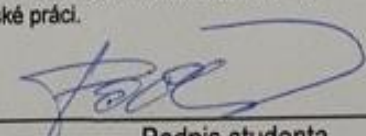

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

31 -10- 2017

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Anotační list

Jméno autora: Jan

Příjmení autora: Podolka

Název práce česky: Čistírny odpadních vod: zpracování kalu

Název práce anglicky: WWT plant: sludge treatment

Rozsah práce: počet stran: 53

počet obrázků: 36

počet tabulek: 2

počet příloh: 0

Akademický rok: 2017/18

Jazyk práce: Český

Ústav: Procesní a zpracovatelská technika – U 12118

Studijní program: TZSI

Vedoucí práce: doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

Oponent:

Konzultant práce: doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

Zadavatel: doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

Anotace česky:

Anotace anglicky:

Klíčová slova: čištění a zpracování kalu, ČOV, hygienizace, stabilizace, zahušťování, sušení

Využití:

Poděkování

Chtěl bych poděkovat především svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Radku Šulcovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky, vstřícnost při konzultacích a také pevné nervy, které byly potřeba při psaní mé práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým přátelům za podporu.

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá zpracováním kalu, který vzniká při čištění odpadních vod. Kal je hlavním odpadním produktem, který vzniká při čištění odpadních vod. Odpadní voda, která přitéká na čistírnu odpadních vod (dále jen ČOV) podstoupí čistící proces, který se zbavuje znečišťujících látek a nežádoucí složky koncentruje do odpadního kalu. Cílem úpravy kalů je zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. Charakteristika, kvalita a původ odpadní vody a také úroveň čistící technologie, která zaručí dosažení kvalitativních požadavků, má velký vliv na koncentraci prospěšných i znečišťujících složek v kalu. Cílem čištění kalů je zajistit takové využití nebo zpracování kalů, které je pro životní prostředí přijatelné a zároveň ekonomicky únosné.

Summary

The bachelor thesis deals with treatment of sludge, which originates in wastewater treatment process. The sludge is the main waste product that comes from sewage treatment. The waste water entering the sewage treatment plant (hereinafter referred to as WWTP) undergoes a cleaning process that removes pollutants and concentrates undesirable components into the sewage sludge. The purpose of sludge treatment is to prevent adverse impacts on the environment and human health. The characteristics, quality and origin of wastewater, as well as the level of purification technology that guarantees the achievement of qualitative requirements, has a great impact on the concentration of beneficial and polluting components in the sludge. The purpose of sludge cleaning is to ensure the use or processing of sludge that is acceptable and economically viable for the environment.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Čistírny odpadních vod: zpracování kalu“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Šulce, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 31. 10. 2017

Jan Podolka

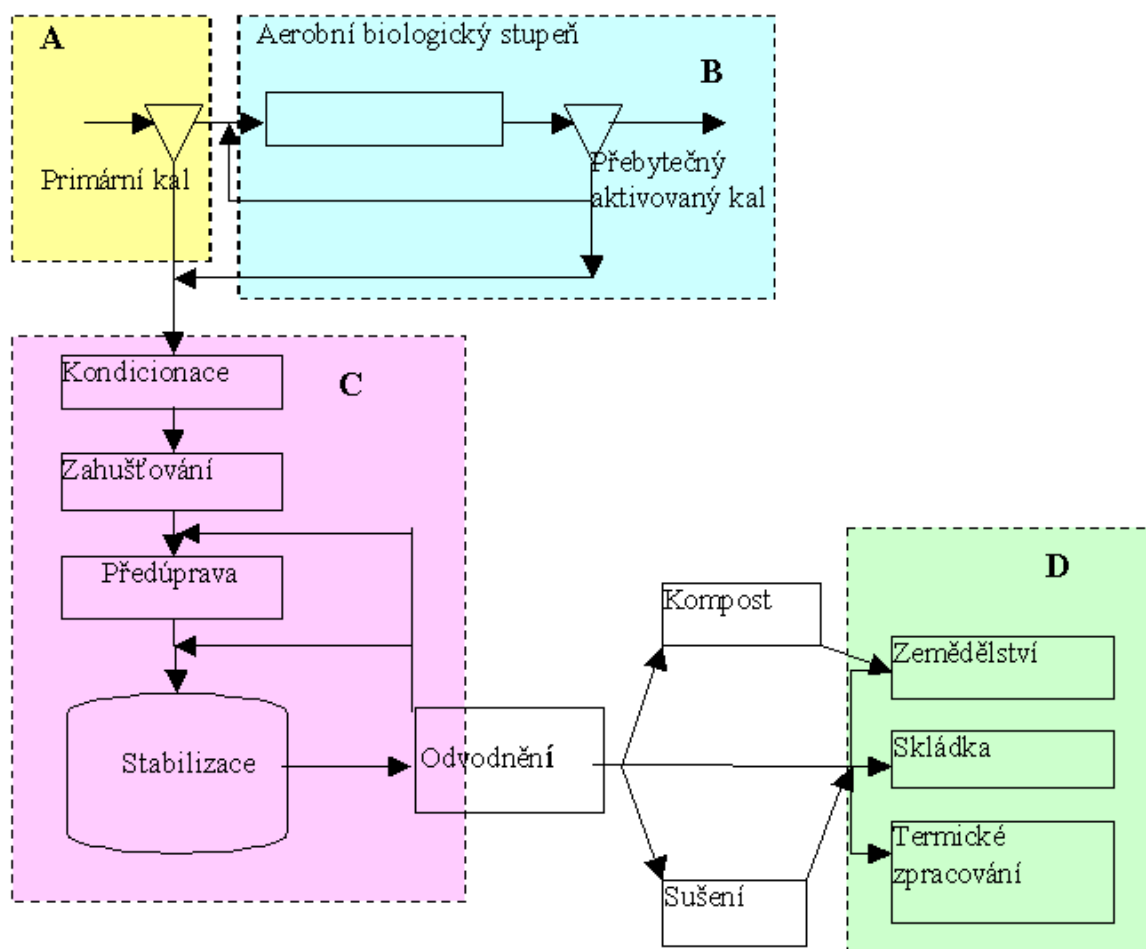
Obsah

1. Čistírenské odpadní kaly	9
2. Typy čistírenských kalů	10
2.1. Primární kal.....	10
2.2. Sekundární kal (aktivovaný).....	10
3. Charakteristika čistírenských kalů	10
3.1. Konzistence kalu.....	10
3.2. Kaly z městských ČOV.....	11
4. Stabilizace a hygienizace	11
4.1. Anaerobní stabilizace	11
4.2. Aerobní termofilní stabilizace (ATS).....	11
Strojní vybavení nádrží ATS.....	12
4.3. Metody hygienizace kalů	13
Chemické metody hygienizace kalu	14
Fyzikální metody hygienizace kalů	15
Biotechnologické metody úpravy, zpracování a hygienizace	18
Kombinace metod zpracování kalů a hygienizačních metod.....	20
4.4. Monitorování hygienizačních metod	21
4.5. Hodnocení účinnosti hygienizace kalu	21
5. Technologické postupy pro zpracování odpadních kalů	22
5.1. Zahušťování kalů	22
Gravitační zahušťování.....	23
5.2. Odvodňování kalů	25
Přirozené odvodňování.....	25
5.3. Strojní odvodňování	29
Odvodňování flotací.....	29
Dekantační odstředivky	30

Lisy	32
Kalolisy	34
5.4. Sušení kalů	37
Nepřímé sušení.....	37
Přímé sušení	38
Skleníkové solární sušení kalu	42
6. Energetické využití odpadních kalů	44
6.1. Anaerobní metanová fermentace.....	44
6.2. Termické využití kalů-spalování	45
7. Další možnosti zpracování kalu	46
7.1. Kompostování	46
Technické vybavení kompostáren	48
7.2. Kompostování odpadních kalů	49
7.3. Zemědělské využití kalů.....	50
8. Závěr	51
Seznam použité literatury.....	52
Seznam Obrázků.....	53
Seznam tabulek	54

1. Čistírenské odpadní kaly

Čistírenské odpadní kaly jsou všechny odpady, které vznikají během procesu úpravy a čištění vody v ČOV. Za kal se považuje suspenze pevných látek organických i anorganických, které byly původně obsaženy v odpadních vodách. Organické hmoty, základní živiny i stopové prvky, které jsou v kalu obsaženy, mohou zlepšovat fyzikálně chemické i biologické vlastnosti půd. Koncentrace kalu se dá vyjádřit jako obsah sušiny kalu, která je tvořena minerálními látkami a látkami organického původu. Složení sušiny záleží hlavně na původu a typu znečištění odpadní vody a také na způsobu jejího zpracování (biologické čištění, mechanické čištění, fyzikálně-chemické čištění apod.)



Obrázek 1: Schéma ČOV
biom.cz

2. Typy čistírenských kalů

2.1. Primární kal

Primární kal je kal, který se usazuje v primárních usazovacích nádržích. Jedná se o usazené látky, které jsou přítomné v surové odpadní vodě. Ve většině případů má tento kal zrnitou strukturu a je tvořen nerozpuštěnými látkami, které nebyly zachyceny česlemi ani lapákem písku. Primární kal v sobě obsahuje 2,5 – 50 g/l sušiny a také velké množství koloidních látek, díky kterým má schopnost vázat vodu, a proto se špatně vysouší.

2.2. Sekundární kal (aktivovaný)

Sekundární kal je z aktivace a obsahuje přebytečnou narostlou biomasu z biologického růstu, proto se také nazývá přebytečný kal. Tento kal má vločkovitou strukturu a je separován v dosazovacích nádržích. Velký vliv na charakter sekundárního kalu z biologického čištění má složení a původ odpadních vod.

Oba druhy kalů se spojují a zahušťují před dalším zpracováním. Kal vzniklý smísením těchto dvou druhů kalu se nazývá surový kal.

3. Charakteristika čistírenských kalů

Čistírenský kal je směs suspenze látek v tuhém skupenství, které jsou rozptýleny (dispergovány) v souvislé kapalně fázi. V odpadních vodách nerozpuštěné látky zastupují zhruba 1-2 % objemového znečištění, ale je v nich koncentrováno 50-80 % původního znečištění. Množství a druh patogenních organismů, které jsou obsaženy v kalech, závisí na místních, geografických, klimatických a demografických faktorech. Hlavním zdrojem patogenních mikroorganismů jsou exkrementy infikovaných zvířat a lidí.

3.1. Konzistence kalu

Konzistenci kalu lze vyjádřit koncentrací tuhých složek v kapalině, která se charakterizuje jako tzv. obsah sušiny v kalu. Vedle tzv. prostorové vody, která se dá oddělit pouhou sedimentací, existuje také voda pevně vázaná v kalu, kterou lze oddělit pouze vynaložením energie. Tento proces se provádí v odstředivce nebo přívodem tepelné energie.

3.2. Kaly z městských ČOV

Obsahují v průměru 0,5-7 % sušiny, která je z 60-70 % složena z organických látek a z 30-40 % látek anorganických. Většina částic v kalu má koloidní charakter a mají velkou povrchovou plochu. Organická část sušiny má porézní strukturu a díky tomu dokáží zadržet velké množství vody. Díky tomu se kaly těžce odvodňují pouhou sedimentací a při filtraci způsobují zanášení filtračních plachetek.

4. Stabilizace a hygienizace

Během aerobního biologického způsobu čištění odpadních vod vznikají, jak bylo výše uvedeno, dva druhy kalů:

- 1) Primární kal složený z anorganických a organických látek, z nichž je značná část snadno rozložitelná, a proto umožňuje větší výtěžnost bioplynu.
- 2) Aktivovaný kal tvořený převážně směsí mikroorganismů narostlých z rozpuštěného organického znečištění. Počet a druh přítomných mikroorganismů závisí na druhu aerobního čištění.

4.1. Anaerobní stabilizace

Nejvíce rozšířenou metodou zpracování kalů v České republice je anaerobní stabilizace, kde dochází k přeměně většiny rozložitelných organických látek na bioplyn. Proto v kalovém hospodářství převažují anaerobní reaktory (vyhřívající nádrže), ve kterých probíhá anaerobní metanová fermentace. Podrobněji je tato metoda popsána v kapitole Využití odpadních kalů.

4.2. Aerobní termofilní stabilizace (ATS)

V podmínkách ČR se jedná o metodu neobvyklou. Jedná se o proces, kde v první fázi rozkladem části organické hmoty v anaerobním prostředí vzniká teplo, které zabíjí mikroorganismy a dochází k tzv. hygienizaci kalu. Dále při běžných teplotách okolo 20 °C je kal provzdušňován a dochází v něm k oxidaci organické hmoty, které vede k tzv. zmineralizování kalu. Takto zpracovaný kal má malý počet chorobotvorných zárodků a může se dále využívat na hnojení zemědělské půdy.

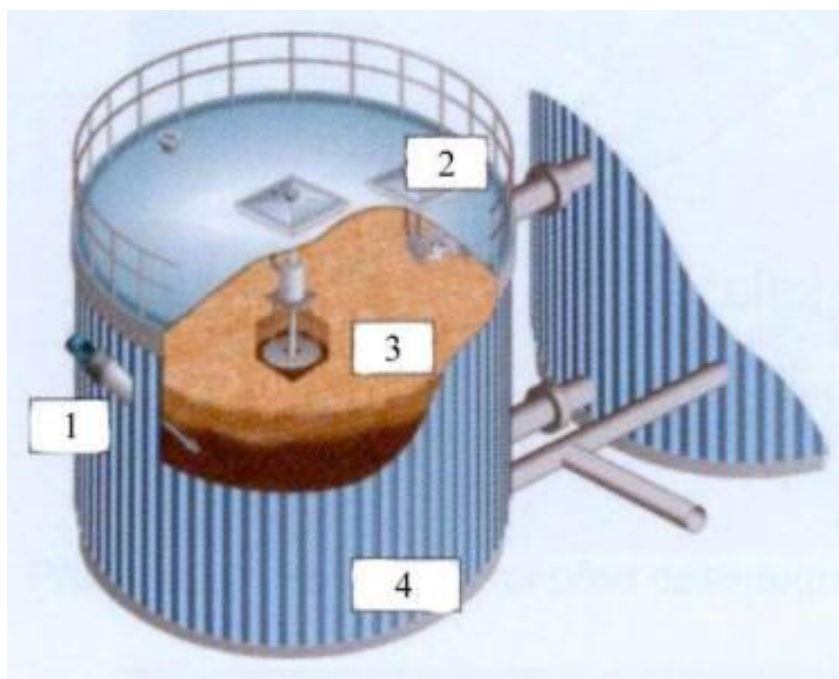
První výsledky tohoto způsobu stabilizace pochází z roku 1968. Nejprve byl používán při zpracování exkrementů a pak se postupně dostal do ČOV, kde je používán na stabilizaci

kalů. V současnosti je tento postup nejvíce zastoupen v Německu a Rakousku, kde ho využívá více než 30 čistíren.

