



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

TECHNICKO-EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČOV

TECHNICAL ECONOMICAL VALUATION OF WWTP'S SLUDGE TREATMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Petřík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jiří Petřík
Název	Technicko-ekonomické vyhodnocení kalového hospodářství ČOV
Vedoucí práce	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

- [1] Metcalf & Eddy. Wastewater engineering: treatment and reuse (4th International Edition). McGraw-Hill, New York. 2003. ISBN 0-07-041690-7.
- [2] SHI, Cao Ye. Mass Flow and Energy Efficiency of Municipal Sewage Treatment Plant. London: Intl Water Assn, 2011. ISBN 978-184-3393-825.
- [3] GRADY, C.P.Leslie ; DAIGGER, Glen T. ; LOVE, Nancy G. ; FILIPE, Carlos D.M. Biological Wastewater Treatment, Third Edition, IWA Publishing, 2011. 991 s. ISBN 9780849396793.
- [4] Water Environment Federation Technical Practice Committee. Nutrient Removal, WEF MOP 34 (Water Resources and Environmental Engineering Series). McGraw-Hill Professional. 1 edition. ISBN 9780071737098.
- [5] HLAVÍNEK, P.; MIČÍN, J.; PRAX, P. Příručka stokování a čištění, Brno: NOEL 2000, 2001, ISBN 80-86020-30-4.
- [6] KREJČÍ a kol. Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup, Brno: NOEL 2000, 2002, ISBN 80-86020-39-8.
- [7] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diplomová práce bude zaměřena na vyhodnocení kalového hospodářství ČOV. V první části práce bude zpracován přehled používaných technologií zpracování kalů pro jednotlivé velikostní kategorie.

V druhé části práce bude zpracováno technicko-ekonomické posouzení kalových hospodářství ČOV se zaměřením na spotřebu elektrické energie, investiční a provozní náklady. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na kalové hospodářství čistíren odpadních vod. Rešeršní část práce obsahuje přehled související legislativy, nastiňuje problematiku kalového hospodářství v České republice a také se zabývá technologiemi a technickými řešeními, které souvisí se zpracováním a nakládáním s čistírenskými kaly pro různé velikostní kategorie ČOV.

Druhá část práce je věnována technicko-ekonomickému posouzení čistíren odpadních vod v kategorii od 500 EO do 2 000 EO. Posouzení je zpracováno z reálných dat poskytnutých od provozovatelů ČOV a je zaměřeno na spotřebu elektrické energie, investiční náklady a provozní náklady. Součástí je také určení doby návratnosti při koupi různých typů odvodňovacích zařízení a studie o výhodnosti využívání mobilního či stacionárního odvodňovacího zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

čistírna odpadních vod, kalové hospodářství, kaly, legislativa, odvodnění kalů, stabilizace kalů, zpracování kalů

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on sludge management of wastewater treatment plant. The research work contains an overview of the related legislation, outlines the problems of sludge treatment in the Czech Republic and also deals with technologies and technical solutions that are related to the processing and treatment of sewage sludge for various size categories of wastewater treatment plants.

The second part is devoted to the technical and economic assessment of wastewater treatment plants in the category from 500 EO to 2 000 EO. The assessment is based on real data provided by WWTP operators and focuses on electricity consumption, investment costs and operating costs. Part of the diploma thesis is also determining the rentability of drainage equipment, and studying the convenience of using mobile or stationary drainage equipment.

KEYWORDS

legislation, processing of sewage sludge, sludge dewatering, sludge treatment, sludge, wastewater treatment plants

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jiří Petřík *Technicko-ekonomické vyhodnocení kalového hospodářství ČOV*. Brno, 2018. 129 s., 3 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Jiří Petřík
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu této diplomové práce prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA, za poskytnuté informace, odborné rady a podklady k diplomové práci. Dále také provozovatelů čistíren odpadních vod, za poskytnuté podklady k praktické části diplomové práce a zástupcům firem v oboru vodního hospodářství za poskytnutí informací k technologiím využívaným v kalovém hospodářství čistíren odpadních vod.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	PŘEHLED LEGISLATIVY	13
2.1	DEFINICE TERMÍNŮ.....	13
2.2	PŘEHLED LEGISLATIVY ČR	13
2.2.1	Zákony	14
2.2.2	Vyhlášky, Nařízení vlády a Odvětvové technické normy	18
2.3	PŘEHLED LEGISLATIVY EU	20
3	PŘEHLED TECHNOLOGIÍ PRO PŘEDÚPRVU ČISTÍRENSKÝCH KALŮ PRO JEDNOTLIVÉ VELIKOSTÍ KATEGORIE ČOV.....	22
3.1	CHARAKTERISTIKA ČISTÍRENSKÝCH KALŮ.....	23
3.2	SNÍŽOVÁNÍ PRODUKCE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ.....	24
3.3	ZAHUŠŤOVÁNÍ KALŮ	27
3.3.1	Gravitační zahušťování kalů.....	27
3.3.2	Strojní zahušťování kalů.....	28
3.4	ODVODNĚNÍ KALŮ	29
3.4.1	Gravitační odvodňování kalů.....	30
3.4.2	Odvodňovací vaky	31
3.4.3	Strojní odvodňování kalů	32
3.5	FLOKULANTY	33
4	MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ PRO JEDNOTLIVÉ KATEGORIE ČOV.....	35
4.1	STABILIZACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ	35
4.1.1	Aerobní stabilizace kalů	36
4.1.2	Anaerobní stabilizace kalů	38
4.1.2.1	Teoretické základy anaerobní stabilizace	40
4.1.2.2	Vliv teploty a potřeba tepla	41
4.1.2.3	Míchání v procesu stabilizace.....	42
4.1.2.4	Produkce kalové vody a bioplynu	43
4.1.2.5	Termická kondicionace biomasy	44
4.1.3	Chemická stabilizace kalů	45
4.1.4	Fyzikální stabilizace kalů	46
4.1.4.1	Kondukční sušárny čistírenských kalů	48
4.1.4.2	Konvenční sušárny čistírenských kalů	49
4.1.4.3	Odpadní složky z procesu sušení a nebezpečné aspekty	52
4.2	HYGIENIZACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ.....	53
5	MOŽNOSTI VYUŽITÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ.....	56
5.1	APLIKACE KALŮ NA PŮDU A REKULTIVACE	56
5.1.1	Využití kalů v zemědělství	57
5.1.2	Rekultivace pomocí čistírenských kalů	58
5.2	KOMPOSTOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ	58
5.3	SKLÁDKOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ	60
5.4	TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ	62
5.4.1	Spalování kalů	64
5.4.2	Spoluspalování čistírenských kalů	65
5.4.3	Spalování kalů v cementářské peci.....	67

5.4.4	Mokrý spalování čistírenských kalů	67
5.4.5	Pyrolýza usušených čistírenských kalů	69
5.4.5.1	Mikrovlnná pyrolýza.....	70
5.4.5.2	Biochar	72
5.4.6	Zplyňování čistírenských kalů.....	73
5.4.6.1	Příklad technického řešení zplyňování kalů na ČOV	74
5.4.7	Zpětné získávání fosforu	75
5.5	ENERGETICKÁ BILANCE ČOV	76
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSOUZENÍ KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR PRO ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD OD 500 EO DO 2 000 EO	80
6.1	SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE	83
6.1.1	Přepočítání potřebné elektrické energie na 1 m ³	87
6.2	INVESTIČNÍ A PROVOZNÍ NÁKLADY	88
6.2.1	Investiční náklady kalové koncovky pro ČOV od 500 EO do 2 000 EO.....	90
6.2.1.1	Investiční náklady na odvodnění čistírenských kalů	90
6.2.1.2	Investiční náklady na stabilizaci čistírenských kalů.....	95
6.2.2	Provozní náklady kalové koncovky pro ČOV od 500 EO do 2 000 EO	96
6.2.2.1	Srovnání provozních nákladů porovnávaných ČOV	96
6.2.2.2	Porovnání provozních nákladů odvodňovacích zařízení podle programu společnosti ASIO, spol. s r. o. s určením doby návratnosti.....	101
6.2.3	Ekonomické posouzení odvodnění kalů společností SmVaK a. s.....	106
7	ZÁVĚR.....	112
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	114
	SEZNAM TABULEK	120
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	122
	SEZNAM POUITÝCH ZKRATEK	125
	SEZNAM VELIČIN.....	126
	SEZNAM PŘÍLOH	127
	SUMMARY.....	128
	PŘÍLOHOVÁ ČÁST.....	129

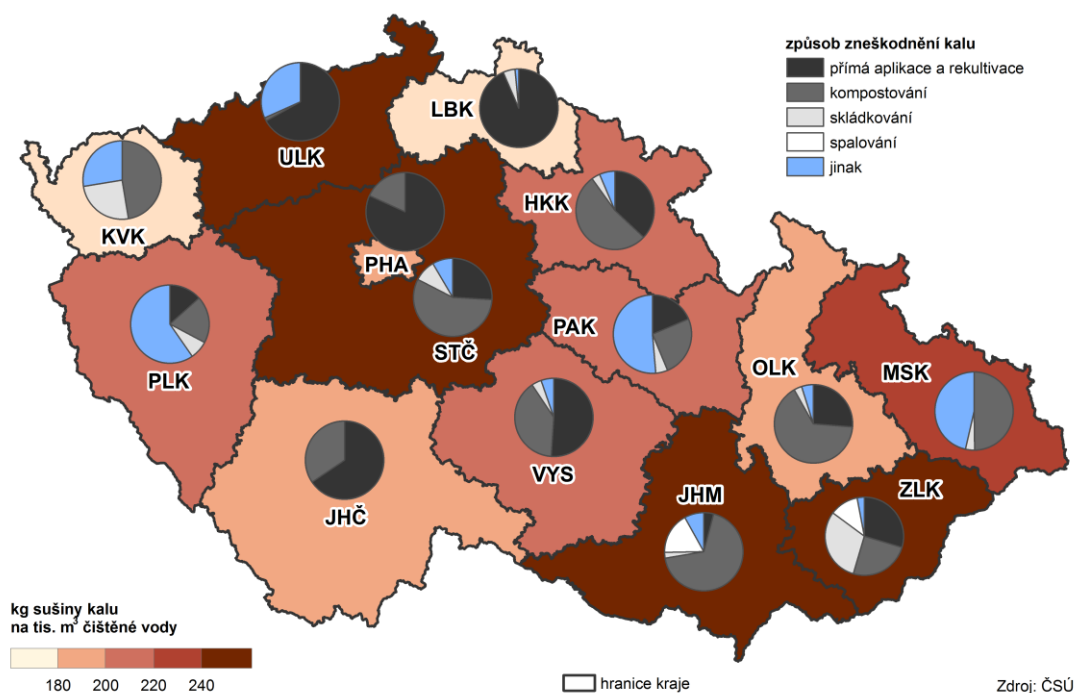
1 ÚVOD

Kalové hospodářství ČOV je v posledních letech hodně diskutované téma a to především kvůli zpříšňující se legislativě ohledně následujícího využití čistírenských kalů. V dnešní době je na trhu nepřeberné množství chemikálií v různých podobách, od aviváží a pracích prášků po léky, které jsou v hojné míře využívány. Všechny tyto látky mají „konečnou stanici“ v odpadních vodách a následně se i přes čisticí procesy dostávají do kalů na čistírnách odpadních vod. Současná legislativa se snaží zabránit aplikování těchto látek na půdy, a tak se dostat například přes potraviny zpět ke spotřebiteli. Výsledkem toho je zpříšňování limitů látek obsažených v čistírenských kalcích a popřípadě i zákaz aplikací těchto kalů na zemědělskou půdu. Aby byl i nadále kal možno vnímat jako obnovitelný zdroj, je snaha zavést do čistírenských procesů takové metody, které by umožnily další využití kalů při co nejmenších negativních dopadech na zdraví člověka a životní prostředí. Odpadová politika ČR i EU odmítá podporovat také skládkování biologicky rozložitelného odpadu, a tak zbývá kaly recyklovat nebo destruovat. I přes to, je v České republice zatím stále v hojné míře využíváno přímé aplikace kalů na půdu a rekultivace a také ukládání kalů na skládku (viz. Obr. 1 a Tab. 1).