Technologie využívá teplo, které se uvolňuje při biochemické oxidaci, k ohřátí objemu nádrže na teplotu 50-60 °C. Na této teplotě se obsah nádrže zdržuje 6-9 dní. Tato metoda je vhodná jen tam, kde sušina kalu dosahuje nejméně 4-6 % a podíl organické hmoty musí být alespoň 70 %. Zařízení pro tuto technologii se skládá nejméně ze dvou provzdušňovacích zateplených nádrží, vhodného provzdušňovacího systému, čerpací techniky a zařízení na předčištění vzduchu.

Strojní vybavení nádrží ATS

1. Boční provzdušňovač, zároveň pomáhá i míchání nádrže
2. Řezací zařízení určené k regulaci výšky pěny na hladině
3. Centrální provzdušňovač a míchací zařízení
4. Uzavřená izolovaná nádrž



Obrázek 2: nádrž ATS
asio.cz

Tento systém nalézá své uplatnění především na menších ČOV, kde není ekonomicky výhodné budovat plynové hospodářství. Dále se také používá na čistírnách,

které čistí potravinářské vody.



Obrázek 3:Boční provzdušňovač, centrální provzdušňovač, řezač pěny
hgf10.vsb.cz

4.3. Metody hygienizace kalů

V kalu mohou být přítomny i různé škodlivé a choroboplodné zárodky a mikroorganismy. Z toho důvodu se musí provádět tzv. hygienizace kalů (hygienické zabezpečení kalů), při které se tyto zárodky a mikroorganismy usmrtí. Všechny metody, při kterých dochází k usmrcování mikroorganismů, tak zároveň zajišťují hygienizaci kalu. Hygienizační metody se dělí podle způsobu usmrcení mikroorganismů do tří základních skupin:

1. Chemické metody – reakce s chemickými činidly (vápno, minerální kyseliny).
2. Fyzikální metody – působení teploty, radiace, ultrazvuku atd.
3. Biotechnické metody – souběžný proces stabilizace a hygienizaci kalů.

Dále se hygienizační metody dělí podle místa zařazení do technologické linky zpracování kalů:

1. Metody před procesem stabilizace.
2. Metody tvořící součást procesu stabilizace.
3. Metody po stabilizace – přídatná, následná hygienizace.

Metodu hygienizace kalu volíme podle technologie stabilizace kalů a podle velikosti ČOV. Např. pro menší čistírny se doporučuje dodatečná úprava kalu vápnem, tj. chemická hygienizace. Termické procesy se potom používá na velkých čistírnách zejména z ekonomických důvodů.

Chemické metody hygienizace kalu

Chemická hygienizace je využívána tam, kde kal nesplňuje mikrobiologická kritéria kvality kalu nebo u menších čistíren. Nejvíce se uplatňuje metoda úprava kalu vápnem, páleným nebo hašeným. Při úpravě páleným vápnem dochází k hygienizaci za zvýšené teploty a vysokého pH. Při úpravě hašeným vápnem dochází k hygienizaci pouze v důsledku zvýšení pH.

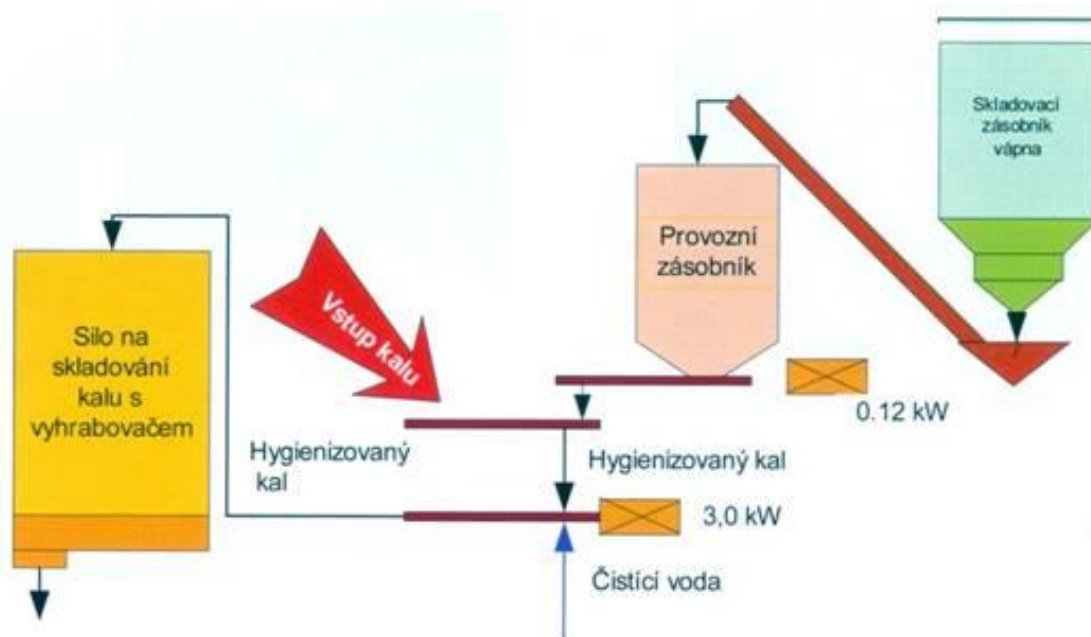
Úprava kalu páleným vápnem

Hodnota pH upraveného kalu musí dosáhnout minimální hodnoty 12 a více, a zároveň je nutné, aby byla udržena teplota kalu minimálně 55 °C po dobu dvou hodin. Nejčastěji se vápno dává do kalového koláče – odvodněného kalu. Obvyklá dávka páleného vápna CaO je cca 10-30 % v přepočtu na sušinu kalu. Při smíchání CaO s odvodněným kalem dochází k chemické reakci (hašení vápna), při které se uvolňuje reakční teplo, které zajistí zvýšení teploty a termický účinek stabilizace. Po přidání CaO tak dochází k výrazné redukci mikroorganismů a zároveň také k snížení obsahu dusíku v kalu v důsledku uvolňování amoniaku.

Úprava kalu hašeným vápnem

Hodnota pH upraveného kalu musí dosáhnout minimální hodnoty 12 a více a v tomto stavu je obsah nádrže uchován při pokojové teplotě po dobu 3 měsíců, aby došlo k usmrcení mikroorganismů.

Nejdůležitější faktorem u této metody je zajištění dokonalého promísení kalu a vápna tak, aby v celém objemu byla dosažena potřebná koncentrace vápna. U toho způsobu hygienizace je také nutné řešit vápenné hospodářství, mísení odvodněného kalu s vápnem, meziuskladnění hygienizovaného kalu a zachycování a zneškodňování vznikajících emisí amoniaku. Bez větších problémů však lze zařadit linku vápnění kalu do stávajícího kalového hospodářství, protože prakticky všechny větší čistírny odpadních vod v ČR mají vybudované odvodnění kalu.



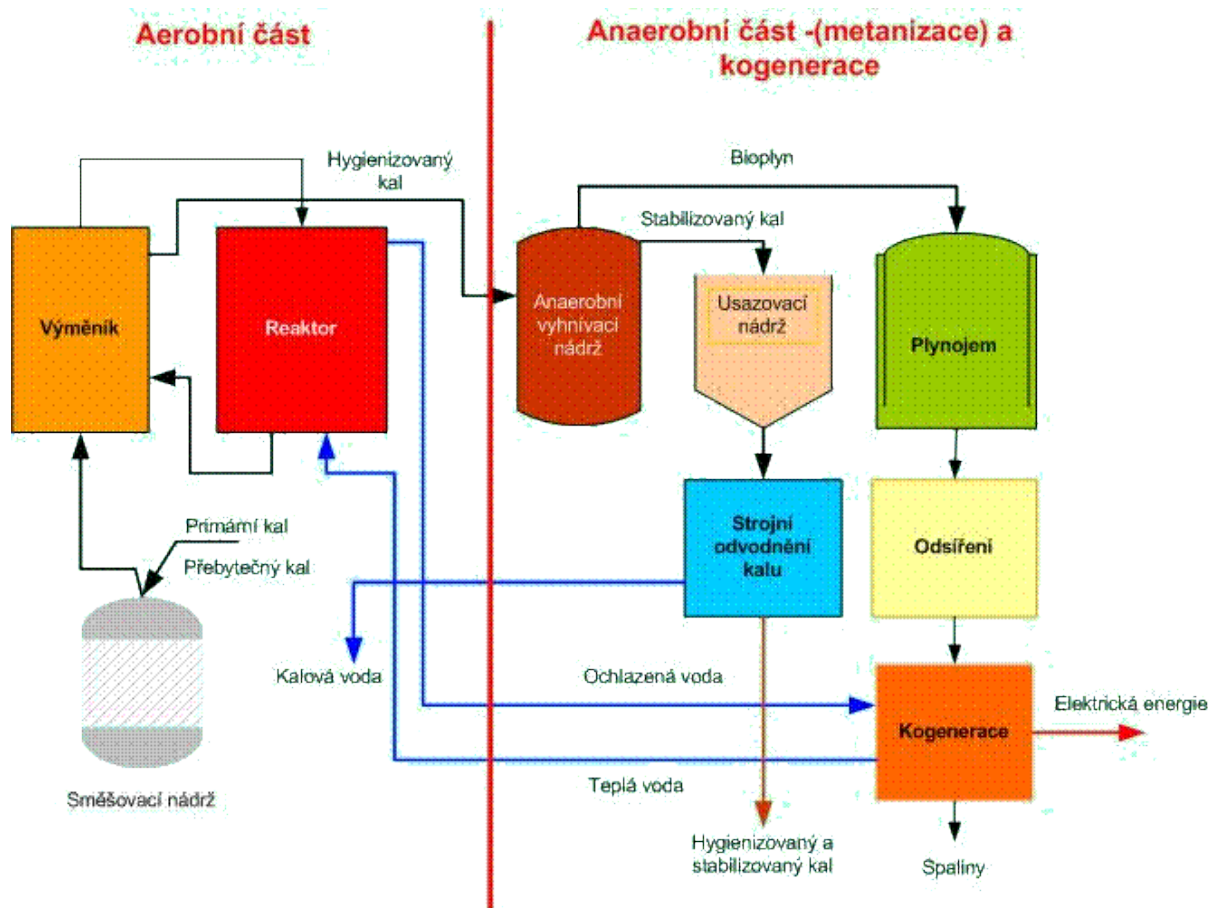
Obrázek 4: Technologické schéma hygienizace kalu vápněním kalu
fontanar.cz

Fyzikální metody hygienizace kalů

V praxi se hlavně uplatňují tyto termické metody.

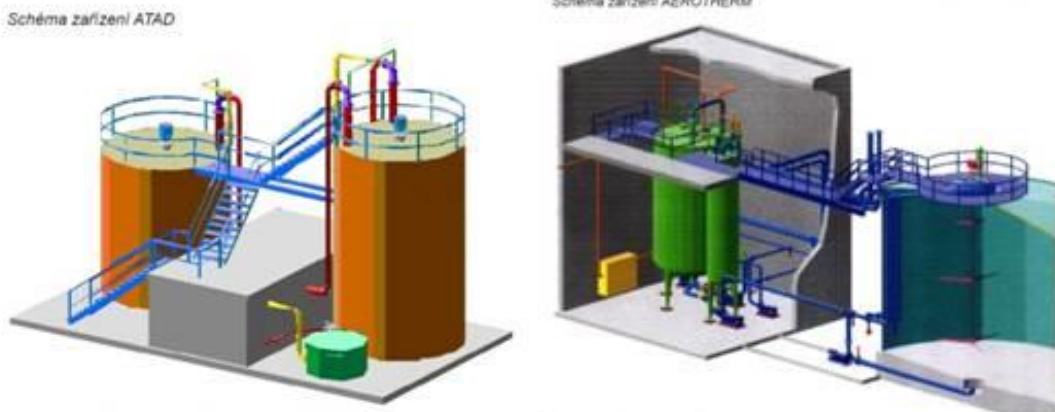
Termická předúprava tekutého kalu

Předúprava trvá po dobu minimálně 30 minut při teplotě 70 °C s následnou mezofilní nebo termofilní anaerobní stabilizací kalu. Příkladem předúpravy je metoda AEROTHERM. Tato metoda využívá aerotermní hygienizace a částečné stabilizace kalu a dále pracuje s neodvodněným kalem o obsahu sušiny 5-6 %. Pokud je obsah sušiny menší než 2,5 %, je nutné předřadit zahušťovací zařízení. Surový kal vstupuje nejdříve do tepelného výměníku, kde se přehřeje a poté vstupuje do aerotermního reaktoru, kde probíhá samotná rozkladná exotermní reakce. V reaktoru je kal zahříván pomocí topné vody na teplotu 60-65 °C. Dále kal prochází přes tepelní výměník, kde dojde ke schlazení a poté do vyhnívací nádrže kde se stabilizuje.



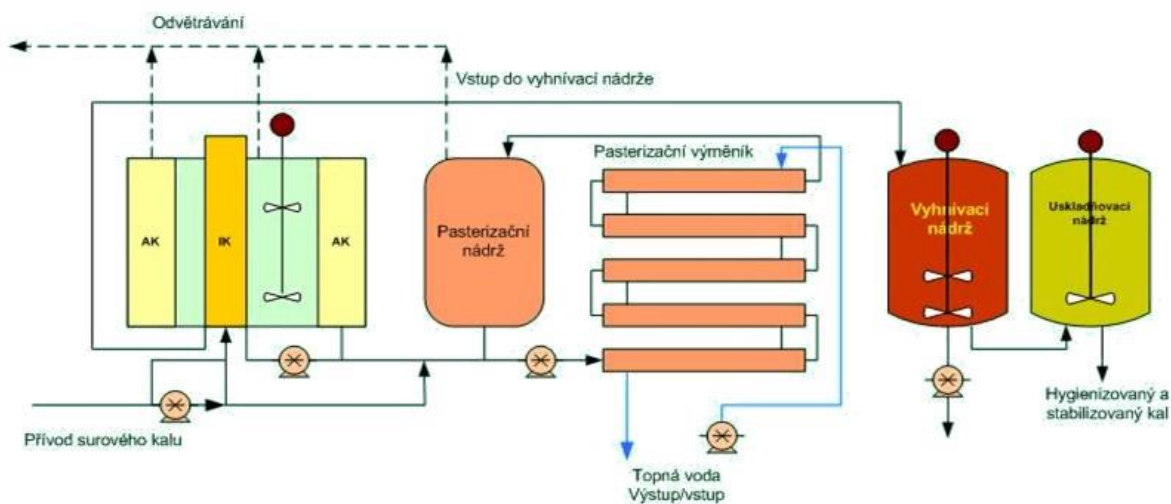
Obrázek 5: Schéma metody AEROTHERM
hgf10.vsb.cz

V aerobním stupni se odbourá 5 až 10 % organické hmoty kalu. Zbytek organické hmoty je odbourán ve vyhnivací nádrži, kde vzniká energeticky bohatý bioplyn. Výhodou metody AEROTHERM je, že kal je v reaktoru hygienizován a zároveň fyzikálně a enzymaticky předpřipraven pro další zpracování. Dále tato metoda využívá rekuperaci tepla, kdy přicházející surový kal je ohříván teplým kalem odcházejícím z tepelného výměníku. Díky vysokému obsahu sušiny v kalu, nemusí být vyhnivací nádrže, které produkují bioplyn, tak objemné.



Obrázek 6: Schémata zařízení Aerotherm
hgf10.vsb.cz

Pasterizace kalu



Obrázek 7: Technologické schéma pasterizace kalu
techpark.sk

Při pasterizaci kalů dochází k usmrcení patogenních mikroorganismů. Při pasterizaci je dosahováno vysokých teplot což zaručuje devitalizaci patogenních mikroorganismů. Po zahřátí následuje stabilizace kalu v anaerobní vyhnivací nádrži. V malém počtu zbylé oslabené patogeny už nejsou schopné existovat v substrátu a odumírají. Další výhodou pre-pasterizovaného kalu je jeho lepší stabilizace a lepší odvodňovací vlastnosti.

Čerstvý studený kal je čerpán do vnitřní komory rekuperačního výměníku a vnější komora je plněná ohřátým hygienizovaným (pasterizovaným) kalem, který je čerpán z pasterizační nádrže. Aby došlo k rekuperaci tepla, je nutné míchat vnitřní komory výměníku, aby došlo k výměně tepla mezi ohřátým a studeným kalem. Čerstvý již ohřátý kal z vnitřní komory rekuperačního výměníku je čerpán do pasterizačního výměníku, kde dojde k jeho ohřátí na teplotu 70 °C. Teplota musí být udržena minimálně 30 minut. To zajišťuje

teplá voda o teplotě 80 °C, která je do pasterizačního výměníku dodávána. Po třiceti minutách je pasterizovaný kal přečerpán zpět do rekuperačního výměníku, ale tentokrát do vnější komory, kde napomáhá ohřevu čerstvého studeného kalu ve vnitřní komoře.

Výhodou pasterizace je, že kal je během hygienizace příznivě připraven pro další zpracování jako je produkce bioplynu nebo zahušťování. Tepelná energie, která je nutná k ohřátí kalu je díky rekuperaci tepla relativně nízká. Pasterizovaný kal také zcela vyhovuje předpisům pro nakládání s čistírenskými kaly z mikrobiologického hlediska. Tato metoda není náročná na prostor, a proto je vhodná i pro menší ČOV.

Tepelné sušení kalu

V případě této teploty musí teplota částic kalu dosáhnout teplot nad 80 °C po dobu 10 minut. Obsah vody po sušení kalu musí být méně jak 10 %. Sušený kal ve formě pelet je zbaven prachových částic pro lepší manipulaci a skladování. Za prachové částice se považují částice o velikosti 0,5 mm a menší, přičemž jejich množství v sušeném kalu nesmí přesahovat 1 %. Je důležité, aby sušárna kalu pracovala v uzavřeném prostředí, aby nedošlo ke kontaminaci ovzduší mikroorganismy ze sušeného kalu.

Biotechnologické metody úpravy, zpracování a hygienizace

Jsou to metody stabilizace kalu s určitým hygienizačním účinkem, při kterých se využívá mikroorganismů. Dosažený stupeň hygienizace závisí na použité technologii.

Dlouhodobé skladování kalu v tekutém stavu

V průběhu skladování dochází k postupnému poklesu podílu organického kalu stále probíhající činností mikroorganismů. S klesajícím množstvím organického podílu se zároveň snižuje množství přítomných virů a bakterií. Konečný efekt závisí především na délce uskladnění a teplotě okolí. V chladném prostředí je činnost mikroorganismů potlačena a metoda tak nemá uspokojivý efekt.

Aerobní stabilizace kalu

Aerobní stabilizace se provádí při okolní teplotě. Kal se provzdušňuje. V průběhu aerace dochází k postupnému poklesu podílu organického kalu stále probíhající činností aerobních mikroorganismů. Během stabilizace nedochází k odběru ani přídávku kalu. Vzhledem k tomu, že stabilizace probíhá při okolní teplotě, nedochází ke snížení množství patogenních organismů, resp. snížení je minimální.

Termofilní aerobní stabilizace kalu

Termofilní aerobní stabilizace probíhá při teplotách nad 55 °C. Minimální doba stabilizace jsou alespoň 2 hodiny. Stabilizace probíhá za působení aerobních mikroorganismů, které rozkládají lehce rozložitelné látky. Během rozkladu vzniká teplo, které za optimálních podmínek může směs ohřát až na 70 °C. Díky těmto podmínkám a době působení je většina patogenů usmrcena. Tato metoda má reálné použití pouze pro kaly s vyšší koncentrací snadno rozložitelných organických látek. Pokud by byla koncentrace příliš nízká, reakce by negenerovala dostatečné množství tepla pro usmrcení patogenů a potřebná tepelná energie by se musela externě dodávat, aby se zaručil požadovaný hygienizační účinek.

Mezofilní anaerobní stabilizace

Proces probíhá při teplotě 35 °C s průměrnou dobou zdržení 15 dní za anaerobních podmínek. Jedná se o dvoustupňový proces, kdy první stupeň je vždy míchaný a vyhříváný, s odběrem produkovaného bioplynu. Druhý stupeň se nevyhřívá a nemusí být zakrytý. Výsledný kal je dostatečně stabilizovaný, avšak tato metoda nezajišťuje požadované snížení patogenních mikroorganismů.

Termofilní anaerobní proces

Proces probíhá při teplotách okolo 55°C za anaerobních podmínek. Jde o dvoustupňový proces, kdy oba stupně jsou vždy míchány, vyhřívány a uzavřeny s odběrem bioplynu. V porovnání s mezofilní stabilizací kalu se dosahuje vyšší teploty, hlubšího rozkladu organických látek a vyšší produkce bioplynu. Díky tomu, je tato metoda oproti mezofilní stabilizaci kalu výhodnější. Hlavní hygienizační efekt má teplota, která působí po celou dobu zdržení v reaktoru.

Termofilní proces vyžaduje udržování optimálních podmínek, a to hlavně teplotních. Další podmínkou je aktivní a dobře adaptovaná termofilní kultura. Zapracování mezofilní anaerobní biomasy na termofilní podmínky musí probíhat postupně a dostatečně dlouhou dobu.

Hlavní předností termofilní anaerobní stabilizace je její vysoký hygienizační účinek z důvodu zvýšené teploty a vysoké hydrolytické aktivity termofilní kultury bakterií. Zvýšení teploty způsobuje také snížení viskozity reakční směsi, což vede k nižším energetickým

nárokům na míchání a zlepšuje následnou separovatelnost tuhých částic, což má za následek snížení množství používaných flokulantů při odvodňování.

Intenzifikovat kalové hospodářství a tím i zvýšit jeho kapacitu je možné převedením anaerobní stabilizace z mezofilních na termofilní podmínky. Toto převedení umožňuje lepší využití stávajících zařízení, lepší využití stabilizovaného kalu a snížení přetíženosti reaktorů. Termofilní anaerobní stabilizace kalů při teplotě cca 55 °C patří mezi progresivní technologie zpracování kalů.

Hygienizační účinnost v technologii termofilní anaerobní stabilizace je nesporná, ale je nutné dodržet požadované parametry homogenity nádrží a doby zdržení. Míchání prvního a druhého stupně musí minimalizovat vznik zkratových proudů uvnitř nádrží, přívod a odběr kalu z druhého stupně stabilizačních nádrží provádět pouze jednou denně, aby byla zajištěna požadovaná doba zdržení 24 hodin pro dosažení hygienizačního účinku procesu.

Při anaerobní stabilizaci dochází k různému stupni destrukce přítomných mikroorganismů a také k významným změnám v mikrobakteriálním společenství kalu. Hygienizační účinek stoupá s rostoucí teplotou a dobou zdržení. Čím vyšší je odstranění organických látek v průběhu procesu, tím vyšší je i hygienizační efekt.

Kombinace metod zpracování kalů a hygienizačních metod

Duální systém aerobní a anaerobní stabilizace

První stupeň je autotermní aerobní stabilizace při teplotě nad 55 °C s dobou zdržení minimálně 20 hodin, druhý stupeň je mezofilní anaerobní stabilizace.

Tepelné fázování anaerobní stabilizace

Nejnovější modifikace anaerobní stabilizace kalu. První stupeň je provozován za termofilních podmínek a stupeň druhý za podmínek mezofilních. Takto zvolené uspořádání spojuje výhody obou procesů a zároveň potlačuje jejich nevýhody. Hlavní výhody jsou nižší doba zdržení, zvýšení produkce bioplynu a hlubší rozklad přiváděného materiálu, a to vše za dosažení požadovaného hygienizačního účinku.

Termická předúprava kalu před anaerobní stabilizací

Nejprve se kal termicky upraví a poté následuje termofilní nebo mezofilní anaerobní stabilizace. Předúprava vyžaduje teplotu 70 °C po dobu minimálně třiceti minut. Následná stabilizace probíhá za teplot specifických pro danou metodu.

Anaerobní mezofilní stabilizace kalu s následnou pasterizací kalu

Nejprve se provede anaerobní mezofilní stabilizace při teplotách do 40 °C s průměrnou dobou zdržení 12 dní. Následuje pasterizace tekutého kalu po dobu třiceti minut za teplot 70°C.

Anaerobní mezofilní stabilizace kalu s následnou úpravou kalu vápnem

Nejprve se provede anaerobní mezofilní stabilizace. Následně se kal smísí s vápnem. Směs musí dosáhnout hodnoty pH > 12 hned po vápnění a tuto hodnotu udržet po dobu 24 hodin.

4.4. Monitorování hygienizačních metod

Aby byly dodrženy správné a optimální provozní podmínky zaručující hygienizační účinek, musí se průběhy hygienizace řádně monitorovat. U pasterizace kalu monitorujeme a kontrolujeme teplotu uvnitř reaktoru a také dobu zdržení v reaktoru. U anaerobní termofilní stabilizace kalu monitorujeme a kontrolujeme hodnotu pH stabilizovaného kalu, teplotu a dobu zdržení kalu v reaktoru. U úpravy hašeným vápnem kontrolujeme hodnoty pH a reakční doby. U úpravy páleným vápnem monitorujeme hmotnostní poměr vápno/sušina, teploty po homogenizaci ve třech místech, kdy jedno měřící místo je na povrchu, a počáteční hodnoty pH kalu.

4.5. Hodnocení účinnosti hygienizace kalu

Účinnost hygienizace kalu se hodnotí hlavně podle počtu termotolerantních koliformních bakterií, enterokoků a bakterií rodu *Salmonella* obsažených v kalu po hygienizaci.

Podmínky pro hygienické zabezpečení kalů, které lze používat na zemědělské půdě, k rekultivacím atd. stanoví Vyhláška č. 382/2001 Sb. v pozdějším znění a vyhláška č. 341/2008 Sb.

Kategorie kalů	Přípustné množství mikroorganismů (KTJ) v 1 g sušiny aplikovaných kalů		
	Termotol. koliformní bakterie	<i>Enterokoky</i>	<i>Salmonella sp.</i>
I.	< 10 ³	< 10 ³	Negativní nález
II.	10 ³ - 10 ⁶	10 ³ - 10 ⁶	Nestanovuje se

Tabulka 1: Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě (KTJ-kolonie tvořící jednotku)

Tyto vyhlášky rozdělují kaly do dvou kategorií podle množství přítomných mikroorganismů (viz tabulka 1):

Kategorie I – kaly, které je možno obecně aplikovat na půdy využívané v zemědělství při dodržení ostatních ustanovení vyhlášky č. 382/2001 Sb. v pozdějším znění.

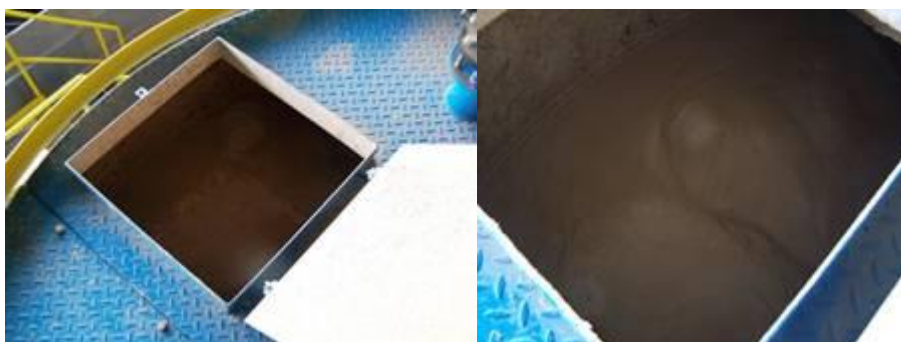
Kategorie II – kaly, které je možno aplikovat na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin a na půdy, na kterých se nejméně 3 roky po použití čistírenských kalů nebude pěstovat polní zelenina a intenzivně plodící ovocná výsadba, a při dodržení zásad ochrany zdraví při práci a ostatních ustanovení vyhlášky č. 382/2001 Sb.

5. Technologické postupy pro zpracování odpadních kalů

5.1. Zahušťování kalů

Zahušťování je proces, kdy se snažíme zvýšit koncentraci tuhých částic v kalu, zhruba dvakrát až třikrát. Zahušťování provádíme třemi možnými způsoby: filtrací, gravitačně nebo centrifugací. Následně probíhá další zvyšování koncentrace tuhé fáze až na konzistenci sypké látky. Tento proces se označuje jako odvodňování. Schopnost odvodnění je jedním ze základních parametrů hodnocení kalu.

Gravitační a mechanické způsoby jsou používány k odstranění snadno odstranitelné volné vody, čímž se podstatně snižuje objem kalu, který musí být v systému zpracován. S menším objemem kalu vzrůstá kapacita jednotek založených na vyhnívání kalu a také klesají náklady spojené s vyhříváním kalu. Pro konečné zpracování nižší objem znamená jednodušší a levnější ukládání kalu. Obecně biologické kaly mohou být zahuštěny v rozmezí 3 až 6 %, primární kal může být zahuštěn v rozmezí 6 až 8 % sušiny.