Tabulka 1.1: Přehled produkce a zpracování kalů v ČR za rok 2016, zdroj: [2]

území, kraj	produkce kalů ČOV celkem [t]	způsob zneškodnění kalu				
		přímá aplikace a rekultivace [t]	kompostování [t]	skládkování [t]	spalování [t]	jinak [t]
Česká republika	173 709	62 551	65 163	10 183	4 814	30 998
Hl. město Praha	21 887	17 897	3 971	0	0	19
Středočeský	18 603	4 821	10 537	1 669	0	1 576
Jihočeský	10 094	6 527	3 422	56	0	89
Plzeňský	9 113	1 218	1 766	687	0	5 442
Karlovarský	4 046	0	1 918	1 012	0	1 116
Ústecký	17 190	11 482	252	8	0	5 448
Liberecký	5 155	4 819	0	255	1	80
Královéhradecký	9 516	3 515	5 055	334	0	612
Pardubický	7 376	1 377	1 848	362	0	3 789
Vysočina	7 178	3 668	2 840	291	0	379
Jihomoravský	19 168	785	13 084	455	3 302	1 542
Olomoucký	9 994	2 626	6 552	323	0	493
Zlínský	12 801	3 789	3 189	3 925	1 511	387
Moravskoslezský	21 588	27	10 729	806	0	10 026

Kaly produkované provozem čistíren odpadních vod podle krajů ČR v roce 2016



Obrázek 1.1: Přehled produkce a zpracování kalů v ČR za rok 2016, zdroj: [2]

Při čistírenských procesech je vyčištěná voda odváděna do recipientu, kal musí být ale nadále zpracováván podle platné legislativy. Se zpracováním kalů souvisejí jak investiční, tak provozní náklady, což se samozřejmě projeví v ceně za čištění odpadní vody. Pro představu, kaly tvoří 1–2 % z celkového objemu čištěné vody, obsah znečištění je však 50–80 % z objemu přiváděné vody na ČOV, náklady na zpracování kalu tvoří přibližně 50 % z provozních nákladů čistírny odpadní vody. Je mnoho metod umožňujících zpracování čistírenských kalů, jen několik z nich je však z technicko-ekonomického hlediska možné využít. [1]

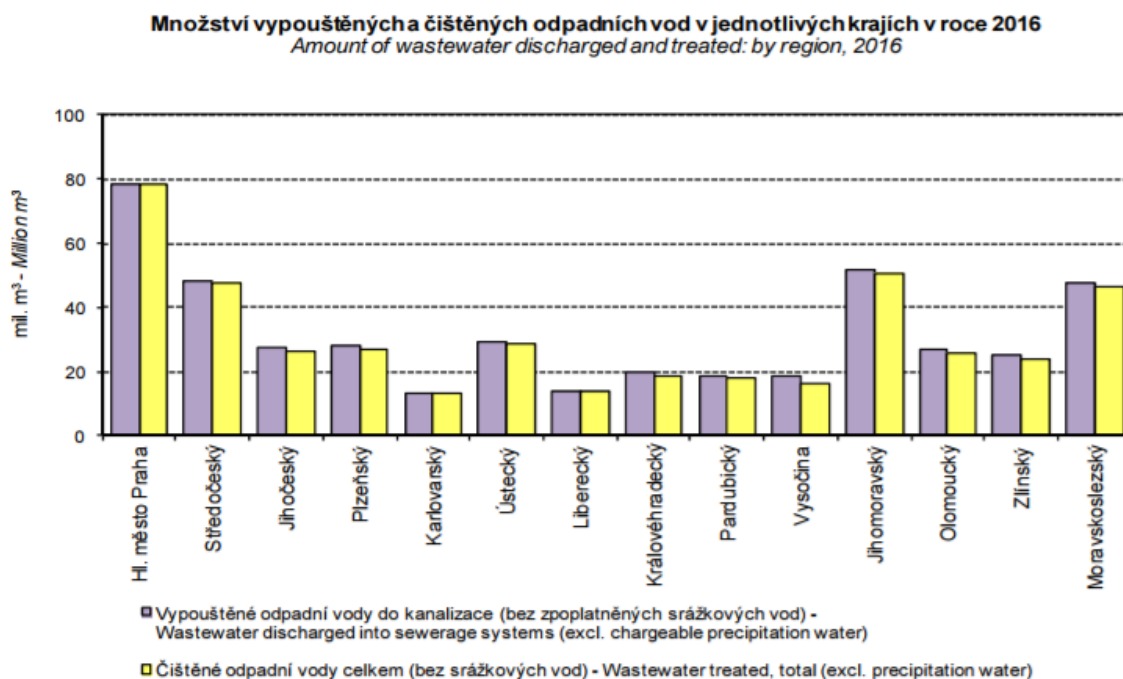
Před samotným využíváním kalů je nutné provést jeho stabilizaci, která sníží množství mikroorganismů, jeho biologickou rozložitelnost a také pachové stopy. Nedílnou součástí stabilizace je odvodnění kalů, popřípadě zahuštění kalů, kde je možno využít několik způsobů. Základním rozdělením je stabilizace aerobní a anaerobní. Aerobní stabilizace je z ekonomických důvodů vhodné využívat na čistírnách odpadních vod s kapacitou přibližně do 30 000 EO. Anaerobní stabilizace čistírenských kalů se využívá na ČOV s kapacitou nad 30 000–50 000 EO. V dnešní době jsme schopni při stabilizaci kalu získávat také bioplyn a s rozvojem technologií se počítá i se separací jiných surovin. Jedním takovým zástupcem je fosfor, jehož zásoby by měly být vyčerpány do roku 2050. [1]

Produkcí kalů nejde zabránit a jejich množství se bude zvyšovat s rostoucími požadavky na kvalitu čištěné vody. [1]

Tato diplomová práce je zaměřena na technicko-ekonomickou stránku dané problematiky. Jsou zde shrnuty základní informace o kalcích, legislativa týkající se tohoto odvětví, přehled možností zpracování a využití kalů podle jednotlivých kategorií čistíren odpadních vod. Druhá část diplomové práce je věnována technicko-ekonomické studii zaměřené na nakládání s kaly na čistírnách odpadních vod kategorie od 500 EO do 2000 EO.

Diplomová práce má za úkol nastínit problematiku zpracování a využití kalů, ukázat jaké jsou možnosti a jejich ekonomickou výhodnost či nevýhodnost. K vyhodnocení poslouží dotazníky vyplněné od provozovatelů čistíren odpadních vod.

V České republice je čištěno, dle údajů ČSÚ za rok 2016, 97,3 % odpadních vod. [2] Technicko-ekonomické zhodnocení vede v praxi k neefektivnějšímu využívání technologií tak, aby byla udržena co nejlepší bilance mezi finančními náklady, zdravím člověka a čistotou životního prostředí.



Obrázek 1.2: Přehled vypouštěných a čištěných odpadních vod v ČR za rok 2016, zdroj: [2]

Voda je nedílnou součástí planety a života na ní. Z tohoto důvodu je zapotřebí věnovat dostatek úsilí jak samotnému čištění odpadních vod, tak nakládání s odpady, které s tímto čištěním souvisejí.

2 PŘEHLED LEGISLATIVY

Čistírenské kaly vznikají při procesu čištění odpadních vod, jsou získávány fyzikálními, chemickými, fyzikálně-chemickými i biologickými procesy. Na jedné straně jsou v kalech obsaženy škodliviny, jako jsou těžké kovy nebo patogenní organismy, na straně druhé jsou čistírenské kaly bohaté na nutrienty a cennou organickou hmotu. [3]

Podle zákona č. 185/2001 Sb. *Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů*, dále jen „zákon o odpadech“, jsou kaly z čištění odpadních vody zařazeny mezi vybrané odpady. [4]

2.1 DEFINICE TERMÍNŮ

- Aerobně stabilizovaný kal – kal stabilizovaný za aerobních podmínek;
- Aerobní stabilizace kalu – aerobní proces snižování množství organických látek v kalu;
- Anaerobně stabilizovaný kal – kal stabilizovaný za anaerobních podmínek;
- Anaerobní reaktor (vyhňovací nádrž) – nádrž na anaerobní stabilizaci kalu;
- Anaerobní stabilizace kalu (anaerobní fermentace, vyhňování) – anaerobní proces snižování množství organických látek obsažených v kalu;
- Biologický kal – kal odstraňovaný z biologického čištění;
- Chemický kal – kal po chemickém procesu;
- Pasterizace – zvyšování teploty po přiměřenou dobu za účelem buď inaktivace mikroorganismů, zvláště patogenů nebo dočasného snížení jejich počtu pod určitou mez po omezenou dobu nebo na hodnotu nižší, než je infekční prahová hodnota.
- Primární kal – kal odstraňovaný z primárního čištění, který se nesměšuje s jinými druhy kalu;
- Sekundární kal – kal odstraňovaný z druhého stupně čištění;
- Směsný surový kal – kal odstraňovaný z primárního čištění, který obsahuje i jiné druhy kalu, např. přebytečný aktivovaný kal;
- Stabilizace – proces, při kterém se organické látky mění na anorganické nebo pomalu rozložitelné organické sloučeniny;
- Stupeň stabilizace – stupeň rozkladu dosažený stabilizací kalu, měří se např. snížením obsahu organických látek;
- Surový kal – nestabilizovaný kal.[5]

2.2 PŘEHLED LEGISLATIVY ČR

Legislativa vodního hospodářství v ČR spadá pod oblast životního prostředí, kde je součástí předpisů upravujících ochranu složek životního prostředí před některými druhy ohrožení. Péče o životní prostředí je ošetřena *ústavním zákonem č. 2/1993 Sb., Listina základních práv a svobod (čl. 35)*, nadřazeným právním předpisem této oblasti je *zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů*. [6]

Další právní předpisy zabývající se problematikou kalového hospodářství na ČOV jsou zákony, nařízení vlády a vyhlášky, které jsou vydávány především Ministerstvem životního prostředí, Ministerstvem zemědělství (spolupráce s Ministerstvem zdravotnictví) a Ministerstvem pro místní rozvoj.

V následujícím výčtu zákonů, nařízení vlády a vyhlášek jsou uvedeny pouze ty, které souvisejí s tématem diplomové práce, tedy s kalovým hospodářstvím ČOV.

2.2.1 Zákony

- *Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů*

Jedná se o právní předpis, který se mimo jiné zabývá také zpracováním kalů čistírenských procesů. Tento zákon je sepsán v souladu s legislativou Evropské unie.

Zákon o odpadech, § 25

(1) Pro účely tohoto zákona se vybranými výrobky, vybranými odpady a vybranými zařízeními rozumí

- odpady perzistentních organických znečišťujících látek a PCB,*
- odpadní oleje,*
- baterie a akumulátory,*
- kaly z čistíren odpadních vod a další biologicky rozložitelné odpady,***
- odpady z výroby oxidu titaničitého,*
- odpady azbestu,*
- autovraky,*
- elektrická a elektronická zařízení.*

(2) Na původce vybraných odpadů a oprávněné osoby, které nakládají s vybranými odpady, se vztahují povinnosti původců a oprávněných osob, pokud dále není stanoveno jinak.