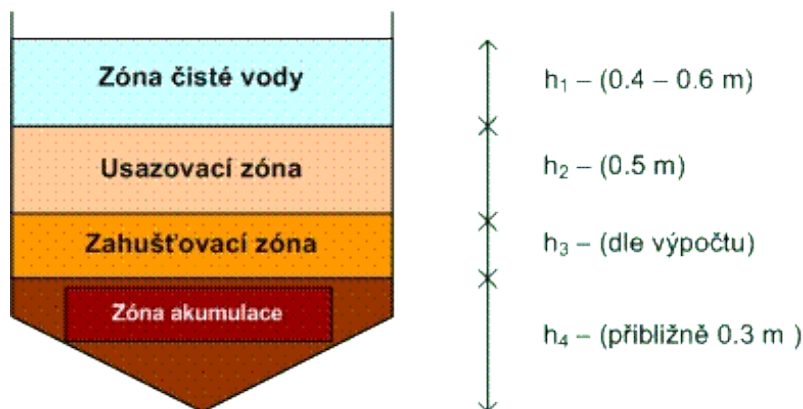
Obrázek 8: Zahuštěný kal
asio.cz

Zahušťování kalu provádíme ihned po jeho separaci v kontinuálně provozovaných zahušťovacích nádržích podle zatížení plochy nerozpuštěnými látkami, nebo v přerušovaných zahušťovacích nádržích podle střední doby zdržení.

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

Tabulka 2: Orientační hodnoty střední doby zdržení pro přerušovaně provozované zahušťovací nádrže podle ČSN 75 6401

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



Obrázek 9: Zóny v zahušťovací nádrži
inkos.cz

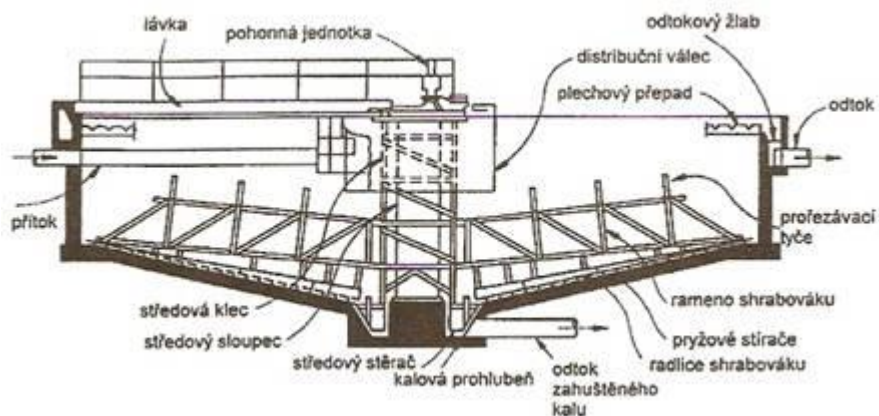
Celková hloubka zahušťovací nádrže $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$ by měla být alespoň 3 m.

Gravitační zahušťování

Gravitační zahušťování využívá rozdílu hustot mezi kapalinou (voda) a tuhými částicemi kalu. Používají se dva procesy: 1) zahušťování v procesu 2) oddělené zahušťování.

Tzv. zahušťování v procesu probíhá v kalovém prostoru usazovací nádrže. Tento způsob je hlavně používán pro primární kaly, chemické kaly a kaly z biologického čištění s přisedlou biomasou. Gravitační zahušťování je velice efektivní pro primární kaly. Účinnost této technologie pro zahušťování kalu z biologického čištění s biomasou ve vzhledu už není tak velká, přesto se často používá.

Usazovací nádrž je většinou kruhového tvaru s přívodem suspenze do středu nádrže. Zahuštěný kal je odtahován ze dna nádrže a kalová voda je přečerpána zpět před usazovací nádrž.



Obrázek 10: Schéma gravitační zahušťovací nádrže
is.mendelu.cz



Obrázek 11: Usazovací nádrž
mupe.cz

Pro gravitační zahušťování se nejčastěji používají.

- Primární kal o nízké koncentraci suspendovaných látek (pod 3%)
- Chemické kaly
- Biologické kaly z procesu s přisedlou biomasou
- Biologické kaly z procesu se smíšeným zahušťováním kalů primárních a kalů s přisedlou biomasou

Zahušťování je jednou z možností intenzifikace procesu anaerobní metanové fermentace. Se zahušťováním bezprostředně souvisí další z významných intenzifikačních

kroků – desintegrace buněk aktivovaného kalu, při které se uvolňuje buněčný lyzát, katalyzátor anaerobní metanové fermentace.

Anaerobní fermentace je přítomností buněčného lyzátu podporována, a to má za výsledek celkové zvýšení rychlosti procesu a větší produkce bioplynu. Dále pak klesá celková produkce anaerobně stabilizovaného kalu, čímž se zmenšují náklady potřebné k jeho likvidaci.

Buněčný lyzát je uvolněný obsah buněk mikroorganismů, který vzniká při rozrušení buněčných stěn a membrán. Může se uvolňovat přirozenou cestou (autolýzou) u všech odumřelých buněk nebo za pomoci hydrolytických enzymů, které jsou uvolňovány do roztoku fermentačními bakteriemi. Nejvýhodnější způsob přípravy lyzátu je mechanická desintegrace. Na ČOV je desintegrace buněk v přebytečném aktivovaném kalu dosaženo např. pomocí lyzačního zařízení namontovaného do proudu vystupujícího zahuštěného přebytečného kalu, které využívá přebytek kinetické energie k rozbití buněčných stěn nebo přímo v zahušťovacích odstředivkách, tzv. lyzační zahušťovací odstředivce.

Lyzační zahušťovací odstředivka

Lyzační zahušťovací odstředivku vyvinula společnost Lysatec GmbH pro zvýšení účinnosti anaerobní stabilizace kalů. Tato metoda využívá buněčného lyzátu uvolněného při destrukci buněk na zahuštění přebytečného aktivovaného kalu. V tomto případě je tvorba lyzátu vedlejším účinkem zahušťování biomasy, a proto není potřeba další samostatné zařízení.

5.2. Odvodňování kalů

Odvodňování je proces, při kterém je z kalu odstraněna přebytečná voda až do sypkého stavu za účelem zmenšení objemu kalu. Tím se snižují nároky na transport a další zpracování. V případě spalování kalu je odstranění přebytečné vody z kalu klíčovým faktorem pro likvidaci kalu tímto způsobem.

Přirozené odvodňování

Kalové pole

Časově náročný způsob odvodňování s vysokými nároky na zastavěnou plochu. Tato metoda je závislá na klimatických podmínkách a je časově náročná. Odvodňování probíhá v mělké nádrži s betonovým dnem, které je pokryté vrstvou šterkopísku. Na dně

je zabudovaný systém drenáží, která odvádí separovanou vodu. Nádrž je plněna stabilizovaným kalem ve vrstvě 20-40 cm. Separace vody probíhá výparem a vsakováním do drenážního systému.



Obrázek 12: Kalové pole
voda.tzb-info.cz



Obrázek 13: Kalové pole s aerací
homen.vsb.cz

Kalové laguny

Kalová laguna je ohrázkovaná nádrž s funkcí odsazení, zahuštění, promrznutí a vysoušení kalu. Obvodové hrázky jsou většinou zpevněny dlažbou nebo panely. Přístup do kalové laguny musí být upraven pro těžkou techniku, která lagunu obsluhuje. Laguny mají přirozené dno bez drenážní vrstvy. Laguna se skládá nejméně ze dvou samostatných jednotek. Separovaná voda je vypouštěna z každé laguny samostatně. Do lagun je možné vpouštět kaly zahuštěné již na 1–2 %. Kal je do lagun napuštěn ve výšce 0,6 - 1 m a proces odvodňování trvá přibližně 5-9 měsíců. Vzhledem k nutnosti promrznutí se kalové laguny navrhují na dvouletý pracovní cyklus.

Kalové laguny jsou velmi náročné na prostor. Proto se u větších ČOV, které mají zvýšené nároky na odvodnění kalu, doporučuje odvodňovat strojně na pásových lisech nebo kalolisech.

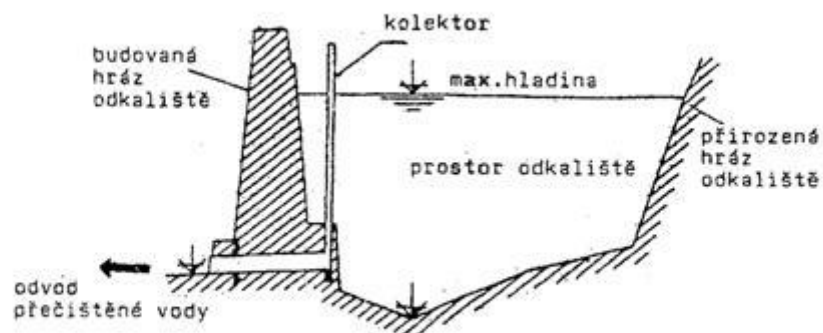


Obrázek 14: Kalová laguna
streka.net

Usazovací nádrže odpadních kalů

Usazovací nádrže se dělí na nádrže, kde je následně nutná těžba usazené pevné fáze a na nádrže, kde těžba nutná není.

Nádrže, které nevyžadují těžbu, většinou vznikají přehrazením údolí nebo prolákliny. Mají nepravidelný tvar a dosahují hloubky přes 3 metry. Napouštění i vypouštění probíhá většinou na jednom místě nádrže. Odvodnění je zajištěno prosakováním přebytečné vody dnem a je to dlouhodobý proces. Po odvodnění je nádrž rekultivována.



Obrázek 15: Řez sedimentační nádrží s kolektorem
voda.tzb-info.cz

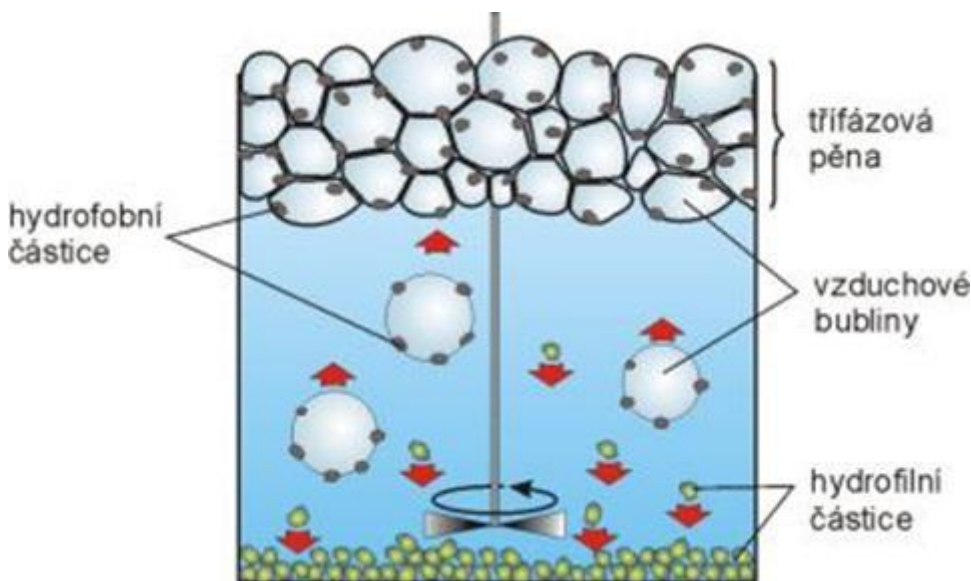
U nádrží s těžbou pevné fáze se odvádí povrchová voda po jejich napuštění. Následně probíhá těžba tuhé fáze. Rychlost přirozeného odvodňování lze zvýšit přidávkou flokulačních činidel do kalu. Lze též použít kondicionace kalu pomocí organických flokulačních prostředků (polyelektrolytů).

5.3. Strojní odvodňování

Strojní odvodňování je účinnější a rychlejší než přirozené odvodňování. Pro strojní odvodňování jsou používány odstředivky, filtrační zařízení, lisy, otáčivé vakuové filtry, flotační zařízení aj.

Odvodňování flotací

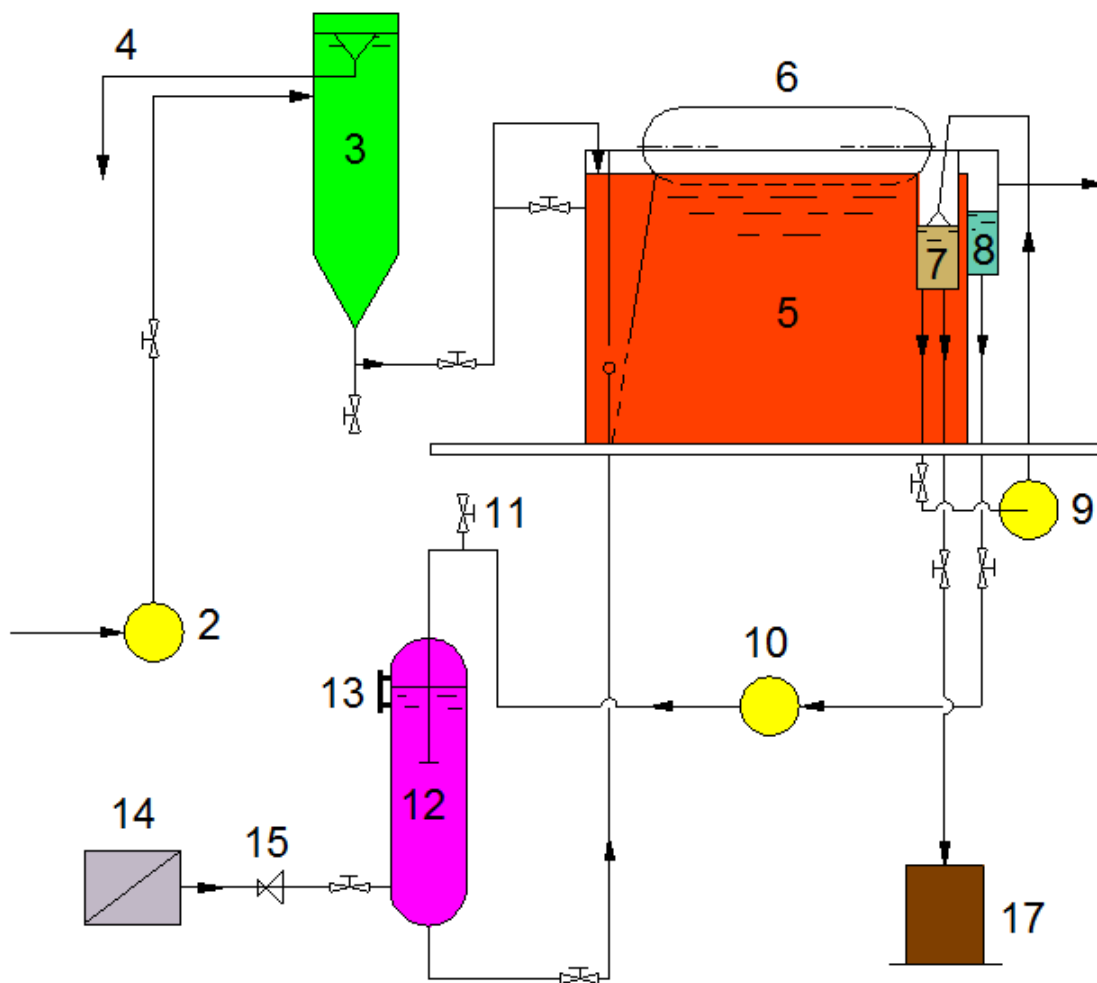
Odvodňování flotací funguje na principu rozdílné smáčitelnosti povrchu různých materiálů. Suspendované látky z vody se odstraňují pomocí mikrobublínek plynu (vzduch), které se zachytí na povrchu nečistot a vynášejí je na hladinu substrátu. Tam tvoří pěnu, která je mechanicky odstraňována. Částice, které mají hydrofilní povrch nejsou bublinkami zachyceny a místo toho sedimentují na dně nádrže, kde tvoří flotační odpad.



Obrázek 16: Pěnová flotace
hgf10.vsb.cz

Existují různé druhy flotace jako flotace s podtlakem nebo tlaková flotace. U flotace s podtlakem se díky podtlaku uvolňuje vzduch přítomný ve vodní fázi a tvoří mikrobublinky, které opět zachytí mikročástičky kalu a vynášejí je na hladinu. Proces probíhá v uzavřené nádrži.

Princip nejvíce používané tlakové flotace je podobný flotaci podtlakem, ale flotační proces probíhá v otevřené nádrži. Kal se vzduchem je pod tlakem smísen v tlakové nádrži a poté je nárazově snížen tlak na atmosférický otevřením víka nádrže. Náhlá změna tlaku vytvoří jemné bublinky plynu velikosti desítek mikronů, které zachycují mikročástice nečistot a vynášejí je na hladinu. Tento způsob flotace je ve světě nejvíce využíván pro jeho efektivitu a ekonomickou výhodnost.



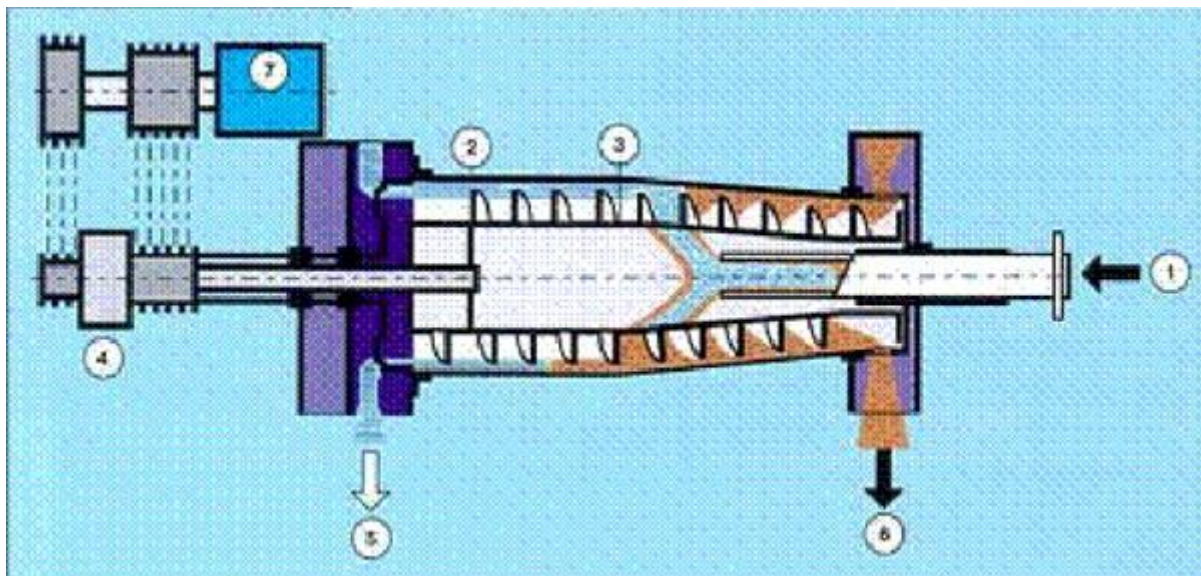
1 – přívod aktivovaného kalu, 2 – čerpadlo na aktivovaný kal, 3 – vyrovnávací nádrž, 4 – přeпад, 5 – flotační nádrž, 6 – shrabovací zařízení na zahuštěný kal, 7 – kalová jímka, 8 – odpad a recirkulace, 9 – čerpadlo pro skrápění zahuštěného kalu, 10 – recirkulační čerpadlo, 11 – odvodušnění, 12 – tlaková nádrž pro směšování kalu se vzduchem, 13 – stavoznak, 14 – kompresor, 15 – redukční ventil, 16 - děrované potrubí pro přívod do flotace, 17 – nádoba na zahuštěný kal

Obrázek 17: Schéma zařízení pro zahušťování kalů flotací
voda.tzb-info.cz

Dekantační odstředivky

Odstředivky jsou mechanická zařízení, která využívají na separaci kalu odstředivou sílu. Kal se přivádí do rotačního bubnu, který má vodorovnou osu otáčení. Při rotaci

bubnu se díky odstředivé síle odděluje tuhá složka, která se usazuje na vnitřní stěně bubnu a je odváděna šnekovým dopravníkem. Nejvíce používaným typem odstředivek jsou dekantační odstředivky.



Obrázek 18: 1. přívod suspenze, 2. vnější buben, 3. dopravní šnek, 4. převodovka, 5. výstup kapaliny, 6. výstup sedimentu, 7. motor
hgf10.vsb.cz



Obrázek 19: Dekantační odstředivka
pbsvb.cz

Suspenze je vpuštěna do otáčejícího se bubnu. Těžší částice se usazují na stěnách vnějšího bubnu, kde jsou šnekovým mechanismem posouvány do kuželové části. V kuželové části dochází k dalšímu zhutnění kalu. Z kuželové části sedimenty pokračují do výsypní části, kde je sediment vysypán z hrdla výsypky ven z odstředivky. Kapalina je

vypouštěna přes odpadní víčka v čele bubnu do sběrače, odkud je odváděna potrubím. Dekantační odstředivka zvládne od sebe kapalinu a pevné částice o velikostech 0,005 mm až 15 mm.

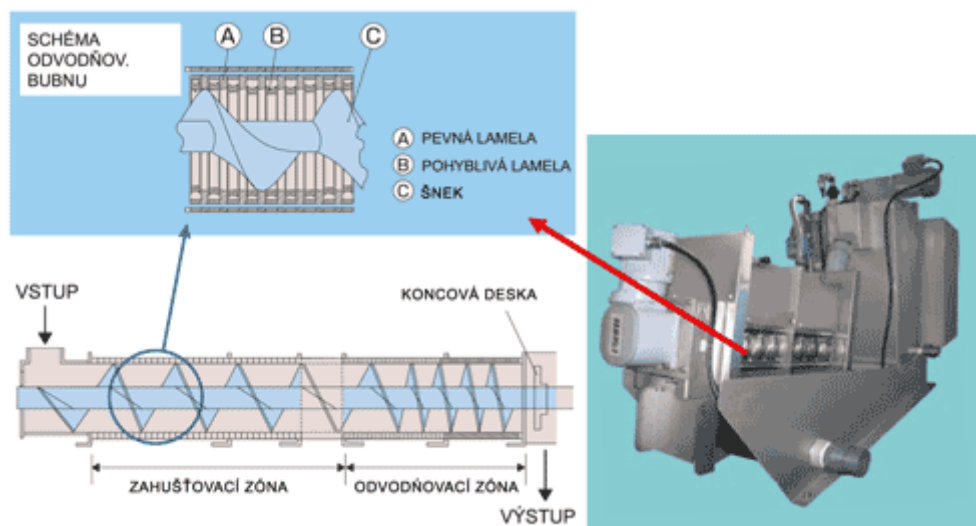
Mezi výhody odstředivek patří jejich schopnost kontinuálního provozu. Má malé nároky na prostor. Může zpracovávat různé struktury kalu např. amorfni, granuláty, krystaly, vláknité a koloidní částice. Má také širokou škálu provozních teplot od 5–115° C.

Lisy

Šnekové lisy

Tekutá a tuhá část substrátu jsou od sebe oddělovány za pomoci tlaku, kterému je substrát postupně vystavován. Šnek musí být obalen sítí, aby nedocházelo k úniku pevných částic s vylisovanou vodou.

Šnek lisu je složen z pohyblivých a pevných lamel, které mají mezi sebou vymezovací podložky. Mezery mezi lamelami se postupně zmenšují a také klesá stoupání šneku. Otáčením šneku se kal posunuje a následně se stlačuje a zbavuje vody. Ta odtéká ze šneku přes štěrby mezi lamelami. Díky pohybujícím se lamelám nedochází k častému ucpání lisu a jsou tím sníženy nároky na mycí vodu.



Obrázek 20: Schéma šnekového lisu
is.mendelu.cz

Sítové lisy (pásové lisy)

Kal je přečerpán do podávací skříně. Ještě před vstupem do pásového lisu je do kalu přidán flokulant a kal je řádně promíchán. Flokulant vytváří kalové vločky, které se dále

v potrubí stabilizují. Ke statickému gravitačnímu zahuštění dochází v zóně intenzivního odvodnění. Pomocí přimíchávání se umožní zbytkové vodě odtok přes síto. V tomto kroku se odděluje více než 50 % vody, obsažené v kalu. Ta se hromadí ve spodní části stroje a je dále využívána na ředění flokulantu. Lisovaný koláč dále postupuje přes klínovou zónu, která zajišťuje rovnoměrný nárůst tlaku.

V obloukové lisovací zóně jsou pásy vedeny přes děrovanou obloukovou desku. Poloměr této desky se postupně zmenšuje, čímž se dá nastavit zvyšování tlaku. Lisovaný koláč dále pokračuje do stříhové a valchovací zóny. Zde je veden mezi osmi tlačnými válci se zmenšujícím se průměrem a velkým úhlem opsání. První dva válce jsou přizpůsobeny k odvodnění filtrátu, a proto mají perforovaný nerezový plášť. Zvyšující se tlak a působení stříhových sil zaručí optimální odvodnění. Válce jsou uloženy na naklápěcích ložiscích, která jsou utěsněná tokovou komůrkou, trojnásobným labyrintem a těsněním.

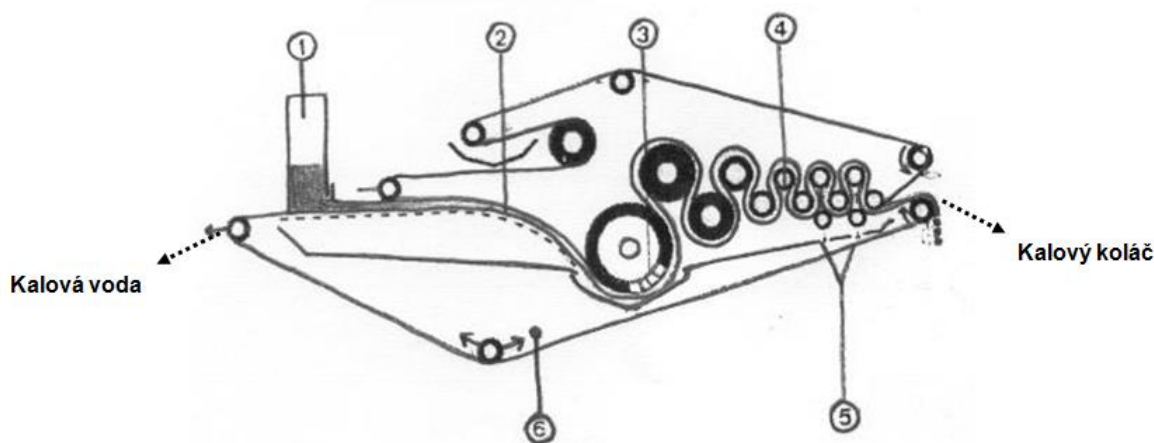


Schéma pásového lisu:

- 1 – zásobní nádržka kalu, 2 – kuželová zóna postupně vytvářející vylisovaný stabilní filtrační koláč, 3 – profilované válce, 4 – lisovací válce, 5 – okrajové tlakové válce, 6 – trysky čistící vody

Obrázek 21: Schéma pásového lisu
hgf10.vsb.cz

Stroj je v otevřeném provedení se snadným přístupem pro obsluhu. Všechny části stroje, u kterých dochází ke styku s kalem jsou vyrobeny z nerezové, pogumované, pozinkované nebo plastem potažené oceli. Ocel musí odolávat všem korozivním účinkům, které v provozu působí. Pro soustavné oddělování vylisovaného koláče je stroj opatřen samostavitelnými plastovými škrabkami. Prací voda je odváděna společně s kalovou vodou.

Pás je při návratu strojem čištěn vodními tryskami. Čistotu vodních trysek zajišťuje instalovaný kartáč přímo v trysce. Pásky jsou natahovány a upravovány pomocí pneumatického válce, který zajišťuje plynulé nastavení lisovacího tlaku. Vystředění každého pásu zajišťuje řídicí válec, který je ovládán válcem pneumatickým, který dostává signály od přibližovacího spínače. Díky tomuto pneumatickému systému dochází k šetrnému ovládní pásu s malým zpožděním a minimalizuje opotřebení sít. Oproti hydraulickému systému zde nedochází k zatížení životního prostředí a k úniku olejů.

Řídicí jednotka součástky nutné pro pohon a chod stroje jsou umístěny v suché části stroje.



Obrázek 22:Pásový lis
sekerka.biznysweb.cz

Kalolisy

Používají se dva typy kalolisů, komorové a membránové kalolisy. Membránové kalolisy dosahují až dvojnásobných výkonů oproti komorovým. Jako filtrační medium je nejčastěji využíván polypropylen, který omezuje přilnavost filtračního koláče k filtrační látce.