(3) Právnícké osoby a fyzické osoby oprávněné k podnikání, které nakládají s vybranými výrobky nebo odpady nebo provozují vybraná zařízení, jsou povinny poskytovat správním úřadům vykonávajícím působnost na úseku odpadového hospodářství podle části jedenácté na jejich žádost veškeré a pravdivé informace týkající se nakládání s vybranými výrobky, vybranými odpady a informace týkající se provozu vybraných zařízení.[4]

Čistírenské kaly jsou dle zákona o odpadech, § 32 definovány jako biologicky rozložitelný odpad (BRO). [4]

Zákon o odpadech, § 32

Kaly z čistíren odpadních vod a další biologicky rozložitelné odpady

Pro účely této části zákona se rozumí

a) *kalem*

1. *kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících městské odpadní vody nebo odpadní vody z domácností a z jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody stejného složení jako městské odpadní vody a odpadní vody z domácností,*

2. *kal ze septiků a jiných podobných zařízení,*

3. *kal z čistíren odpadních vod výše neuvedených,*

b) *upraveným kalem - kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě, dlouhodobému skladování nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů v kalech, a tím zdravotní riziko spojené s jeho aplikací,*

c) *použitím kalu - zpracování kalu do půdy,*

d) *programem použití kalů - dokumentace zpracovaná v rozsahu stanoveném prováděcím právním předpisem. [4]*

Povinnosti při používání kalů stanovuje § 33 zákona o odpadech. Tento paragraf se vztahuje především na původce využívaných kalů a na osoby, které tyto kaly aplikují. Dále ustanovuje sestavení programu použití kalů ze strany původce a jeho předání osobě, která kaly využívá. [3]

Zákon o odpadech a vyhláška č. 382/2001 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě stanovuje aplikaci pouze upravených kalů se souladem programu využití kalů stanoveného původce. Aplikace kalů nesmí ohrozit životní prostředí ani zdraví člověka. Zákon o odpadech také přesně vymezuje oblasti použití čistírenských kalů. [3]

Zákon o odpadech, § 33

Povinnosti při používání kalů

(1) *Právnícká osoba a fyzická osoba, která užívá půdu, je povinna používat pouze upravené kaly s ohledem na nutriční potřeby rostlin, za podmínek stanovených tímto zákonem a prováděcím právním předpisem a v souladu s programem použití kalů stanoveným původcem kalů tak, aby použitím kalů nebyla zhoršena kvalita půdy a kvalita povrchových a podzemních vod.[4]*

(2) *Původce kalů je povinen stanovit program použití kalů a v tomto programu doložit splnění podmínek použití kalů stanovených tímto zákonem a prováděcím právním předpisem. Program použití kalů je povinen předat osobě uvedené v odstavci 1. [4]*

(3) Použití kalů je zakázáno

- a) na zemědělské půdě, která je součástí chráněných území přírody a krajiny podle zvláštního právního předpisu,*
- b) na lesních porostních půdách běžně využívaných klasickou lesní pěstební činností,*
- c) v pásmu ochrany vodních zdrojů, na zamokřených a zaplavovaných půdách,*
- d) na trvalých travních porostech a travních porostech na orné půdě v průběhu vegetačního období až do poslední seče,*
- e) v intenzivních plodících ovocných výsadbách,*
- f) na pozemcích využívaných k pěstování polních zelenin v roce jejich pěstování a v roce předcházejícím,*
- g) v průběhu vegetace při pěstování píce, kukuřice a při pěstování cukrové řepy s využitím chrástu ke krmení,*
- h) jestliže z půdních rozborů vyplývá, že obsah vybraných rizikových látek v průměrném vzorku překračuje jednu z hodnot stanovených v prováděcím právním předpisu,*
- i) na půdách s hodnotou výměnné půdní reakce nižší než pH 5,6,*
- j) na plochách, které jsou využívány k rekreaci a sportu, a veřejně přístupných prostranstvích, nebo*
- k) jestliže kaly nesplňují mikrobiologická kritéria daná prováděcím právním předpisem. Použití mikrobiálně kontaminovaných kalů může být provedeno pouze po prokázání hygienizace kalů.*

(4) Ministerstvo ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem zdravotnictví stanoví vyhláškou

- a) technické podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě,*
- b) mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v půdě,*
- c) mezní hodnoty koncentrací těžkých kovů, které mohou být přidány do zemědělské půdy za 10 let,*
- d) mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v kalech pro použití na zemědělské půdě,*
- e) mikrobiologická kritéria pro použití kalů*
- f) postupy analýzy kalů a půdy, včetně metod odběru vzorků,*
- g) obsah programu použití kalů. [4]*

Zákon o odpadech, § 33a definuje biologicky rozložitelný odpad, biologický odpad a zařízení pro biologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů. [4]

Zákon o odpadech, § 33a

Pro účely této části zákona se rozumí

- a) biologicky rozložitelným odpadem - jakýkoli odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu,*

- b) biologickým odpadem - biologicky rozložitelný odpad ze zahrad a veřejné zeleně, potravinářský a kuchyňský odpad z domácností, restaurací, stravovacích nebo maloobchodních zařízení a srovnatelný odpad ze zařízení potravinářského průmyslu,*
- c) zařízením pro biologické zpracování biologicky rozložitelných odpadů - zařízení pro aerobní nebo anaerobní rozklad biologicky rozložitelných odpadů.[4]*

Zákon o odpadech § 33b určuje povinnosti biologického zpracování biologicky rozložitelných odpadů.

Zákon o odpadech, § 33b

(1) Provozovatel zařízení ke sběru, výkupu nebo využívání biologicky rozložitelných odpadů je povinen

a) provozovat toto zařízení se souhlasem k provozování zařízení a s jeho provozním řádem podle § 14 odst. 1, s výjimkou zařízení, které zpracovává využitelné biologicky rozložitelné odpady pro jednu zakładku v množství nepřekračujícím 10 tun těchto odpadů za rok (dále jen "malé zařízení"); roční množství biologicky rozložitelného odpadu zpracované malým zařízením nesmí přesáhnout 150 tun,

b) provozovat malé zařízení na základě kladného vyjádření obecního úřadu obce s rozšířenou působností podle § 79 odst. 4 písm. e) a v souladu se zvláštními právními předpisy na ochranu zdraví lidí a životního prostředí, v souladu s nimiž je zařízení zřízeno a provozováno,

c) upravené biologicky rozložitelné odpady hodnotit a zařazovat postupy a metodami stanovenými prováděcím právním předpisem a v souladu s ním je označit a vybavit návodem k použití,

d) upravené biologicky rozložitelné odpady, které nelze zařadit do žádné ze skupin stanovených prováděcím právním předpisem, a zbytkový odpad po úpravě biologicky rozložitelného odpadu, který již není odpadem podléhajícím biologickému rozkladu, předat k využití nebo odstranění oprávněné osobě podle § 12 odst. 3.

(2) Zařazení biologicky rozložitelného odpadu podle jeho skutečných vlastností, složení a způsobu materiálového využití do některé ze skupin stanovených prováděcím právním předpisem, jeho označení a vybavení návodem k použití je jeho konečným materiálovým využitím podle § 4 písm. m).

(3) Ministerstvo ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství a Ministerstvem zdravotnictví stanoví prováděcím právním předpisem.

a) seznam biologicky rozložitelných odpadů,

b) způsoby biologického zpracování biologicky rozložitelných odpadů,

c) technické požadavky na vybavení a provoz zařízení biologického zpracování biologicky rozložitelných odpadů v závislosti na množství a druhu v něm upravovaných biologicky rozložitelných odpadů,

d) technologické požadavky na úpravu biologicky rozložitelných odpadů,

e) obsah provozního řádu zařízení,

f) požadavky na kvalitu odpadů vstupujících do technologie materiálového využívání biologicky rozložitelných odpadů,

g) *způsob a kritéria hodnocení a zařazování upravených biologicky rozložitelných odpadů do skupin podle způsobů jejich materiálového využití,*

h) *limitní hodnoty koncentrací cizorodých látek a indikátorových organismů ve výstupech ze zařízení pro biologické zpracování odpadů, metody stanovení koncentrací cizorodých látek,*

i) *četnost a metody vzorkování, označování skupin podle způsobu jejich biologického zpracování a kritéria hodnocení upraveného biologicky rozložitelného odpadu jako dále již biologicky nerozložitelného odpadu. [4]*

- *Zákon 156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)*

Tento právní předpis je v souladu s předpisy Evropské unie. Zákon mimo jiné stanovuje použití upravených kalů na zemědělskou či lesní půdu. [46]

2.2.2 Vyhlášky, Nařízení vlády a Odvětvové technické normy

- *Vyhláška 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů*

Tento právní předpis zpracovává údaje dle směrnic Evropské unie, *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic. Rozhodnutí Komise 2014/955/EU ze dne 18. prosince 2014, kterým se mění rozhodnutí 2000/532/ES o seznamu odpadů podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES. Kalům z čistírenských procesů komunálních odpadních vod uděluje kód 19 08 05. [7]*

- *Vyhláška 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady) [8]*

Tato vyhláška vymezuje kompletně použití kalů na zemědělských půdách od programu použití kalů až po metody odběrů vzorků. Součástí této vyhlášky jsou také *Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů).*[8]

Tabulka 2.1: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů), [8]

riziková látka	mezní (maximální) hodnoty koncentrací v kalech [mg/kg sušiny]
As - arzén	30
Cd - kadmium	5
Cr - chrom	200
Cu - měď	500
Hg - rtuť	4
Ni - nikl	100
Pb - olovo	200
Zn - zinek	2500
AOX	500
PCB (suma 7 kongenerů) 28+52+101+118+138+153+180	0,6
PAU (suma antracenu, benzo(a) antracenu, benzo(b) fluoranthenu, benzo(k) fluoranthenu, benzo(a) pyrenu, benzo(ghi) perylenu, fenantrenu, fluoranthenu, chrysenu, indeo(1,2,3 - cd)pyrenu, naftalenu a pyrenu)	10

Tabulka 2.2: Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě, zdroj: [8]

indikátorový mikroorganismus	jednotky	počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu	limitní hodnota (nález/KTJ*)
Salmonella spp.	nález v 50g	5	negativní
Escherichia coli nebo enterokoky	KTJ* v 1 gramu	5	4
			1

Vyhláška se také okrajově dotýká následujících vyhlášek a nařízení vlády:

- *Zákon č. 334/1992 Sb., České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu*
- *Vyhláška č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě*
- *Nářízení vlády č. 262/2012Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu*
- *Nářízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech [9]*

Problematikou čistírenských kalů se také zabývají odvětvové technické normy.

- *TNV 75 8090 „Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod“*

Jedná se o dokument z února roku 2015, který stanovuje zásady pro navrhování a provozování hygienizace kalů z čistíren odpadních vod ve vztahu k různým způsobům jejich využití. [30]

2.3 PŘEHLED LEGISLATIVY EU

Českou legislativu bylo třeba upravit do souladu s Evropským společenstvím. Právní začlenění do směrnic EU proběhlo ve dvou krocích, před vstupem České republiky do EU a další po vstupu ČR do EU. [10]

Problematikou odpadních vod se zabývá *Směrnice Rady 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod*, ze dne 21. května 1991. Zavedením této směrnice došlo k výraznému zvýšení produkce kalu. Je to dáno jednak nastavenými limity pro kvalitu vypouštěných odpadních vod, ale také nárůstem počtu připojených domácností na kanalizační sítě. Za 13 let platnosti směrnice došlo ke zvýšení produkce čistírenského kalu zhruba o 3,5 milionů tun sušiny za rok. Konkrétně se čistírenským kalům věnuje článek 14, který uvádí, že by kaly měly být v maximální míře recyklovány. Jejich využití však záleží na jejich kvalitě a musí být zajištěna ochrana životního prostředí. Zakazuje použití těchto kalů, pokud obsahují nadlimitní množství těžkých kovů a dalších vybraných prvků. [11]

Další směrnicí zabývající se kaly z čistíren odpadních vod je *Směrnice Rady 86/278/EHS ze dne 12. června 1986 o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství*. Tato směrnice stanovuje použití čistírenských kalů tak, aby nedošlo k působení škodlivých účinků na půdu, rostliny, zvířata a člověka. [12] Směrnice zavádí například limity pro obsah těžkých kovů v aplikovaných kalech, ale neřeší mikrobiologickou kvalitu. Tento ukazatel nechává na každém členském státu, aby byl upraven podle místních podmínek. [3]

Během platnosti směrnice už byl dvakrát podán návrh novelizace, ovšem oba návrhy byly staženy pro nedostatečně podrobné informace. Hlavním důvodem bylo upřesnění dalších polutantů, které by se mohly vyskytovat v kalech z ČOV a způsobit kontaminaci půdy a vodního prostředí. Většina států EU si vytvořila vlastní směrnice s ohledem na směrnici EU 86/278/EEC. [3]

Směrnice 91/676/EHS ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů je implementována do zákona č. 254/2001 Sb., nařízení vlády č. 262/2012 a zákona o hnojivech č. 156/1998 Sb. [13] Tato směrnice se dotýká kalového hospodářství v článku 2, odst. e), kde zařazuje kaly z ČOV mezi hnojiva. Tímto nařizuje nevyužívat kaly jako hnojiva v nevhodném období, na velmi strmých pozemcích, na zmrzlé, podmáčené nebo sněhem pokryté půdě. [3]

Směrnice rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů podporuje zpětné využití odpadů a omezuje biologicky rozložitelných odpadů na skládky. Ze směrnice vyplývá, že skládkování není považováno za udržitelný přístup. [3]

Směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky, nesouvisí přímo s kalovým hospodářstvím, ale výrazně omezuje množství dusíku a fosforu

ve vypouštěných odpadních vodách. Tímto dojde ke zvýšení těchto složek, především fosforu, v čistírenských kalech. [3]

Nařízení Evropského parlamentu a rady 2006/1907/2006 ze dne 18. prosince o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek (REACH), má nepřímý vliv na složení čistírenských kalů, ale podle tohoto nařízení by mělo postupně docházet k úbytku některých chemických látek v kalech. [3]

Následující právní předpisy se dotýkají kalového hospodářství pouze okrajově:

Směrnice Evropského parlamentu a rady 2008/98 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic

Nařízení Komise (ES) č. 466/2001 ze dne 8. března 2001, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách

Nařízení rady (ES) 834/2007 ze dne 28. června 2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů a o zrušení nařízení (EHS) č. 2092/91

Rozhodnutí Komise 2006/799 ze dne 3. listopadu 2006, kterým se stanoví revidovaná ekologická kritéria a související požadavky na posuzování a ověřování pro udělení ekoznačky Společenství pomocným půdním látkám [3]

Evropská unie směřuje k oběhové politice a to nejen co se týká kalového hospodářství. Tyto kroky výrazně podporují recyklovatelnost odpadů. Podle mého názoru je tento přístup správný a vytváří se nátlak na vývoj nových postupů a technologií, které prospějí nám a také životnímu prostředí.