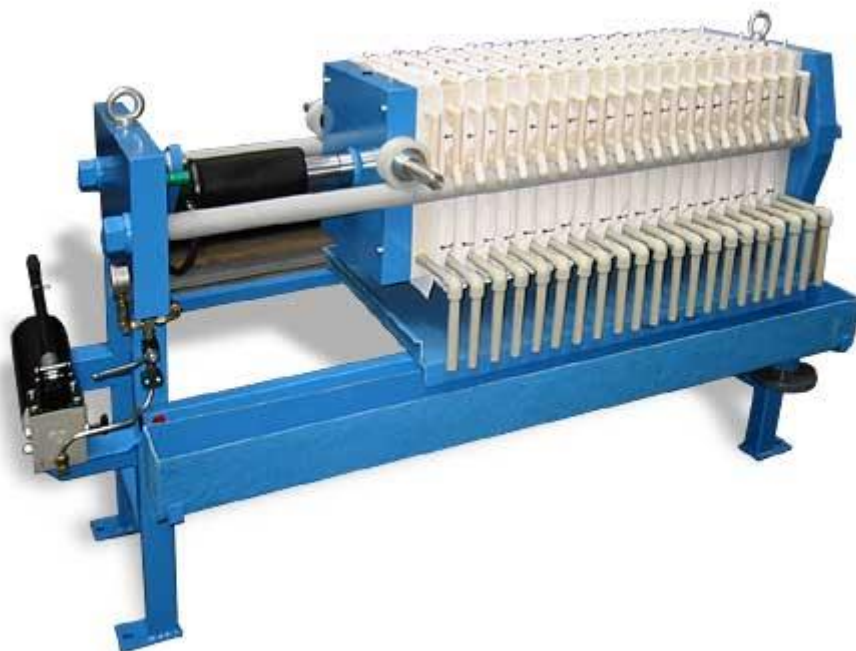
Zařízení se velice podobá plachetkovému filtračnímu systému pro tlakovou filtraci kapalin. Na koci pracovního cyklu je kalolis otevřen a kalový koláč, který se vytvořil v jednotlivých komorách nebo na jednotlivých membránách samovolně vypadává a kapalina je vedena drenážním systémem pryč. Jako priorita se u kalolisu bere dosažení maximální sušiny v pevné fázi a zároveň dosažení nejvyšší čistoty kapalné fáze. Snahou je,

aby pracovní cyklus probíhal samostatně bez nutnosti dozoru, tj. aby provoz kalolisu byl automatický.

Komorový kalolis

Komorový kalolis je složen z jednotlivých komor vytvořených soustavou filtračních desek se zabudovaným drenážním systémem v pracovní oblasti. Filtrační desky jsou potaženy filtrační tkaninou (plachetkou), která zachytává pevné části a kapalinu propouští dále.

Částičky kalu jsou tak zachytávány ve filtračních komorách. V komoře vzniká homogenní kalový koláč, který vyplňuje prostor komory a zároveň zvyšuje odporové síly. Z toho důvodu se pracovní tlak, pod kterým je směs čerpána do kalolisu, musí kvůli těmto zvýšeným odporům musí neustál zvětšovat.



*Obrázek 23:Komorový kalolis
filtrox.sk*

Membránový kalolis

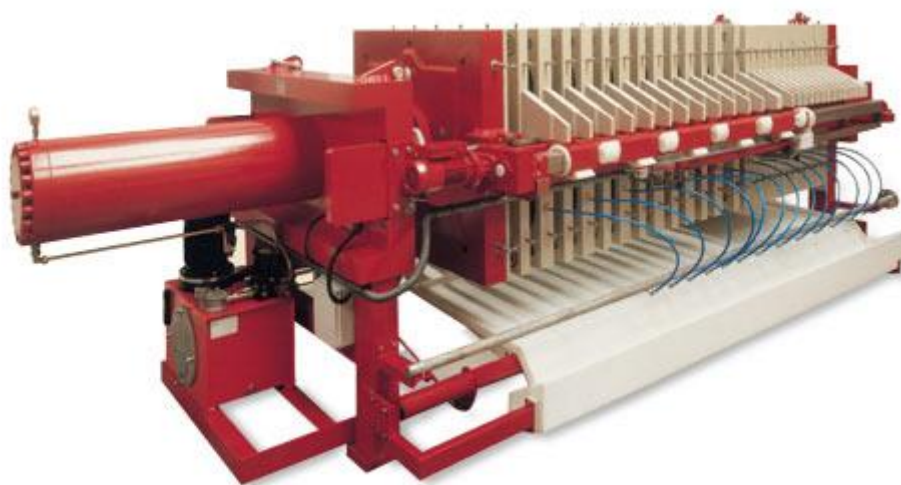
Membránový kalolis se vyznačuje tím, že má zabudovaný drenážní systém na pohyblivé membráně. Naplnění lisu je podobné jako u komorového lisu s tím rozdílem, že po tlakové filtraci následuje ještě stlačení pohybem membrány. Jako tlakové médium se nejčastěji používá voda nebo vzduch. Stlačení vzniklého koláče membránou je možno koláč ještě více odvodnit.

Existují dvě konstrukční řešení membránových kalolisů. Lisy s bočními svorníky mají filtrační desky uloženy na podélnících v ose kalolisu a lisy mostové konstrukce, kde jsou filtrační desky s horním zavěšením. Lisy s mostovou konstrukcí jsou vhodné spíše pro velké ČOV z důvodu velkých rozměrů. Rozměry jsou určeny velikostí a počtem filtračních desek.

Filtrační desky jsou vyráběny nejčastěji z homogenního polypropylenu (PP). Membrána je pak tvořena z materiálu, který je nejvíce vhodný pro daný provoz. Podle charakteru zatížení se ale nejvíce jedná o PP nebo EPDM.

Správné a pevné sevření filtračních desek zajišťuje hydraulický systém kalolisu. Ten je tvořen z vysokotlakého hydraulického válce a hydraulického agregátu, který vytváří potřebný tlak pro otevírání a zavírání stroje. Hydraulický systém zajišťuje optimální sílu pro utěsnění desek.

Výhodou kalolisů je jejich dodatečná výbava. Doplnující prvky pro konkrétní potřeby provozu jsou navrhovány jako stavebnicový systém. Mezi základní doplňující systémy patří automatické rozřazování filtračních desek, mechanismus oklepu, zařízení pro vysokotlaké čištění filtračních desek a posuvná nebo sklopná plata pro odvod úkapů.



Obrázek 24: Membránový kalolis
<http://hgf10.vsb.cz>

Oklep kalových koláčů z filtračních desek probíhá při pohybu přitlačných desek do původní polohy. Otvírají se jednotlivé komory a z nich odpadají filtrační koláče. Do této fáze je někdy zapojován systém pro snadnější oddělování filtračních koláčů. Plachetky se dále ostříkují a myjí.

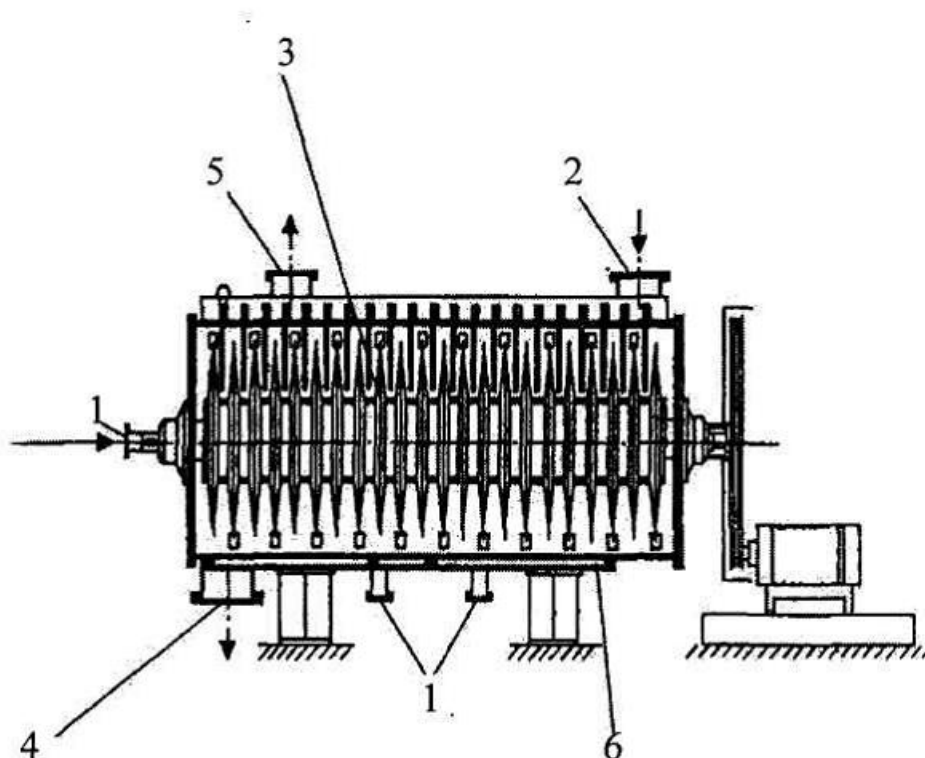
Pro zvýšení účinnosti odvodňování se do směsi přidávají flokulanty. Mohou být přírodní nebo syntetické a nejčastěji se používají flokulanty na bázi polyakrylamidu, polyvinylalkoholu aj. Účinnost jde nadále zvýšit přidavkem anorganických elektrolytů. Směs se připravuje ve vločkovém reaktoru.

5.4. Sušení kalů

Nepřímé sušení

Teplo je dodáváno do sušeného materiálu nepřímě přes teplosměnné plochy. teplotnosné médium jako pára nebo horký olej není v přímém kontaktu s kalem. Jedním ze zástupců této technologie jsou diskové sušárny. Jedná se o válcové těleso s vnitřním vyhřívaným žebrováním, které tvoří stator diskové sušárny. Rotor, který je také vyhříván, slouží ke kypření, provzdušňování a transportu sušeného kalu. Nápeky, které se tvoří na vyhřívaných plochách, jsou stírány systémem stěrek nebo lopatek. Diskové sušárny mohou sušit jak vyhnílý, tak nevyhnílý kal. Neustálý kontakt mezi vyhřívanými deskami a sušeným kalem umožňuje dosáhnout vysokou účinnost sušícího procesu. Konečný produkt může být ve tvaru pasty, prachu, granulátu nebo briket. Stroj je nenáročný na provoz a díky

rotujícímu bubnu, který neustále přespává sušený prach jsou vyhřívané plochy samostatně čištěny.



1. Přívod páry
2. Přívod odvodněného kalu
3. Disky vyhřívané párou – rotor sušárny
4. Výstup usušeného kalu
5. Odtah brýd
6. Plášť sušárny

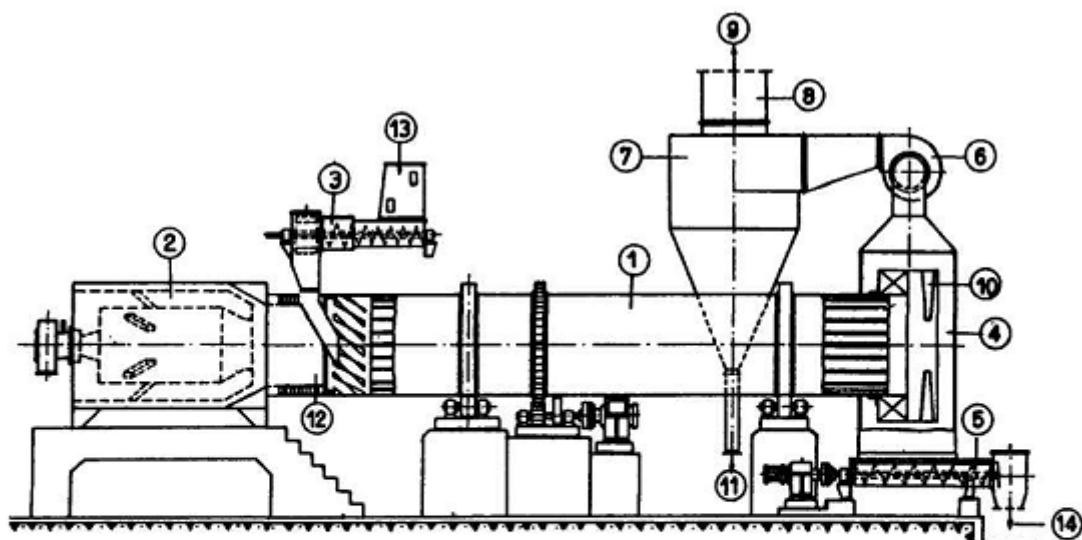
Obrázek 25: Disková sušárna
prokop.cz

Přímé sušení

Sušený kal je v přímém kontaktu s teplotnějším médiem, např. horkými spalinami. Teplo je tak dodáváno do materiálu přímo z teplotněního média.

Rotační bubnová sušárna

Kal je přiváděn z jedné strany bubnu a je transportován bubnem díky rotaci bubnu. Uvnitř je kal vystaven horkému plynu, nejčastěji spalinám, který vysouší kal a vytváří z něj granule s obsahem sušiny větším než 90 %. Aby se buben neucpal, kal musí mít už před vstupem obsah sušiny vyšší než 65 % a proto se většinou sušený kal mísí s kalem odvodněným.



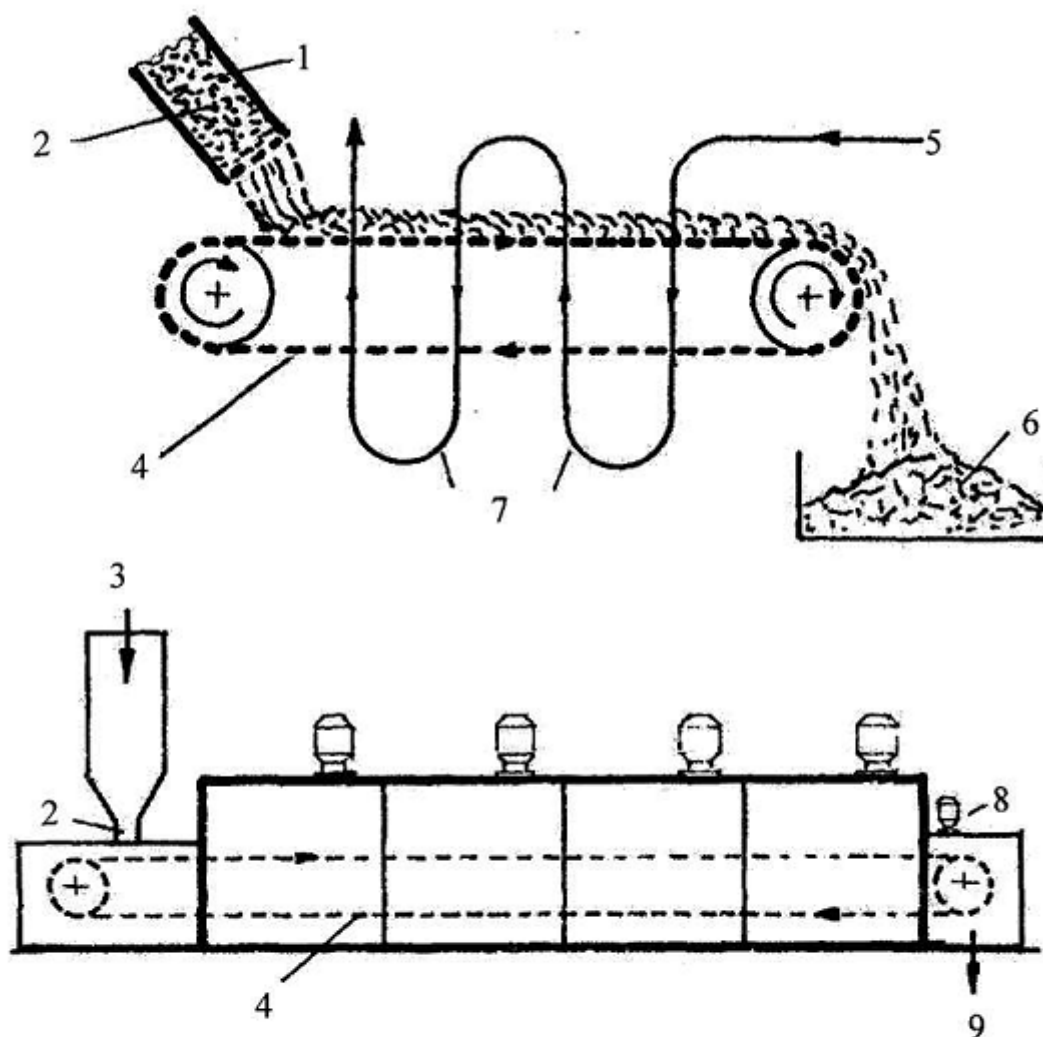
- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Buben sušárny | 8. Odvod brýd |
| 2. Hořák nebo ohřívák vzduchu | 9. Odtah |
| 3. Dopravník kalů | 10. Hradící zařízení |
| 4. Zásobník sušeného kalu | 11. Prach |
| 5. Šnekový vynašeč suchého kalu | 12. Napojení zdroje tepla k bubnu |
| 6. Ventilátor | 13. Zásobník odvodněného kalu |
| 7. Odlučovač prachu | 14. Usušený granulát |

Obrázek 26: Bubnová sušárna
fld.czu.cz

Pásové sušárny

K sušení dochází na horizontálním pásu, na kterém je kal rovnoměrně rozprostřen. Na kal je foukáno teplé médium jako spaliny, horký vzduch nebo výfukové plyny. Pro lepší výsledek bývá sušicí pás prodyšný. Podle použité konstrukce existují různé druhy pásů. Textilní pásy mohou být tkané i netkané. Dále kovové pásy, které mohou být utkány z ocelových vláken anebo perforovány. Sušicí vzduch může být podle druhu sušárny přiváděn buďto pod pás nebo nad pás a může proudit proti nebo podél směru pohybu pásu. V praxi pak můžeme najít systémy s vícero pásy uspořádanými nad sebou. Takovéto uspořádání pak zabírá méně místa a lépe využívá sušicí médium. Pásové sušárny nejsou

náročné na údržbu.



- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1. Odvodněný kal | 6. Zásobník vysušeného granulátu |
| 2. Dávkování kalu na pás | 7. Uspořádání proudu plynu |
| 3. Zásobník odvodněného kalu | 8. Pohon pásu |
| 4. Perforovaný sušící pás | 9. Vysušený granulát |
| 5. Vysoušecí plyn | |

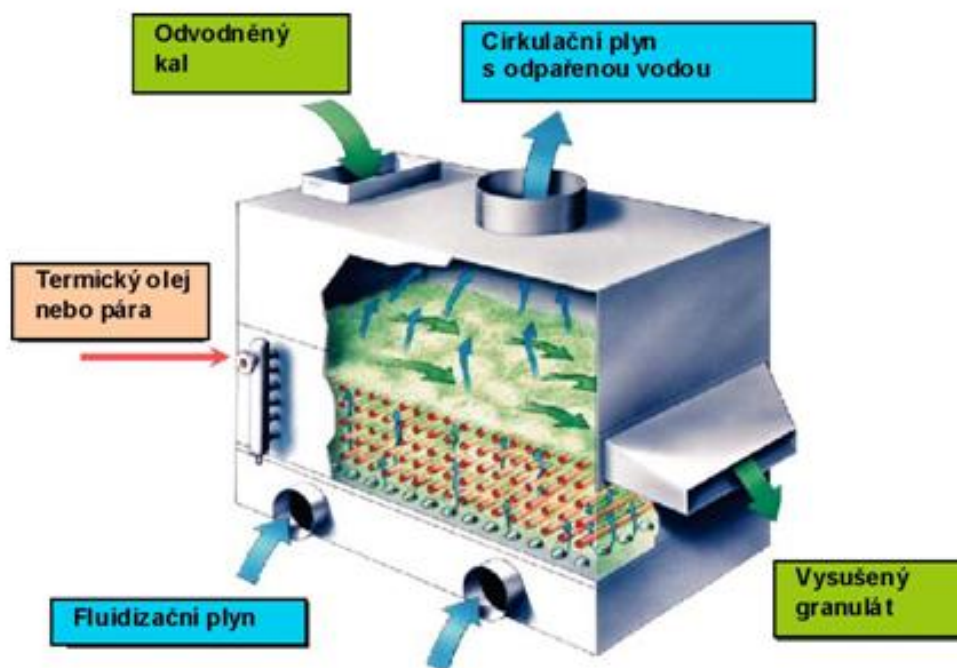
Obrázek 27: Princip pásové sušárny
centrivit.cz

Fluidní sušárny

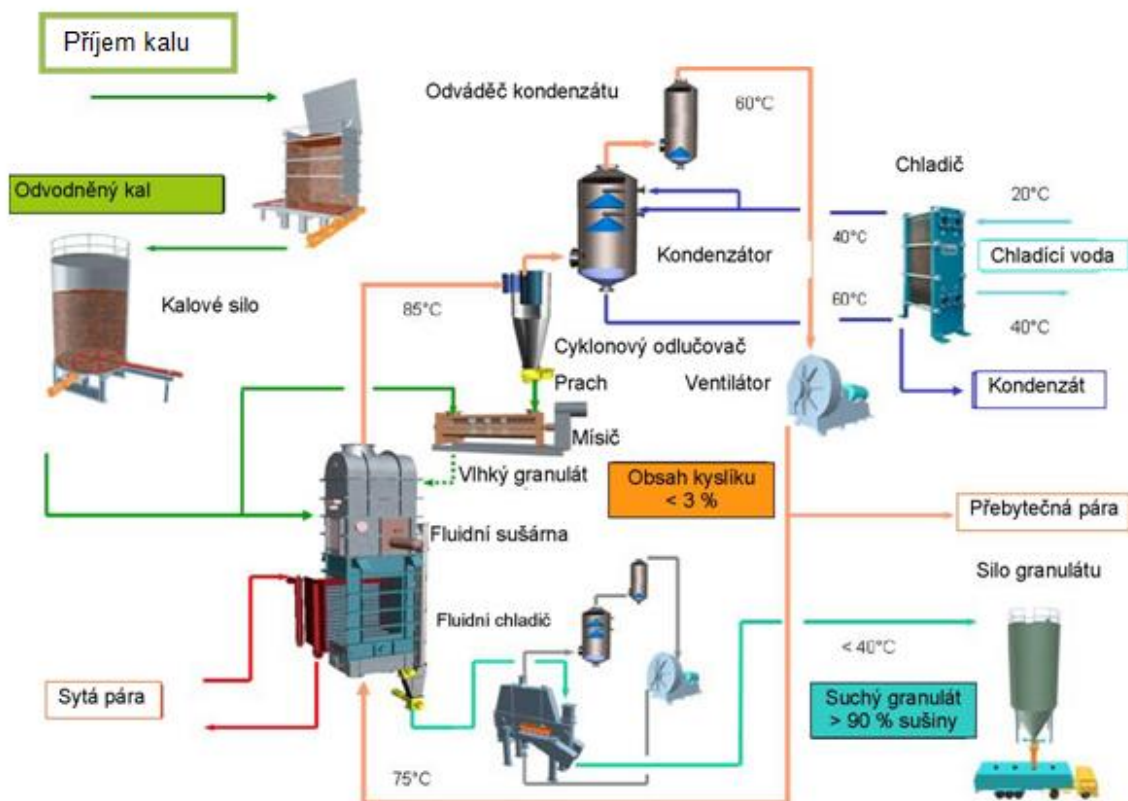
Sušící účinek je zajištěný vysokou turbulencí horkého média, které unáší jednotlivé částice kalu a vysouší je. Obsah sušiny usušeného kalu se pohybuje kolem 90 % a má tvar bezprašných granulí. Prach je unášen do cyklónu, kde je smíšený s odvodněným kalem a následně vrácen zpátky do sušárny.



Obrázek 28: Pásová fluidní sušárna ANDRITZ
centrivit.cz



Obrázek 29: Princip fluidní sušárny
hgf10.vsb.cz



Obrázek 30: Schéma sušícího procesu
 agrojournal.cz

Skleníkové solární sušení kalu

Průkopníkem v tomto ohledu je firma Veolia Water Solutions & Technologies. Propojením dvou procesů: sušení vzduchem a aerobní fermentací zvýšila účinnost skleníkového solárního sušení kalu. Systém je založen na odpařování vody z kalu vlivem solárního záření, kdy je kal zároveň automaticky obrácen systémem Soliamix. Díky automatickému a pravidelnému otáčení kalu je zlepšen stupeň fermentace a energie uvolňovaná oxidací organických látek v kalu urychluje odpařování. Kal je vyložen do skleníku a uspořádán do jednotlivých brázd pomocí systému Soliamix. Brázdy jsou pravidelně obráceny za pomoci obracečů, které jsou dostupné ve třech velikostech. Během procesu fermentace probíhají exotermické reakce a zvyšují teplotu ve skleníku na 50 až 60 °C a podporují tak hygienizaci kalu současně s jeho sušením.



*Obrázek 31: Obracení brázd při skleníkovém solárním sušení kalu
hubercs.cz*



*Obrázek 32: Skleníky solárního sušení kalu
hubercs.cz*

6. Energetické využití odpadních kalů

Neexistuje žádná universální metoda pro nakládání a využívání kalů v ČOV. Lze se setkat s různými variantami a způsoby zpracování kalů.

V zásadě lze zpracování kalů rozdělit na dva základní postupy:

- 1) Zpracování surového kalu (SSK)
- 2) Zpracování vyhnílého kalu

Surový kal je směsí primárního a přebytečného aktivovaného kalu. Tato směs je pokládána za nebezpečný odpad. Tento kal je třeba především stabilizovat a hygienizovat. Zhruba 87 % kalů se zpracovává za pomoci mokré anaerobní stabilizace. Tato metoda je vhodná spíše pro střední až velké ČOV. Vzhledem ke vzniku bioplynu, který je možné energeticky využít, lze předpokládat že i v budoucnu bude tato metoda patřit mezi hlavní technologie na zpracování a stabilizaci kalů.

Vyhnílý kal je kal, který vzniká po anaerobní stabilizaci surového kalu, díky které kal ztrácí svoji hygienickou závadnost a je možné ho kompostovat (pokud neobsahuje např. těžké kovy) anebo ho, pokud to jeho vlastnosti dovolují, ještě spálit.

6.1. Anaerobní metanová fermentace

Při anaerobní stabilizaci kalu metanovou fermentací se organické látky, které se v kalu nacházejí, biologicky rozkládají za nepřístupu vzduchu směsice mikroorganických kultur.

Rozkladem vzniká bioplyn, který je tvořen metanem (60-70%) a oxidem uhličitým (30-40 %) a ostatními prvky jako sulfan, dusík a vodík. Vzniklý bioplyn je možné spalovat, např. v kogeneračních jednotkách a získávat jak mechanickou, tak tepelnou energii. Tato skutečnost je pro ČOV velmi ekonomicky výhodná a zároveň umožňuje snížit spotřebu energie a přispět tak ke snižování skleníkového efektu.

Anaerobní způsoby zpracování kalu jsou známy už velmi dlouho a používají se v ČOV již déle jak sto let. Největší a nejdůležitější roli hraje koncentrace zpracovávaného kalu. Proto je nutné před anaerobním zpracováním aktivovaný kal zahustit jak gravitačně, tak strojně, a zvýšit tak koncentraci sušiny v kalu pro intenzifikaci celého procesu fermentace. Se zahušťováním je také spojeno uvolňování mezibuněčného lyzátu, který je pak při anaerobní metanové fermentaci využíván jako biologický katalyzátor procesu.

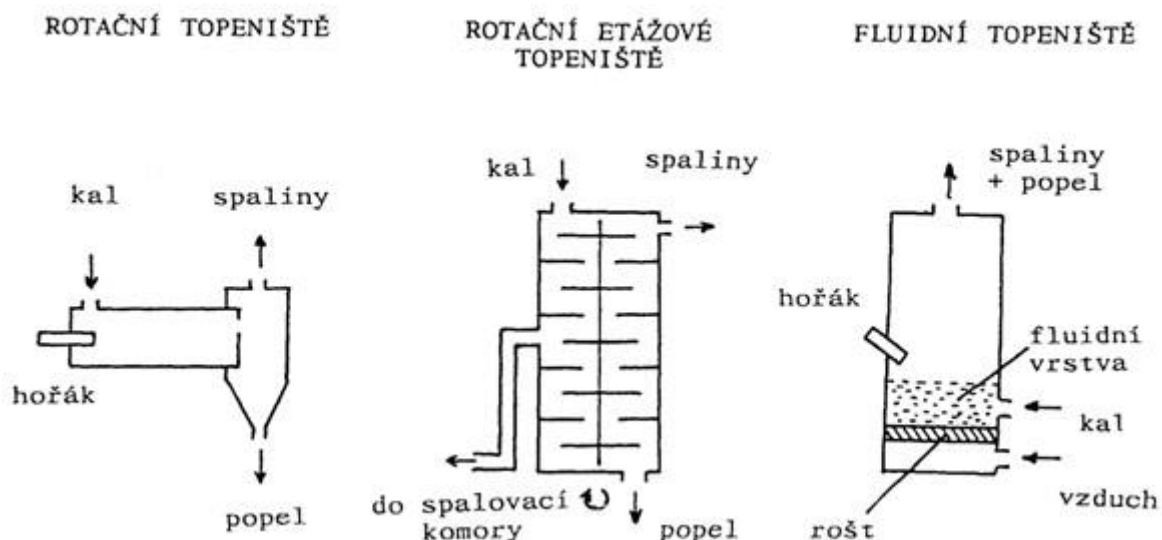
Kolik bioplynu se nám podaří získat závisí na poměru primárního a přebytečného aktivovaného kalu. Čím větší množství přebytečného aktivovaného kalu, tím více nám produkce bioplynu klesá. Důvodem je špatná rozložitelnost buněk mikroorganismů v přebytečném aktivovaném kalu. Při optimálních podmínkách, kdy je celý chod ČOV správně a ekonomicky výhodně řízen, může produkovaná energie z bioplynu zcela pokrýt veškerou spotřebu tepla a elektrické energie, která je na ČOV spotřebovávána.