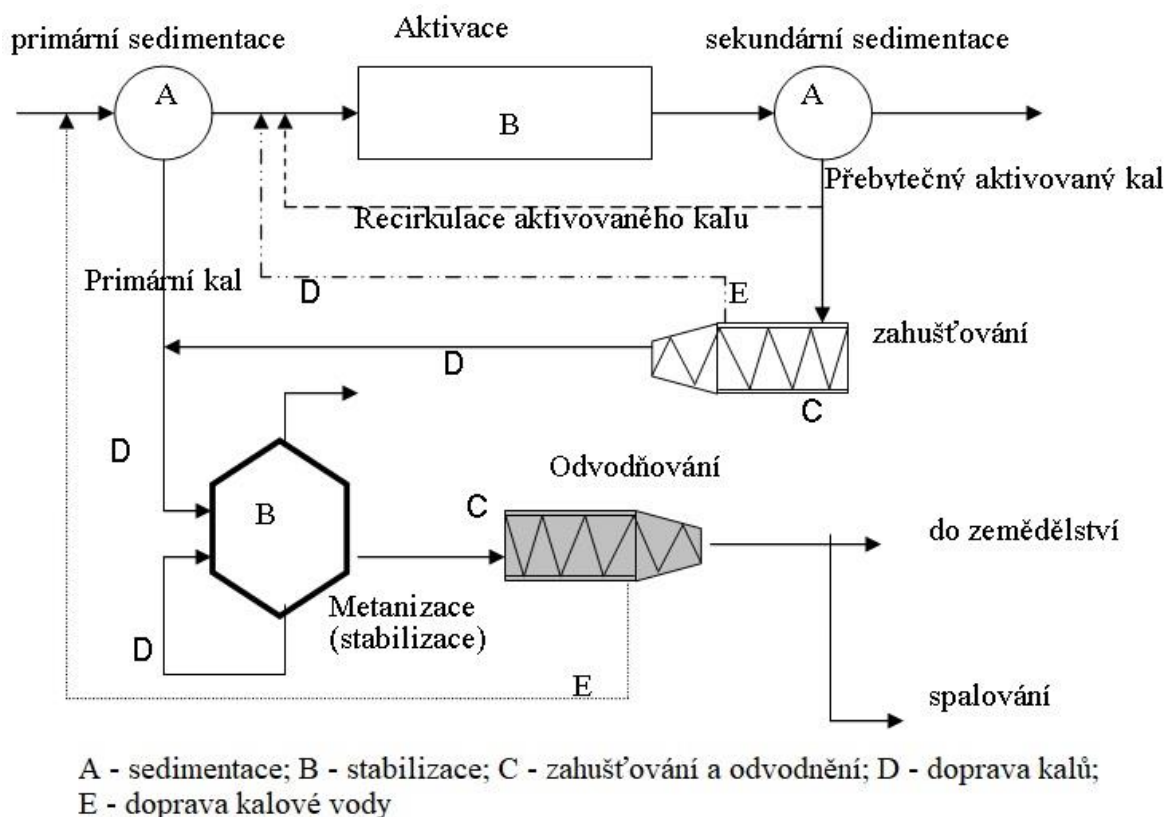
3 PŘEHLED TECHNOLOGIÍ PRO PŘEDÚPRVU ČISTÍRENSKÝCH KALŮ PRO JEDNOTLIVÉ VELIKOSTÍ KATEGORIE ČOV

Odpadní vody jsou zpracovávány takovým způsobem, aby došlo k odbourání nežádoucích složek, a tyto složky jsou základem pro kaly z ČOV. Kaly obsahují primární kal ze sedimentačních nádrží a přebytečný kal z procesu biologického čištění. Složení čistírenských kalů závisí na složení odpadních vod a na používaných technologiích, které určují jejich kvalitativní vlastnosti. [14]

Zpracování kalů je ekonomicky náročné a připadá na něj více jak 50 % provozních nákladů čistíren odpadních vod. Je tedy zapotřebí nalézt vyváženou situaci mezi náklady na zpracování a ochranou životního prostředí. Jak bylo zmíněno, dochází také k právním úpravám, které požadují přísnější limity pro používání čistírenských kalů, a tak je zapotřebí takových technologií, které budou limity splňovat za ekonomicky vhodných podmínek. [14]

V zásadě jsou dvě základní možnosti jak s kaly naložit, využít recyklaci nebo destrukční metody. Recyklaci kalů je míněno jejich využití v zemědělství jako hnojiva, materiál pro vylepšení kvality půd nebo pro rekultivaci půd. Destrukční metody zahrnují spalování kalu bez dalšího užitku, spalování s využitím energie, zplyňování nebo využití kalu jako procesní palivo. Další možností je kompostování a v některých zemích stále ještě skládkování, které není v dnešní době nikterak podporováno a v ČR je nyní už zakázáno. [14]

Před samotným zpracováním kalu je však nutné nejdříve jeho odvodnění, pro některé využití je nutné i sušení kalů, jejich stabilizace a hygienizace. Tyto postupy jsou zaměřeny na snižování obsahu vody, snížení pachových stop a výskyt patogenních organismů. V současné době se už objevují technologie například na odstraňování těžkých kovů z kalů. Jedná se však o řešení, které není možné z ekonomických důvodů zatím plošně využívat. [14]



Obrázek 3.1: Schéma kalového hospodářství, zdroj: [14]

3.1 CHARAKTERISTIKA ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Kaly jsou složeny ze suspenze pevných látek a agregovaných koloidních látek, které se vyskytovaly v původních odpadních vodách a také vznikly během čistících procesů. Dle legislativy jsou kaly rozděleny do dvou kategorií, I. a II., respektive A a B. Příslušná kategorie je rozhodující pro konečné zpracování kalu. Koncentrace kalů je vyjádřena jako obsah sušiny kalů, tato koncentrace se vyjadřuje buďto v procentech [%] nebo v gramech na litr [g/l]. [14] Čistírenské kaly jsou složeny z kalu primárního a kalu přebytečného. V kalech jsou obsaženy následující složky:

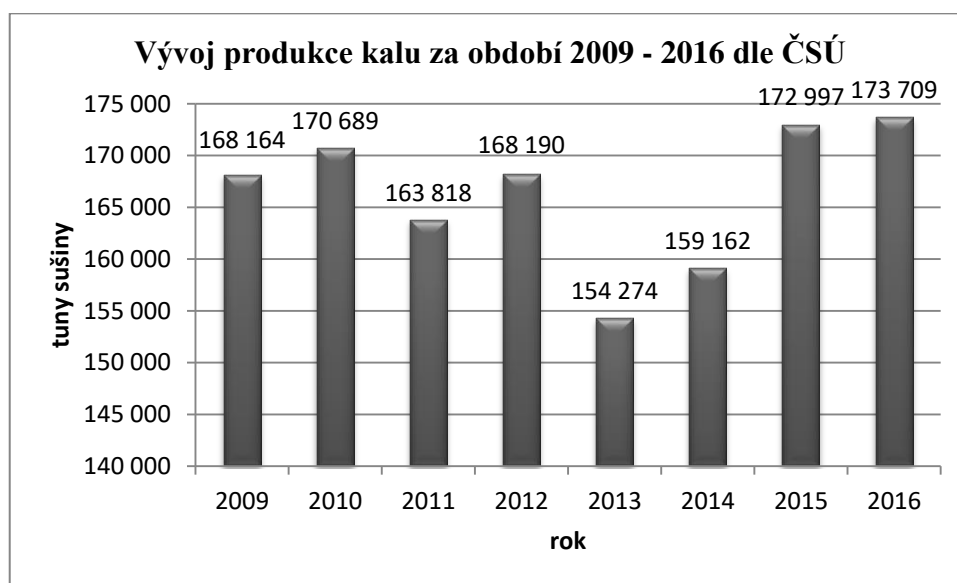
- netoxické látky – organické látky (až 60 % v sušině), dusík, fosfor;
- toxické látky – těžké kovy (Zn, Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg, As), PCB, PAU, dioxiny, pesticidy, alkylsulfenoly, polyfenoly, patogenní a jiné organismy;
- organické látky;
- anorganické sloučeniny – Si, Al, Ca, Mg a jiné;
- vodu. [15]

Primární kal je na kalovou koncovku ČOV přiváděn z primární sedimentace. Má zpravidla zrnitou strukturu. Je složen z usaditelných látek ze surové odpadní vody, obsahuje nerozpuštěné látky, které prošli lapákem písku a česlemi. Koncentrace tohoto kalu bývá v rozmezí 2,5–50 g/l. Primární kal obsahuje také značné množství koloidních látek a tím je schopen vázat vodu a udržovat ji. Vysoušení takového kalu je obtížné. [16]

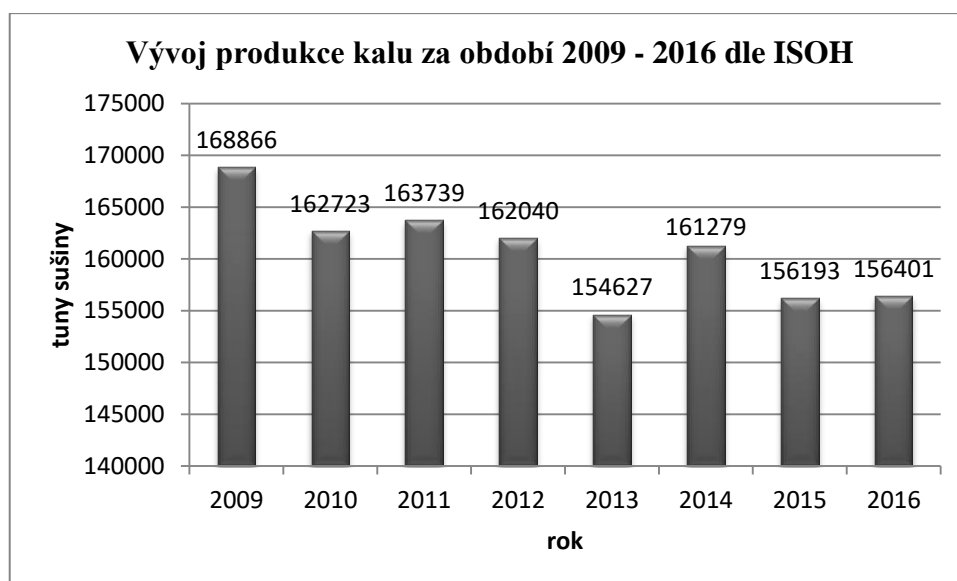
Přebytečný kal neboli kal sekundární je tvořen biomasou z biologického procesu čištění a kalem z dosazovacích nádrží. Kal má vločkovitou strukturu, která je ovlivněna použitou technologií. Podstatný vliv na složení má původní odpadní voda. [16]

3.2 SNIŽOVÁNÍ PRODUKCE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Legislativa Evropské unie i České republiky zpřísňuje limity nejen pro kaly používané například v zemědělství, ale také pro vypouštění vyčištěných odpadních vod. Těmito kroky se snažíme chránit sebe i životní prostředí, ale také jsou příčinou zvyšování produkce čistírenských kalů. Na druhé straně je snaha, nejen od Evropské unie, minimalizovat produkci kalů z ČOV. V následujících grafech jsou vyneseny produkce čistírenských kalů v ČR od roku 2009 do současnosti. První graf vychází z dat Českého statistického úřadu [2], druhý graf využívá data Informačního systému odpadového hospodářství Ministerstva životního prostředí [44]. Poskytnutá data se docela zásadně rozcházejí v letech 2010 a 2012, především však v posledních dvou letech, tedy roky 2015 a 2016, kde rozdíl tvoří téměř 20 000 tun sušiny za rok. Dle mého osobního názoru, bych se přikláněl k datům publikovaných Českým statistickým úřadem. Rok 2015 byl požadavkem rámcové směrnice Evropské unie pro dokončení čistíren odpadních vod pro obce do 2 000 EO. I když řada projektů dokončena nebyla a možná získala odklad i o několik let, podle mého názoru dokončené stavby mohly ovlivnit produkci kalů v České republice.