Po anaerobní metanové fermentaci, nám zůstává vyhnílý kal (fermentační zbytek, digestát, fermentát). Obsahuje zbylé organické látky, které se při procesu fermentace nerozložily, dále látky anorganické a kalovou vodu. V současné době se vyhnílý kal nejvíce používá jako hnojivo v zemědělství.

6.2. Termické využití kalů-spalování

Další možností zpracování kalů je jejich spálení. Spalovat je možno pouze kaly, které obsahují spalitelné složky, které se v kalu mohou vyskytovat jak v tuhé, tak i v kapalně fázi.

Energie produkovaná spalováním kalů je závislá na složení kalu a způsobu spalování. Pokud spalovaný kal obsahuje složky s vysokou výhřevností můžeme kal spalovat samostatně a získat z něj tak využitelnou tepelnou energii. Pokud však spalovaný kal obsahuje velké množství nespalitelných složek, není někdy ani možné proces spalování realizovat. U takovýchto případů je nutné použít palivo s dostatečnou výhřevností na zahájení procesu. Není však výhodné takovéto kaly spalovat, jelikož pálení spalitelných složek nestačí na úhradu ztrát při procesu. Spalovaný kal musí být také co nejdokonaleji odvodněn, aby vzniklá tepelná energie nebyla vynakládána na ohřev a odpařování zbytkové vody.



Obrázek 33: Schémata topenišť
topsys.cz

7. Další možnosti zpracování kalu

7.1. Kompostování

Kompostování využívá biologicky rozložitelné organické látky obsažené v kalu pro vytvoření hnojiva. Tuto přeměnu zajišťují aerobní organismy, které mění organickou hmotu odpadu na humusové složky. Pro zajištění této přeměny je třeba zajistit, aby aerobní organismy měly zajištěn přístup vzduchu, aby mohlo probíhat kompostování.

Při rozkladu polysacharidů, bílkovin a tuků vzniká teplo, které zahřívá kompost na teploty 50–65°C. Při této fázi rozkladu se zvyšuje kyselost kompostu díky velkému hromadění organických kyselin. Úvodní fáze rozkladu trvá zhruba 2–3 týdny. Pokud by se však v kompostu vyskytoval větší podíl dřevní štěpky, mohl by se tento čas prodloužit až na dva měsíce. V další fázi kompostování teplota klesá na 40–45 °C a zároveň se mění kultury mikroorganismů. Původní odpady se již nedají rozpoznat a začínají se tvořit humusové látky. V konečné fázi kyselost kompostu klesá, nabírá hnědou barvu a molekulární váha humusových látek se zvyšuje.



Obrázek 34: Zralý kompost
hobby.blesk.cz

Aby proces kompostování probíhal co nejrychleji a nejvíce intenzivně, musíme zajistit dobrý přístup vzduchu. To se nejčastěji provádí překopáváním kompostu, ale také existují i jiné metody jako tlaková aerace nebo odsávání vzduchu z kompostu přes vzdušný filtr. Čím větší intenzita provzdušňování, tím je kratší zrací doba kompostu. Pokud nejsme schopni zajistit dostatečnou cirkulaci vzduchu, začnou probíhat anaerobní procesy a kompost kysne.

Mikroorganismy zodpovědné za kompostování potřebují pro svou existenci optimální poměr uhlíku a dusíku (C:N) v kompostu. Poměr C:N v čerstvém kompostu se pohybuje okolo 30-35:1 a ve zralém kompostu 25-30:1. Pokud poměr těchto dvou prvků příliš velký, prodlužuje se doba zrání kompostu. Pokud je naopak poměr malý, převyšuje obsah dusíku metabolickou přeměnu mikroorganismů a klesá tak produktivita tvorby humusových látek.

Dalším důležitým faktorem při kompostování je vlhkost čerstvého kompostu. Snažíme se docílit stavu, aby cca 70 % objemu pórovitosti kompostu bylo zaplněno vodou. Při nízké vlhkosti se začíná rozvíjet nevhodná mikroflóra, plísně a aktinomycety. Při vysoké vlhkosti dochází k nedostatku kyslíku a k vývoji anaerobní mikroflóry. U zemitých kompostů je optimální vlhkost stanovena na 50-55 % a u kompostů, kde převažuje dřevní štěpka 65-70 %.

Dalším požadavkem je minimální přítomnost fosforu v sušině a to 0,2 % P_2O_5 . Čerství kompost musí dále obsahovat lehce rozložitelné látky pro počáteční rozvoj mikroorganismů. Proto se často čerství kompost očkuje již dobře zrajícím kompostem.

Technické vybavení kompostáren

Kompostovací systémy rozdělujeme na otevřený a uzavřený. U otevřeného systému se jedná o pevnou základovou plochu s větráním nebo zvýšenou aerací. U uzavřeného systému hovoříme o uzavřených bioreaktorech, které jsou v provozu nepřetržitě nebo periodicky.



Obrázek 35: Překopávač kompostu
bestjh.cz



Obrázek 36: Překopávač kompostu
hitl.cz

Pro kompostování hygienicky rizikových odpadů a vodárenských kalů se převážně používají dva typy diskontinuálních bioreaktorů. Jeden z těchto biofermentorů nabízí firma AGROFUTURE. Jde o mobilní, počítačem řízený, tepelně izolovaný kontejner s předním nebo horním plněním a se zabudovanou vzduchotechnikou s aktivními biologickými filtry. Další biofermentor pochází od firmy AGRONOM a jedná se o reaktory o výšce 4 m, kde je přístup vzduchu zajištěn dvěma ventilátory.

7.2. Kompostování odpadních kalů

Požadavkem ke správnému zpracování kalu je dostatečný obsah živin (dusík, fosfor), vlhkost, schopnost aerace a dobré podmínky pro rozvoj mikroorganismů. Kal nesmí obsahovat žádné viditelné nečistoty jako jsou kusy plastů apod. Aby mohl být kal využit ke kompostování, musí mít vynikající chemické, fyzikální i mikrobiologické vlastnosti. Jestliže má kal velký obsah vody, nemá vhodné podmínky pro růst mikroorganismů. Takovýto kal se může kompostovat, až když je smíchán s jiným vysoce fermentovatelným organickým odpadem, který má naopak malou vlhkost. Kaly s vlhkostí větší než 15 % se dají kompostovat pouze pokud jsou společně ve směsi s kůrou nebo jiným porézním materiálem, který vytváří vhodnou strukturu pro kompostování.

Obsah vody v kompostovatelné směsi odpadů musí být minimálně 55 % a zároveň směs musí obsahovat minimálně 70 % objemu organických složek, aby došlo k účinné biodegradaci. Pokud by směs obsahovala hodně vody (vlhkost 60 % a více) snižovala by se teplota, porozita a klesala by hodnota kyslíku. Naopak ve směsi s vlhkostí 50 % a méně se

snižuje rychlost kompostování. U extrémně malé vlhkosti 10-15 % se aktivita bakterií zcela pozastavuje. Vliv na aktivitu bakterií má také pH. Optimální hodnota pH je mezi 5,5-8. Také je velice důležitý poměr obsahu uhlíku a dusíku v substrátu, který zaručuje optimální růst mikroorganismů. Optimální hodnota takového poměru je pak v rozmezí 25-30:1 (C:N).

7.3.Zemědělské využití kalů

Pro kompostování lze využít vodárenské kaly vzniklé při výrobě pitné vody. Některé vodárenské kaly obsahují organické složky, které ve smíchání s jinými přírodními i syntetickými hnojivy působí pozitivně na zemědělskou půdu. Vodárenský kal musí být zcela netoxický a nesmí obsahovat žádné nebezpečné škodliviny, které by mohli infikovat potravní řetězce.

Nejvíce vhodné pro hnojení jsou odpadní kaly, které obsahují vysoký podíl organických složek. Naopak málo vhodné jsou surové kaly, které obsahují vysoký podíl mikroorganismů, které jsou škodlivé jak pro člověka, tak pro zvířectvo. K hnojení se také používají stabilizované kaly, kde je množství mikroorganismů značně sníženo, ale nejsou zcela vyčištěny.

Důležitý význam pro hnojení půdy pomocí kalů z ČOV má obsah sušiny v kalu. Uspadňuje manipulaci, transport a aplikaci kalu. Dále potlačení organické složky kalu je velmi důležité, pokud chceme zabránit nepříjemným zápachům. Efektivita kalu dále závisí na nutrientech, patogenech, organických mikropolutantech a Ph

Hnojící kal je aplikován stejným způsobem jako voda nebo kejda. Kal je aplikován jednou nebo dvakrát ročně v závislosti na orbě a výsevu a poté je zaorán do půdy.

Kaly, které nevyhovují předpisům a mají v sobě jak podíl škodlivých látek, tak zároveň obsahují i látky prospěšné pro půdu lze upravovat chemicky i biologicky. Touto úpravou je možno nevyhovující kal zbavit škodlivin jako jsou těžké kovy a dosáhnout vyhovující kvality hnojiva.

8. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo popsat a přiblížit základní procesy zpracování a využití kalů v ČOV. Zabýval jsem se proto základními metodami stabilizace a hygienizace čistírenských kalů, zahušťováním a odvodňováním kalů, sušením kalů a také konečnému využití čistírenských kalů v energetice a zemědělství.

Pro moderní a kalové hospodářství je obzvláště důležité mechanické zahušťování přebytečného aktivovaného kalu, anaerobní stabilizace, hygienizace a odvodňování. Využití čistírenských kalů najdeme v zemědělství jako hnojivo, nebo jako termické palivo pro výrobu tepelné energie. Velmi důležitou pozici zastupuje také z hlediska ekonomického i ekologického. Největším plusem je jeho schopnost přeměny na bioplyn, který pak může energeticky zajistit celou ČOV.

Vodárenské kaly mají velmi široké uplatnění v dnešním životě. Proto je nutné technologie zabývající se zpracováním a využitím vodárenských kalů nadále zlepšovat a zdokonalovat. Správné a dobře optimalizované kalové hospodářství je základním kamenem každé moderní společnosti.

Seznam použité literatury

- [1] KYNCL, Miroslav. Technologie, zpracování a využití vodárenských kalů: monografie. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2007, 127 s. ISBN 978-80-248-1604-3.
- [2] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. Vodárenství: Studijní opory. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
- [3] LYČKOVÁ B., Fečko P., Kučerová R.: Problematika zpracování kalů, dostupné na <http://hgf10.vsb.cz>
- [4] KUSÁ H., Růžek P.: Možnosti využití kalů z ČOV v zemědělství, VÚRV Praha 2000
- [5] POKORNÁ T.: Technologie zpracování kalů, dostupné na www.waste.cz
- [6] DOHÁNYOS M. a kol.: Anaerobní čistírenské technologie, NOEL2000 1998
- [7] RACLAVSKÁ H.: Technologie zpracování a využití kalů z ČOV, VŠB-TU Ostrava 2007
- [8] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.

Seznam Obrázků

<u>Obrázek 1:Schéma ČOV biom.cz</u>	7
<u>Obrázek 2: nádrž ATS asio.cz</u>	10
<u>Obrázek 3:Boční provzdušňovač, centrální provzdušňovač, řezač pěny hgf10.vsb.cz</u>	11
<u>Obrázek 4: Technologické schéma hygienizace kalu vápněním kalu fontanar.cz</u>	13
<u>Obrázek 5: Schéma metody AEROTHERM hgf10.vsb.cz</u>	14
<u>Obrázek 6: Schémata zařízení Aerotherm hgf10.vsb.cz</u>	15
<u>Obrázek 7: Technologické schéma pasterizace kalu techpark.sk</u>	15
<u>Obrázek 8: Zahuštěný kal asio.cz</u>	21
<u>Obrázek 9: Zóny v zahušťovací nádrži inkos.cz</u>	21
<u>Obrázek 10: Schéma gravitační zahušťovací nádrže is.mendelu.cz</u>	22
<u>Obrázek 11: Usazovací nádrž mupe.cz</u>	23
<u>Obrázek 12: Kalové pole voda.tzb-info.cz</u>	25
<u>Obrázek 13: Kalové pole s aerací homen.vsb.cz</u>	25
<u>Obrázek 14: Kalová laguna streka.net</u>	26
<u>Obrázek 15: Řez sedimentační nádrží s kolektorem voda.tzb-info.cz</u>	27
<u>Obrázek 16: Pěnová flotace hgf10.vsb.cz</u>	28
<u>Obrázek 17: Schéma zařízení pro zahušťování kalů flotací voda.tzb-info.cz</u>	29
<u>Obrázek 18: 1. přívod suspenze, 2. vnější buben, 3. dopravní šnek, 4. převodovka, 5. výstup kapaliny, 6. výstup sedimentu, 7. motor hgf10.vsb.cz</u>	30
<u>Obrázek 19:Dekantační odstředivka pbsvb.cz</u>	30
<u>Obrázek 20: Schéma šnekového lisu is.mendelu.cz</u>	31
<u>Obrázek 21: Schéma pásového lisu hgf10.vsb.cz</u>	32
<u>Obrázek 22:Pásový lis sekerka.byznysweb.cz</u>	33
<u>Obrázek 23:Komorový kalolis filtrox.sk</u>	34
<u>Obrázek 24: Membránový kalolis http://hgf10.vsb.cz</u>	35
<u>Obrázek 25: Disková sušárna prokop.cz</u>	37
<u>Obrázek 26: Bubnová sušárna fld.czu.cz</u>	38
<u>Obrázek 27: Princip pásové sušárny centrivit.cz</u>	39
<u>Obrázek 28: Pásová fluidní sušárna ANDRITZ centrivit.cz</u>	40
<u>Obrázek 29: Princip fluidní sušárny hgf10.vsb.cz</u>	40
<u>Obrázek 30: Schéma sušícího procesu agrojournal.cz</u>	41

<u>Obrázek 31: Obracení brázd při skleníkovém solárním sušení kalu hubercs.cz</u>	42
<u>Obrázek 32: Skleníky solárního sušení kalu hubercs.cz</u>	42
<u>Obrázek 33: Zralý kompost hobby.blesk.cz</u>	45
<u>Obrázek 34: Překopávač kompostu bestjh.cz</u>	46
<u>Obrázek 35: Překopávač kompostu hitl.cz</u>	47
<u>Obrázek 36: Schémata topenišť topsys.cz</u>	49

Seznam tabulek

<u>Tabulka 1: Mikrobiologická kritéria pro použití kalů na zemědělské půdě (KTJ-kolonie tvořící jednotku)</u>	20
<u>Tabulka 2: Orientační hodnoty střední doby zdržení pro přerušovaně provozované zahušťovací nádrže podle ČSN 75 6401</u>	21