Obrázek 3.2: Produkce kalu v ČR za období 2009–2016 dle údajů ČSÚ, zdroj: [2]



Obrázek 3.3: Produkce kalu v ČR za období 2009–2016 dle údajů ISOH, zdroj: [44]

Před samotnou předúpravou čistírenských kalů je snaha o jejich minimalizaci, tento proces lze z určitého pohledu nazvat také procesem předúpravy. Minimalizace kalů lze dosáhnout zabráněním nebo regulací tvorby kalů, snížení jejich produkce během zpracování, likvidačními postupy popřípadě alternativními způsoby čištění odpadních vod. [45]

Snížení produkce kalů je možno dosáhnout zvýšením intenzity aerace, koncentrace a zvýšením hodnoty stáří kalu. Pokud je kal vyššího stáří, dochází k menší produkci biomasy. Probíhají endogenní respirační procesy a více organického uhlíku se vyskytuje ve formě oxidu uhličitého. V aktivační nádrži je udržována vyšší koncentrace kalu, což sebou přináší větší objem aktivační nádrže a také větší spotřebu kyslíku. Na druhé straně lze ušetřit za manipulaci s kalem a za jeho likvidaci. Tato tzv. dlouhodobá aktivace vykazuje menší objemové zatížení kalu, a také podstatně menší produkci přebytečného kalu. [66]

Zabránění a regulace tvorby kalů je také možno dosáhnout oddělením fází katabolismu a anabolismu, tedy fází, kde dochází k rozkladům z látek složitějších na látky jednodušší (katabolismus) a naopak z látek jednodušších se reakcemi stávají látky složitější (anabolismus). Toto oddělení je možné například chemickými odpřahovači, jako je amoniak. [45]

Další možností je začlenění anaerobního stupně na potrubí pro vratný kal. Mikroorganismy procházející anaerobním stupněm následně v aktivačním procesu nesyntetizují a dochází ke stimulaci katabolické aktivity, čímž je oddělen katabolismus od anabolismu. Takto provedené odpřažení má za následek minimalizovaný výtěžek kalu. [45]

Membránové reaktory využívají vyšší stáří kalu, který je tím pádem méně zatížený. Mikroorganismy spotřebují na pokrytí základních životních funkcí i ty části, které by

za normálních podmínek byly využity na růst. Koncentrace kalu není limitována sedimentačními vlastnostmi, a proto je možné, aby koncentrace sušiny aktivovaného kalu (X) dosahovala hodnot až 25 kg/m^3 . U membránových reaktorů je možné snížit až pětkrát objem aktivace a také je výrazně sníženo látkové zatížení kalu (Bx). Stáří kalu dosahuje vysokých hodnot a podíl organické sušiny tvoří až 70 % aktivovaného kalu. [45][66]

Buněčná lyze je proces rozrušování buněčných stěn probíhající přirozenou cestou nebo za pomoci enzymů. Část uvolněného uhlíku odchází do ovzduší jako oxid uhličitý, a tím se snižuje celkové množství produkované biomasy. Na podobném principu pracuje ozonizace, která se do technologické linky umísťuje paralelně, protiproudě vůči aktivaci. Ozonizace funguje na principu transformace. Buněčné membrány přebytečného kalu jsou zničeny a uvolňuje se vnitro-buněčný materiál do kapalné fáze. Jedná se o aerobní biologickou oxidaci. Při procesu dochází k uvolňování BSK a CHSK, což zvyšuje spotřebu kyslíku přibližně o $1,2 \text{ kg/kg (O}_2\text{/X)}$. [45][66]

Co se samotné aktivace týká, je možnost nasazení vyšších organismů (protozoa, metazoa), kteří likvidují bakterie, přitom rozklad substrátu zůstává neovlivněn, jejich přítomností se podstatně snižuje množství biomasy. Minimalizace v průběhu zpracování lze dosáhnout zvýšením biologické rozložitelnosti substrátu pomocí dezintegrace, která může být provedena biologicky (enzymová lyze), mechanicky (kulové mlýny), fyzikálně (ionizující záření) nebo chemicky (kyselá nebo alkalická hydrolyza). Další možností je intenzifikace anaerobních procesů zvýšením teploty a prováděním stabilizace v termofilní oblasti, využití fázování procesu nebo zapojení duálního systému (autotermní aerobní předúpravy) do technologické linky. V prvním stupni dochází k odstraňování BSK, ve druhém je vysoké stáří kalu, které podporuje růst protozoa a vírníků. Díky jejich růstu dochází kromě odstraňování volných bakterií, také k transformaci kalu na energii, vodu a CO_2 . Výrazné snížení tvorby biomasy je možné také za pomoci anaerobního předčištění. [45]

Mezi likvidační procesy patří metody zařazené do kapitoly termického zpracování čistírenských kalů.

Alternativními postupy při čištění odpadních vod rozumíme kombinaci anaerobního a aerobního biologického čištění s anaerobní stabilizací kalu, kombinaci fyzikálně chemických a biotechnologických metod, popřípadě decentralizovaný systém odvodnění a znovuvyužití. [45]

V současné době je možno využívat několik metod pro eliminaci čistírenských kalů. Volba metody záleží především na lokálních podmínkách a také samozřejmě na ekonomické stránce věci.

3.3 ZAHUŠŤOVÁNÍ KALŮ

Zahušťování kalů je proces těsně předřazený jeho odvodňování. Jedná se o schopnost kalu zvýšit koncentraci obsahu tuhých částic a to až trojnásobně. Zahušťování je prováděno filtrací, centrifugací nebo gravitačním způsobem. Gravitační a mechanické zahušťování kalů snižuje jeho objem odvedením vody, tím jsou také nižší náklady na další zpracování. Tento proces má být zařazen ihned po separaci kalu. Jsou navrhovány zahušťovací nádrže s kontinuálním nebo přerušovaným provozem. Obecně lze říci, že primární kal lze zahustit v rozmezí 6–8 % a biologické kaly v rozmezí 3–6 %. Střední doba zdržení sušiny v nádržích nemá být delší než doba zdržení, po které by následoval rychlý anaerobní rozklad látek. V následující tabulce je pro názornost ukázána doporučená střední doba zdržení podle normy „ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro více než 500 ekvivalentních obyvatel“. [16]

Tabulka 3.1: Orientační hodnoty střední doby zdržení pro přerušovaně provozované zahušťovací nádrže podle ČSN 75 6401, zdroj: [16]

druhu 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

Na trhu jsou také zařízení, která dokáží kal zahustit a následně odvodnit. Tento způsob výrazně šetří prostor i náročnost na obsluhu, protože dokáží pracovat v automatickém režimu.

3.3.1 Gravitační zahušťování kalů

Gravitační zahušťování kalů je založeno na rozdílné specifické hmotnosti částic kalu a vody. U tohoto typu zahušťování je možno využít zahuštění přímo v procesu nebo oddělené zahušťování kalů. [16]

Zahušťování v procesu probíhá především u primárního kalu, vzniká v kalovém prostoru usazovací nádrže. Oddělené gravitační zahušťování lze použít jak pro primární kal, tak pro kal chemický i biologický. Oddělené zahušťování má větší účinnost pro kaly z biologického stupně čištění s biomasou přisedlou než s biomasou ve vznosu. [16]

Nádrže pro gravitační zahušťování jsou obvykle kruhové. Suspenze je přiváděna do středu nádrže, zahuštěný kal je odtahován ze dna a kalová voda je vrácena před stupeň zahušťování. [16]

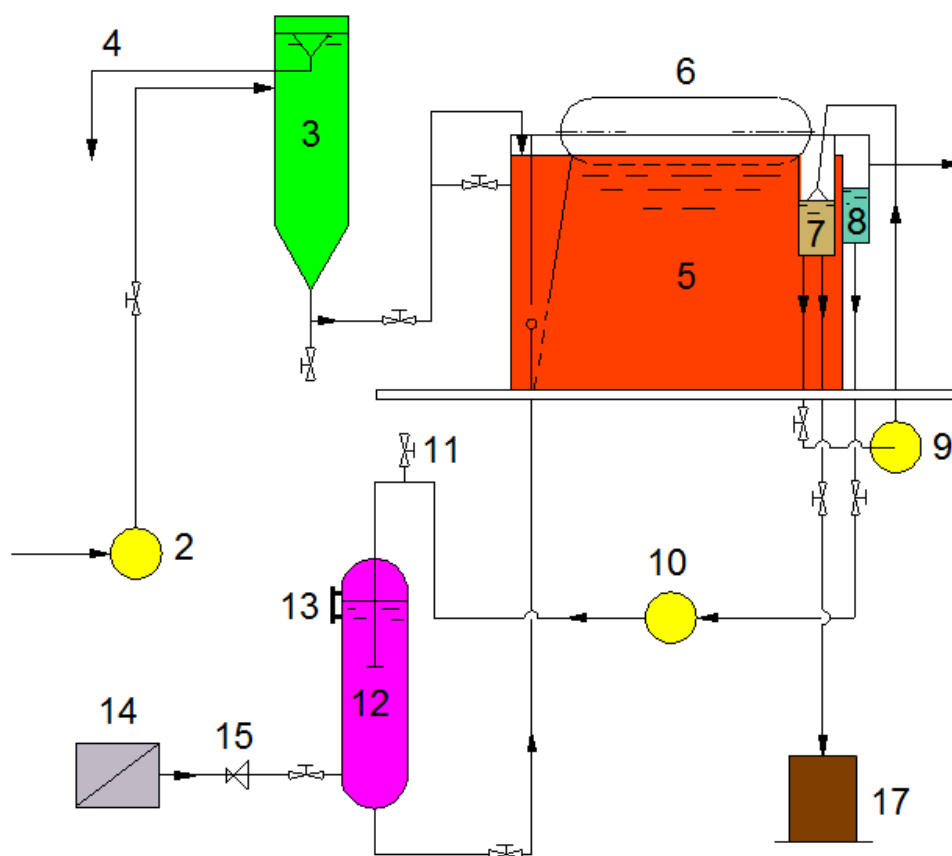
Ojedinele je na některých čistírnách odpadních vod, především s menší produkcí kalů, využíváno pytlovací zařízení pro zahuštění kalové suspenze. [61]

Gravitační zahušťování čistírenských kalů je vhodné, pokud se tímto způsobem dosáhne požadovaných koncentrací. [16]

3.3.2 Strojní zahušťování kalů

Mezi strojní zařízení, které lze využívat pro zahuštění kalů patří například flotační jednotka, odstředivky nebo sítopásové lisy. [16]

Proces fyzikální flotace umožňuje odstranit z odpadní vody větší množství nerozpuštěných látek. Principem je provzdušňování odpadní vody. Bublinky stoupající skrz čištěnou vodu, vlivem adhezních sil na sebe navážou suspendované částice a vynesou je k hladině, kde poté dochází k jejich stírání. Je možno využít více způsobů flotace. V čištění komunálních odpadních vod se využívá například flotace s mechanickou disperzí vzduchu, biologická a chemická flotace nebo elektrolytická flotace. Často je tato technologie využívána při zahušťování přebytečného kalu. Pro zvýšení účinnosti je využíváno chemických látek, díky kterým docílíme srážení kalových vloček. [18]



1 – přívod aktivovaného kalu, 2 – čerpadlo na aktivovaný kal, 3 – vyrovnávací nádrž, 4 – přepad, 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 – odvzdušnění, 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 3.4: Schéma zařízení pro zahušťování kalu flotací, zdroj: [16]

Dalším strojním zařízením, které lze využít pro zahuštění kalu jsou odstředivky. V tomto procesu je kal zahušťován na základě rozdílné hustoty vody a částec kalu. Odstředivky se využívají jak pro primární kal, tak pro kal biologický nebo chemický.

Tato zařízení jsou schopna zhustit kal na 4–6 % sušiny. Zařízení je nenáročné na obsluhu a prostor, ale náklady na provoz a údržbu jsou značné. [19]

Zahušťování čistírenských kalů je taky možné pomocí sítopásových lisů. Tento způsob využívá rozprostření kalové suspenze na nekonečný sítový pás, na který tlačí válce, a tak oddělují vodu z kalové suspenze. Nezbytné je pro dostatečnou účinnost dávkování flokulantu. Průměrné zatížení na 1 m šířky pásu bývá 600 l/min. Tento způsob je účinný i při zahušťování kalů s koncentrací pod 2 %. [19]

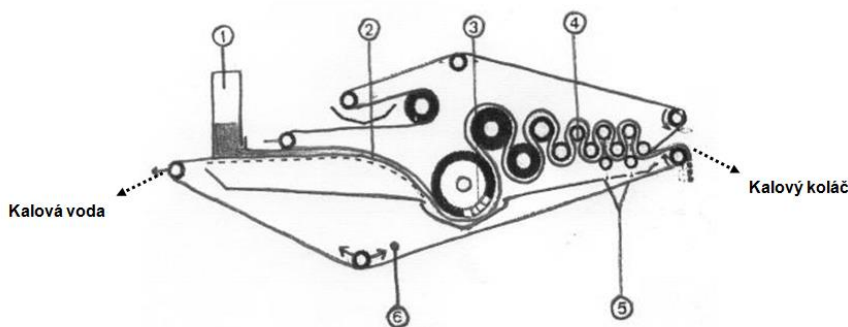


Schéma pásového lisu:

- 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 3.5: Schéma pásového lisu, zdroj: [16]

Pro zahuštění kalů z ČOV lze také využít rotační síta, která jsou tvořena jako otáčející se buben, který má stěny ze sít propouštějící vodu. Je nutné používat organické flokulanty pro dosažení potřebného zahuštění kalu. Rotační síta dosahují koncentrace zahuštění kalu 3–4 %. Je možno tuto technologii kombinovat se sítopasovým lisem a dosáhnout tak vyšších hodnot zahuštění. Zařízení není náročné na provoz ani obsluhu. [19]

Pásové, šnekové či štěrbinové zahušťovače, jsou další strojní zařízení, které lze využít pro zahušťování kalů. [19] Některé z výše uvedených technologií se využívají také jako zařízení pro odvodňování kalů.

3.4 ODVODNĚNÍ KALŮ

Jak už bylo zmíněno, zpracování kalů je značně ekonomicky náročné, a proto se nevyplatí provozovat kalovou koncovku na každé čistírně. Některé čistírny odváží kal na ČOV s kalovou koncovkou v tekutém stavu, jiné čistírny kaly odvodňují a následně je odvodněný kal odvezen ke zpracování na větší ČOV. Ve výběru vhodného řešení je mnoho aspektů. Například dostatečná kapacita pro uskladňovací nádrže, možnost čištění fugátu, zajištění plnění limitů ve vypouštěné vodě, dostatečná plocha pro kalová pole nebo pro umístění odstředivky a kontejneru na odvodněný kal, dostatečný příkon energie pro mobilní odstředivky, vzdálenost čistírny odpadních vod s odvodňovacím zařízením atd. To vše také zastrešuje produkce kalu na dané čistírně odpadních vod.

V jaké míře je kal odvodnitelný určuje specifický odpor, který je značen písmenem „r“. Jedná se o míru filtrační schopnosti kalu, číselně rovnou rozdílu tlaku nutného pro vyvolání jednotkové intenzity filtračního toku o jednotkové viskozitě přes jednotkové váhové množství kalového koláče. [58]

3.4.1 Gravitační odvodňování kalů

Mezi gravitační odvodňování kalů je možné zařadit kalová pole, kalové laguny nebo dehydratační jednotky. [16]

Kalová pole jsou velmi náročná jak na plochu, tak na finance. Jedná se o mělké nádrže s betonovým dnem, na kterém je vrstva štěrku. Ve štěrku je umístěna drenáž pro odvádění odpadní vody z čistírenských kalů. Odvodnění probíhá drenáží a vypařováním vody z kalů. Stabilizovaný kal se do kalových polí rozprostírá ve vrstvách o mocnosti 20–40 cm. Po odvodnění je kal nakladači odebírán k finálnímu zpracování. [16]

Kalové laguny jsou obdobou kalových polí s tím rozdílem, že mají přirozené dno. Obvodové hráze se navrhují zemí, upravují se příjezdové cesty pro mechanizaci a také je možno vybudovat mezi jednotlivými lagunami betonovou stěnu. Navrhují se nejméně dvě samostatné kalové laguny, které pracují samostatně. Pro plynulý provoz, využívající dvouletý cyklus, je vhodné zřídit tři kalové laguny. Jedna laguna slouží jako nezbytná rezerva. [16]

Velmi jednoduchým zařízením pro gravitační odvodnění kalů je dehydratační jednotka. Vhodná je pro ČOV s malou produkcí čistírenských kalů. Jedná se o plastovou nádobu, která je osazena nerezovým košem a přípojkou pro hadici. Do nerezového koše se vkládají filtrační vložky na jedno použití. Do této vložky je načerpána kalová suspenze a z ní se nechá odtéct gravitačně kalová voda. Objem dehydratačního koše je 75 l nebo 130 l. [20]



Obrázek 3.6: Dehydratační jednotka, zdroj: [20]

Další zařízení využívající pro odvodnění kalů gravitační síly, jsou odvodňovací kontejnery. Tato zařízení jsou určena pro větší objemy a na trhu je nabízena celá škála výrobců. Kontejnery zajišťují úsporu nákladů na dopravu kalů. Jejich výhodou

je nenáročnost na prostor, snadná a rychlá manipulace, popřípadě možnost propojení s odvodňovacími vaky. Nevýhodou je pak zápach z uloženého kalu. Těžší částice kalové suspenze klesají ke dnu, voda je vytlačována na povrch a odváděna pomocí otvorů na boku kontejnerů. Na trhu jsou dostupné velikosti kontejnerů od desítek až po tisíce litrů. Kontejnery je možné použít samostatně nebo v kombinaci s flotačními jednotkami. [62][63]



Obrázek 3.7: Výklopný odvodňovací kontejner o objemu 600 litrů, zdroj: [62]

Pokud chceme zvýšit rychlost odvodnění, je možné využít organických flokulantů. [16]

3.4.2 Odvodňovací vaky

Jedná se o gravitační způsob odvodňování kalů z ČOV. Tento způsob je velice jednoduchý. Kalová suspenze je načerpána do vaků (nejčastěji z polypropylenu) a poté se nechá kalová voda gravitačně odtéct. Odtokem se sníží objem a je možné znovu vak dočerpat na plnou kapacitu. Vaky jsou vhodné pro menší produkce kalů nebo jako záložní řešení například místo dekantální odstředivky. [21]

Vaky jsou umísťovány na plochu vyčištěnou od ostrých předmětů, sklon plochy by neměl převyšovat 0,5 %. U projektů s menšími objemy je možné osadit odvodňovací vaky do kontejnerů, tento způsob umožňuje snadné přemístění. [22]

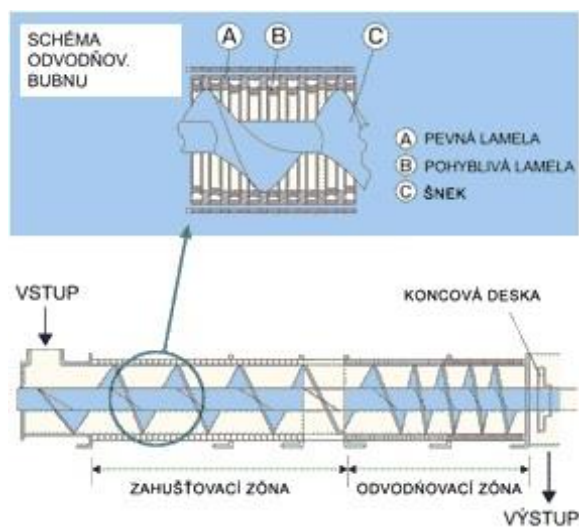


Obrázek 3.8: Příklad použití odvodňovacího vaku, zdroj: [22]

3.4.3 Strojní odvodňování kalů

Podstatně účinnějším a rychlejším způsobem odvodnění kalů je proti přirozeným procesům strojní odvodnění. Technologie využívaná pro tento proces je také využívána pro zahušťování kalů z ČOV, ovšem při jiných provozních parametrech, popřípadě v jiných modifikacích. Jedná se o proces flotace, odstředivky a sítopásové lisy popsané v kapitole 3.2.2, dále kalolisy, otáčivé vakuové filtry nebo dehydrátory. Na trhu jsou dostupné statické i mobilní technologie, které dokáží kalovou suspenzi odvodnit na požadované hodnoty.

Ke kontinuálnímu odvodňování čistírenských kalů slouží šnekové lisy. Kal je při průchodu zařízením vystavován vzrůstajícímu tlaku, a tím je vylisována kalová voda. Proti úniku pevných částí jsou instalovány na šnek lisu síta s vhodným průměrem ok. Odvodňování provádí pevné a pohyblivé lamely uvnitř bubny, vzdálenost mezi těmito lamelami se postupně zužuje. Stejným směrem se zmenšuje rozteč vynutí šneku. Touto kombinací dochází k vyvíjení většího tlaku na prostupující kal a je umožněno jeho odvodnění. Pohybem lamel je snižována možnost ucpaní a snižují se tak nároky na mycí vodu. Před nátokem do šnekového lisu je vhodné do kalu přidat flokulanty či koagulanty. Na výstupu je možné dosáhnout kalu o sušině 20–25 %. [16]



Obrázek 3.9: Schéma šnekového odvodňovacího lisu, zdroj: [16]

Strojním zařízením, které dosahuje při odvodňování čistírenských kalů vysokých obsahů sušiny a také vysoké čistoty kapalné fáze, jsou kalolisy. Tato zařízení jsou založena na principu tlakové filtrace. Kalolis je složen z několika komor a každá komora je osazena filtrační deskou. Při pracovním cyklu prochází kalová suspenze přes jednotlivé komory a na filtračních deskách jsou odlučovány pevné částice suspenze. Po dokončení cyklu je kalolis otevřen a zachycené částice jsou z komor vyklepány. Kapalná fáze je odváděna drenáží. Kalolisy mají dvě základní dělení, jedná se o kalolisy komorové a membránové. Membránové kalolisy dosahují až dvojnásobného účinku oproti komorovým kalolisům. Komorové provedení je nejčastěji osazeno polypropylenovými deskami, membránové

kalolis využívá polypropylenové desky a membrány z ethylen-propylenové pryže, která je charakteristická mimořádnou odolností. Filtrační desky drží pohromadě hydraulický systém. U kalolisů se prosazuje automatizace, a tak jsou náklady na obsluhu minimální. [16]



Obrázek 3.10: Příklad komorového kalolisu (vlevo) a membránového kalolisu (vpravo), zdroj: [16]

Poměrně malým zařízením jsou dehydrátory sloužící k odvodnění kalů, popřípadě i k jejich zahuštění před dalším využitím. Dehydrátory se využívají na čistírnách odpadních vod různých velikostí. Podle typové řady, je možné využití pro 500 EO, ale také pro 10 000 EO. Velkou výhodou je možná automatizace provozu. Základem zařízení je šnekový lis, který slouží k zahuštění kalové vody. Výrobci udávají, že je možno zahustit kalovou suspenzi až na 20 % při nízké energetické náročnosti, nízké hlučnosti a za ekonomického provozu. [50][64]

3.5 FLOKULANTY

Flokulanty neboli vločkovací činidla, jsou syntetické polymerické látky, které zvyšují účinnost procesu separace nerozpuštěných látek a tekutin. Shlukují nejmenší suspendované a koloidní částice do větších aglomerátů. Takto vytvořené vločky se daleko lépe a rychleji oddělují od kapaliny. Tyto organické makromolekulární sloučeniny nebo anorganické sloučeniny se připravují intenzivní hydratací. Flokulanty se nejčastěji vyskytují ve formě prášku nebo jako tekuté. Pro tekuté flokulanty je zapotřebí delší doby míchání. Pro maximální účinnost se doporučuje koncentrace roztoku v rozmezí 0,25–0,6 %. Běžně jsou flokulanty dávkovány pomocí čerpadel, vyvarovat bychom se však měli čerpadlům odstředivým. Dávkování by mělo probíhat v místě zvýšené turbulence a velikosti dávek se určují pomocí laboratorních zkoušek. V kalovém hospodářství jsou flokulanty využívány zejména pro procesy zahušťování a odvodňování. Nejčastěji se používají soli železa a hliníku, popřípadě vápno. [59]

U gravitačního zahušťování je přidávkem flokulantu docíleno zvýšení sušiny o cca 1–2 %, dávka flokulantu se pohybuje v rozmezí 2–6 g/kg. Při použití strojního zařízení se množství použití flokulantu zvyšuje až na hodnoty okolo 10 g/kg sušiny. [59]

Množství flokulantu podle způsobu použití:

- sedimentace: 0,5–5 mg polymeru na 1 litr přítoku;
- zahušťování kalu: 5–20 mg polymeru na 1 litr přítoku;
- flotace a odvodňování kalu: 2–5 kg polymeru na 1 tunu sušiny. [59]

4 MOŽNOSTI ZPRACOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ PRO JEDNOTLIVÉ KATEGORIE ČOV

V současné době umožňuje legislativa několik způsobů nakládání s čistírenskými kaly. Dle údajů Českého statistického úřadu za rok 2016, bylo nejvíce využíváno kompostování kalů. V přepočtu na procenta bylo kompostováno zhruba 38 % kalů z celkové produkce kalů v České republice. Druhý nejvyužívanější způsob zpracování kalů z ČOV byla přímá aplikace na půdu a rekultivace, tento způsob byl zastoupen zhruba z 36 %. Na třetím místě bylo nejvíce využito skládkování a to s hodnotou zhruba 6 %. Spalování bylo využito u přibližně 3 % kalů z celkové produkce. Další metody dle údajů ČSÚ byly využity u cca 17 % kalů z komunálních čistíren odpadních vod. [2]

Bez ohledu na to, jakým způsobem bude s předupraveným kalem nakládáno, je nutné zajistit jeho stabilizaci. Stabilizace čistírenských kalů lze rozdělit na dva základní způsoby. Stabilizace aerobní a stabilizace anaerobní, každá metoda je využívána především s ohledem na kapacitu čistírny odpadních vod. Dle způsobu využití kalů z ČOV je také nutné kaly hygienizovat.

4.1 STABILIZACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Proces stabilizace výrazně snižuje biologickou rozložitelnost kalů, množství mikroorganismů v něm obsažených a také pachové stopy. Nestabilizovaný kal, lze vnímat jako nebezpečný odpad. [1]

Ke stabilizaci lze z technicko-ekonomického hlediska využít několik hlavních metod. Výběr dané metody závisí na použití technologie čištění odpadních vod a na velikosti čistírny odpadních vod. Mezi biologické metody stabilizace kalů patří aerobní (simultánní, oddělená, termofilní) a anaerobní stabilizace (mezofilní, termofilní, fázování teploty). Kromě biologické stabilizace rozeznáváme ještě stabilizaci chemickou (vápnem) a fyzikální, kam patří sušení, tyto procesy jsou využívány na větších čistírnách odpadních vod. [1][24]

Stabilizovanost kalů lze posoudit podle několika kritérií. Kritéria rozdělujeme na přímé neboli globální, kterým se zohledňuje toxicita, infekčnost nebo zápach, nepřímá kritéria charakterizují kaly dle obsahu organických látek a kritéria doplňující, do kterých spadá odvodnitelnost nebo viskozita. Obsah organických látek lze zjistit ztrátou žíháním, hodnotami TOC, CHSK, BSK₅, produkcí bioplynu, respirační rychlostí atd., na množství a kvalitě organických látek závisí vlastnosti a chování čistírenských kalů. Některá stanovení kritérií jsou poměrně časově náročná. Typickou metodou pro určení stabilizovanosti kalů, která určuje obsah organických látek včetně obsahu těkavých látek, je využití CHSK. Měřítkem stabilizace by mělo být množství CHSK odstraněného proti hodnotám CHSK na počátku. Podobnou metodou je stanovení organického uhlíku v mokré suspenzi kalu (TOC). [16]

Tabulka 4.1: Přehled kritérií a metod stanovení stabilizovanosti kalů, zdroj: [16]

základní kritéria	metoda měření
intenzita zápachu	měření intenzity zápachu zřed'ovací čichovou metodou
	plynová chromatografie
ztráta žíháním	podíl organických látek v celkové sušině kalu vyjádřený v %
	podíl rozložených organických látek vyjádřený jako % celkového obsahu organických látek
zbytkové snadno rozložitelné organické látky	BSK ₅ filtrátu (kapalná fáze)
	rychlost přírůstku CHSK kapalná fáze během sledování
	rychlost spotřeby kyslíku
	rychlost produkce plynu (methanu) v průběhu anaerobní kultivace
chemické složení	koncentrace mastných kyselin v kapalná fázi
	pH a jeho změny v průběhu skladování
	měření tvorby H ₂ S během skladování
	koncentrace dusičnanů
biologická aktivita	koncentrace ATP
	dehydrogenázová aktivita
	koncentrace koenzymu F ₄₂₀
	rychlost produkce bioplynu
mikrobiologická analýza	stanovení obsahu patogenních mikroorganismů
	stanovení jednotlivých skupin mikroorganismů
přítomnost hnilobných látek	atraktivnost pro mouchu domácí

4.1.1 Aerobní stabilizace kalů

Aerobní stabilizace je proces probíhající za přítomnosti vzduchu, čistírenský kal je stabilizován pomocí mikroorganismů, které rozkládají obsažené organické látky. Organická hmota je oxidačními procesy rozkládána na oxid uhličitý a vodu. Aerobní stabilizace je využívána pro nízkozatížené aktivační nádrže, tedy nejčastěji u malých čistíren odpadních vod. Proces může probíhat v samostatných nádržích, nebo může být zařazen přímo do aktivační nádrže. [23]

V druhém případě potom většinou není součástí technologické linky primární usazovací nádrž. Aerobní proces zařazen do aktivace významně prodlužuje dobu zdržení odpadní vody v aktivační nádrži a jsou také zachytávány nerozpustné látky. Tento způsob stabilizace neprodukuje žádnou energii, naopak je nutné do procesu energii dodávat a to k pohonu dmýchadel. Nejčastěji je tento způsob užíván na ČOV do 30 000 EO. U stabilizace za přítomnosti vzduchu v oddělených nádržích dochází ke zpracování přebytečných nebo směsných kalů. [1][23]

Aerobní stabilizace zaručuje jednoduchý provoz a poměrně nízké investiční náklady. Na druhé straně je velmi náročná na provozní náklady, díky dlouhým dobám zdržení a potřeby dodávky elektrické energie pro dmýchadla. Aerobně stabilizovaný kal dosahuje

nízkých hodnot BSK₅, nevýhodou je vyšší koncentrace nerozpustných látek (NL) na odtoku a horší vlastnosti odvodnění oproti kalu anaerobně stabilizovanému. [23]

Pro získání lepších vlastností přebytečného nebo směsného kalu z procesů čištění, je využívána termofilní aerobní stabilizace. Termofilní organismy jsou výrazně aerobní a jejich metabolismus je velmi exotermní. Proces probíhá v oddělených nádržích, většinou válcovitého tvaru a využívá reakční teplo z biochemických reakcí při rozpadu organických látek. Nádrže jsou provzdušňovány vzduchem nebo přímo kyslíkem, v závislosti na vybraném mediu lze dosáhnout teplot v rozmezí 40–80 °C. Dosažené teploty zkracují významně dobu zdržení ve stabilizačních nádržích na 5–7 dní, zároveň mají příznivý vliv na hygienické zabezpečení kalu. Stabilizace tohoto typu je označována jako ATAD (autotrofní termofilní aerobní stabilizace). Spotřeba kyslíku při aerobní stabilizaci kalu je uváděna 1,42 kg kyslíku na 1 kg organické hmoty, při tomto procesu je uvolněna tepelná energie přibližně o hodnotě 42 kJ. [1][23][24]

Kal vstupující do fáze ATAD by měl být dostatečně zahuštěn, měl by obsahovat dostatečné množství snadno rozložitelných organických látek, dále by měla být zajištěna efektivní aerace, efektivní míchání a také dostatečná tepelná izolace reaktoru. Pro odstranění zápachu a zničení patogenních organismů je ideální teplota od 55 °C do 60 °C. V následující tabulce jsou shrnuty parametry ATAD. [24]

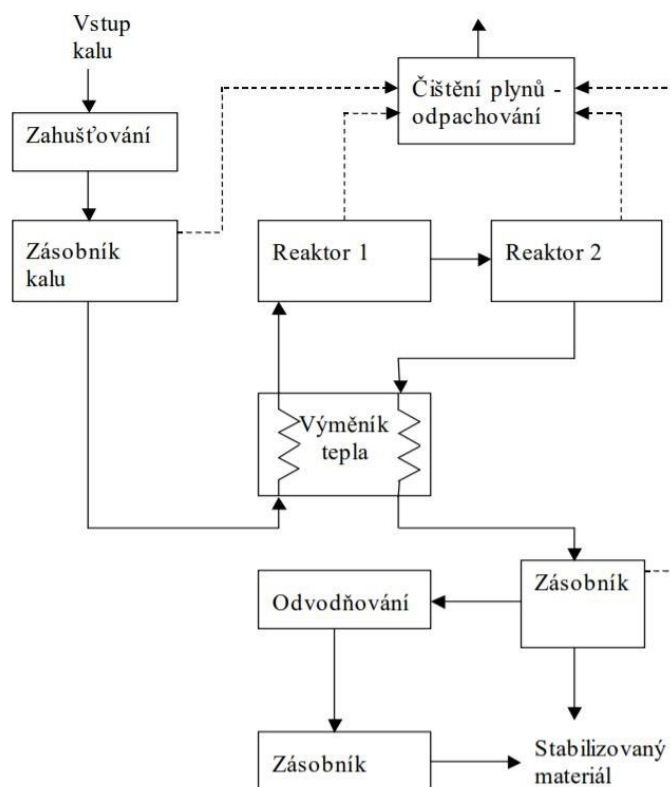
Tabulka 4.2: Návrhové parametry ATAD, zdroj: [24]

Parametr	jednotka	hodnota
vstupní sušina	[%]	4–6
obsah org. látek v sušině	[%]	min. 60
doba zdržení	[d]	5–7
dodávka vzduchu	[m ³ /m ³ h]	2–4
odstranění V _L org.	[%]	25–65

*V_Lorg. - všechny organické látky

Mezi výhody termofilní aerobní stabilizace můžeme zařadit poměrně snadný provoz a údržba, významně snižuje organické látky, v procesu lze získat energii k hygienizaci kalů nebo že je technologie umístěna v krytém prostoru, a tak je eliminován zápach. Naopak mezi nevýhody patří nutnost odplynění plyných odpadů, větší dávky flokulantů pro odvodnění kalu, problémy s pěněním reaktorů či nutnost zahuštění vstupujícího kalu na 4–6 % sušiny. Tento způsob stabilizace je většinou využíván na ČOV s kapacitou od 5 000 EO do 40 000 EO. [16][24]

Autotrofní termofilní aerobní stabilizaci lze zařadit jako předstupeň pro anaerobní část stabilizace, Tento systém je nazýván jako duální a jeho výhodou je vyšší stupeň hygienizace kalů a také doba zdržení 1–3 dny. [24]



Obrázek 4.1: Schéma procesu ATAD, zdroj: [24]

4.1.2 Anaerobní stabilizace kalů

Anaerobní stabilizace kalu je proces postupného rozkladu biologicky rozložitelné organické hmoty pomocí směsných kultur mikroorganismů za nepřístupu vzduchu. Využívána je pro větší velikosti ČOV, většinou o velikosti nad 50 000 EO a to z důvodu investičních nákladů. Výjimkou je například obec Prachatice, kde je realizována ČOV s funkční anaerobní stabilizací kalu při návrhové kapacitě 15 000 EO. Někdy je tento proces také nazýván metanizací nebo vyhníváním. Tento způsob stabilizace kalu je zpravidla kombinován s primární usazovací nádrží. V praxi jsou využívány jak procesy mezofilní, s provozní teplotou 30–40 °C, tak procesy termofilní s provozní teplotou okolo 55 °C. Proces anaerobní stabilizace produkuje bioplyn, který se zpracovává v kogeneračních jednotkách vyrábějících teplo a elektrickou energii. Anaerobní technologie jsou v provozu více jak jedno století a stále dochází k jejich zdokonalování. Cílem anaerobní stabilizace je snížení obsahu organických látek, zmenšení množství kalu, snížení nákladů na nakládání s kaly, hygienizace a zlepšení energetické bilance čistírný odpadních vod. [1][23][24]

Anaerobní stabilizace kalu probíhá v metanizačních neboli vyhnívacích nádržích. Tyto nádoby jsou jak vodotěsné, tak i plynotěsné, navrhují se ve válcovém provedení s kuželovitým dnem a střechou, nebo ve vejčitém tvaru. Z hydraulického hlediska, především kvůli míchání, se navrhují nádrže s převažujícím výškovým rozměrem, materiál nádrží bývá železobeton, nebo ocel. Nádrže se navrhují převážně jako vyhřívané.

Mezi návrhové parametry patří doba zdržení v reaktoru, zatížení, míchání a teplota v reaktoru. [23][24]

Na čistírnách odpadních vod se anaerobní stabilizací zpracovává přibližně 87 % produkovaných kalů. Kaly natékající do vyhnívacích nádrží mají obsah sušiny přibližně 5 %, její zvýšení nastává procesem metanizace a odvedením kalové vody. Obsah sušiny určuje velikost nádrže. Čím je obsah sušiny větší, tedy kal je více zahuštěn, tím jsou menší nároky na objem nádrže. Surový kal má poměr organických látek k látkám anorganickým cca 2:1, po procesu stabilizace dochází k vyrovnání tohoto poměru a to snížením organických látek v kalu. Vhodné kritérium pro dosažení dobré kvality čistírenského kalu je snížení biologicky rozložitelných organických látek o 75 %. Tato hodnota odpovídá zhruba snížení organických látek o 32–48 % oproti nátoku do metanizačních nádrží. Doba zdržení v nádrže je závislá na generační době mikroorganismů a na zatížení metanizace. Průměrnou dobu zdržení v reaktoru lze vypočítat jako podíl objemu reaktoru a denní produkce surového kalu. Dostatečnou dobou zdržení při anaerobní stabilizaci je možné docílit také dezinfekce. Při teplotě okolo 20 °C je doporučená doba zdržení více jak 60 dní, při teplotě 35–55 °C je to však už do 15 dní. Dezinfekce je také podmíněná odstraněním minimálně 38 % původně přítomných organických látek. [23]

Stabilizace je složena ze dvou stupňů. Prvním stupněm je anaerobní reaktor, kde probíhá metanizace. Reaktor je vyhříván a dochází zde k míchání. Druhou fází je uskladňovací nádrž, kde dobiehají metanizační procesy a dochází zde také k oddělení kalové vody, která je recirkulována a vrácena před proces aktivace. V další fázi je stabilizovaný kal odvodňován a finálně zpracováván. [23]

Metanizaci lze rozdělit na nízko a vysokozatěžovanou. Nízkozatížená metanizace je charakteristická delší dobou zdržení, zatížení je menší, míchání bývá diskontinuální a je zařazen jeden nebo dva stupně do technologické linky. Vysokozatížená metanizace má opačné charakteristiky a vždy jsou zařazeny dva stupně v technologické lince. [23]

Problémem, který může nastat v reaktoru, je pění. Tento jev může být zapříčiněn přítomností tenzidů v kalech či přítomností biotenzidů, které jsou součástí povrchově aktivních látek produkovaných mikroorganismy. Zvýšení nebezpečí pění suspenze je při míchání bioplynem, výskytu vláknitých bakterií nebo snižování pH. Napěněný kal může poté utíkat stropem nádrže, může zanést plynovodní potrubí a snížit tak celkovou účinnost anaerobní stabilizace. Obrannou proti pění je vhodný tvar nádrže, likvidace vláknitých organismů nebo dávkovat kal častěji po menších dávkách. [23]

Tabulka 4.3: Technologické parametry nízkozatížená a vysokozatížená metanizace, zdroj: [23]

parametr	nízkozatížená metanizace	vysokozatížená metanizace
	(normální vyhívání)	(rychlovyhívání)
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	2,0–5,0 kg.m ⁻³ .d ⁻¹
pH	6,8–7,4	6,4–7,8
míchání	diskontinuální	kontinuální
počet stupňů	1–2	2

4.1.2.1 Teoretické základy anaerobní stabilizace

Anaerobní reakce probíhají i v přírodě. Příkladem mohou být bažiny, dna jezer nebo skládky komunálního odpadu. Na rozkladu organické hmoty se podílejí směsné skupiny anaerobních mikroorganismů. Proces rozkladu probíhá v několika stupních, produkt jedné skupiny se stává substrátem pro skupinu další a tak dále. Výpadek jedné skupiny může způsobit kolaps celého systému. Výsledným produktem je vzniklá biomasa, plyny jako např. CH₄, CO₂, H₂, N₂, H₂S, a také zbytek nerozložené organické hmoty, kterou lze považovat za stabilizovanou. Anaerobní proces lze rozdělit do čtyř následujících fází. [16][25]

- a) Hydrolyzní fáze – přítomné anaerobní bakterie přeměňují makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky jako jsou bílkoviny, polysacharidy, tuky a celulóza na nízkomolekulární látky. Přeměna probíhá pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů, produkovaných fermentačními bakteriemi, na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě. Těmito látkami jsou monosacharidy, aminokyseliny a mastné kyseliny. [25]
- b) Acidogenní fáze – tato fáze se také nazývá fází kyselou. Produkty předchozí fáze jsou zde rozkládány na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO₂, H₂). Tyto látky podléhají fermentaci a tvoří se řada konečných redukovaných produktů, jejichž charakter se odvíjí od vlastností původního substrátu a také na podmínkách prostředí. Podle parciálního tlaku vodíku jsou produkovány různé produkty. Při nízkém parciálním tlaku je vytvářena kyselina octová, oxid uhličitý a vodík. Při vyšším parciálním tlaku vodíku jsou vytvářeny vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná nebo ethanol. [25]
- c) Acetogenní fáze – v této fázi dochází k oxidaci produktů acidogeneze na CO₂, H₂ a kyselinu octovou. Důležitá je účast homoacetogenních mikroorganismů, které produkují vodík a umožňují rozklad kyseliny propionové, ostatních organických kyselin vyšších než kyselina octová, alkoholy a některé aromatické sloučeniny. V této fázi jsou také skupiny organismů produkující sulfan a dusík. [25]
- d) Methanogenní fáze – jedná se o poslední fázi, ve které působí methanogenní organismy rozkládající některé jednodušší látky a kyselinu octovou. Tato skupina mikroorganismů je velmi specifická na životní podmínky a kvalitu substrátu, často

je limitujícím faktorem celého procesu. Methanogenní organismy, stejně jako acetogenní, zpracovávají kyselinu propionovou. Tyto organismy lze rozdělit podle specifikace na substrát na acetotrofní a hydrogenotrofní. Acetotrofní methanogenní organismy produkují více než dvě třetiny CH_4 v bioplynu, jsou schopné udržovat pH při fermentaci, ale proti druhé skupině mají delší generační dobu. Hydrogenotrofní organismy produkují methan z oxidu uhličitého a vodíku. Jejich generační doba je přibližně 6 hodin. Z procesu odstraňují vodík a tím jsou důležité například pro bakterie rozkládající kyselinu propionovou nebo máselnou. Koncentrace vodíku by měla při dobré činnosti organismů minimální. V anaerobním procesu vystupují hydrogenotrofní organismy jako samoregulatory. [25]

4.1.2.2 Vliv teploty a potřeba tepla

Důležitým vlivem na pochody při stabilizaci hraje také teplota. Pro stabilní provoz je vhodné udržovat i stabilní teplotu. Každý druh mikroorganismu je schopný růst v určitém rozmezí teplot. Mezi minimem a maximem tohoto rozmezí se nachází optimální teplota pro růst daného organismu, při které dosahuje maximální růstové rychlosti. Dle tohoto kritéria lze mikroorganismy rozdělit na:

- psychrofilní (0–30 °C);
- mezofilní (5–50 °C);
- termofilní (25–70 °C).

Z výše uvedených hodnot je zřejmé, že nelze určit přesné hranice teplotního rozhraní a jednotlivé kategorie se často prolínají. Rozdíl mezi mezofilní a termofilní teplotou, využívanou při anaerobní stabilizaci kalů, se nejčastěji uvádí hodnota 43–45 °C. Kal stabilizovaný mezofilně zařazujeme do II. třídy (B), kal stabilizovaný termofilně je možné zařadit do I. třídy (A). [16][23][24]

Výhodou vyšších teplot při termofilním procesu je hygienizace, tedy zahubení většího množství patogenních organismů, hlubší rozklad organické hmoty, větší produkce bioplynu a rychlejší rozklad, čím je nižší doba zdržení v reaktoru. Zlepšují se také odvodňovací vlastnosti kalů. Na druhé straně je při termofilních reakcích náročnější řízení procesu, kvalita kalové vody je horší a náklady na zateplení a ohřev jsou vysoké. [23][24]

Metanizační nádrže mohou být vytápěny teplou vodou nebo párou a topnými tělesy umístěnými uvnitř nádrže, teplou vodou nebo párou proudící ve výměnících vně nádrže, přímým injektováním vodní páry nebo ponořenými plynovými hořáky (využíváno při ohřevu surového kalu). [24]

Teplu potřebné k ohřevu reaktoru je dáno teplem potřebným pro ohřátí vstupující kalové suspenze a teplem pro pokrytí ztrát. Pro výpočet množství vstupujícího tepla lze využít následující vztah. [24]

$$q_s = Q_m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

(vztah 4.1)

kde:

q_s - teplo potřebné k zahřátí vstupujícího materiálu z teploty T_1 na T_2

Q_m - hmotnostní tok vstupujícího materiálu

C_p - specifické teplo (můžeme uvažovat C_p vody, vliv suspendovaných látek na velikost C_p lze zanedbat)

T_1 - teplota vstupujícího materiálu

T_2 - teplota v reaktoru

Množství tepla, které je nutné dodat pro pokrytí ztrát, je dáno následujícím obecným vztahem. [24]

$$q_z = U \cdot A \cdot (T_2 - T_1)$$

(vztah 4.2)

kde:

q_z - tepelné ztráty

U - koeficient přestupu tepla

A - přestupní plocha

T_1, T_2 - teplota vně a uvnitř reaktoru

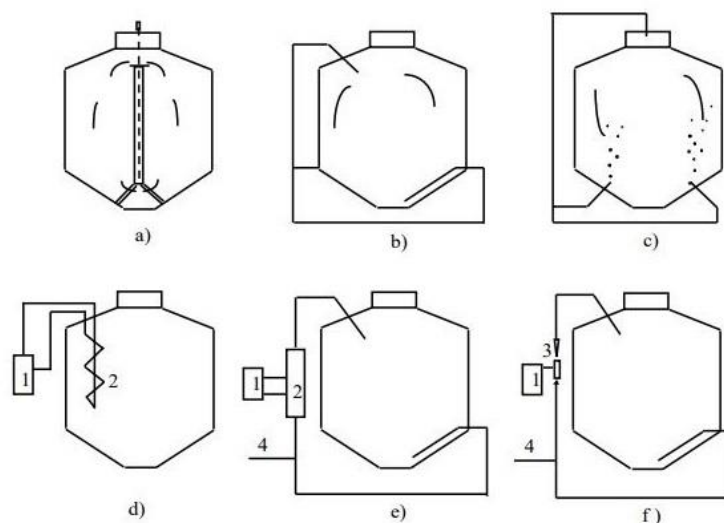
4.1.2.3 Míchání v procesu stabilizace

Ačkoliv je míchání značně ekonomicky náročné, je zařazováno i do procesů anaerobní stabilizace. Účelem míchání je udržení homogenního prostředí uvnitř reaktoru, zajišťuje kontakt biomasy s přiváděným kalem a udržuje stejnou teplotu v celé nádrži, zamezuje místnímu přetížení, zlepšuje odvod reakčních zplodin, rychlým rozmícháním vstupního materiálu zamezíme vlivu eventuálních toxických látek a také zabraňuje tvorbě plovoucí kalové vrstvy a vytvoření sedimentační vrstvy na dně nádrže. Mezi negativní dopady promíchávání anaerobního reaktoru lze zařadit obtížnější oddělení kalové vody od stabilizovaného kalu. Z tohoto důvodu se míchání na určitou dobu přeruší a po sedimentaci dojde k odtahu kalové vody. Další možností je zařazení druhého reaktoru, kde už nedochází k míchání, ale pouze k sedimentaci a odvodu kalové vody. [23][24]

Míchání může být provozováno mechanicky za pomoci míchadel, turbín a vrtulových čerpadel. Další možností je recirkulace kalu, tento způsob využívá kalových čerpadel umístěných uvnitř reaktoru, nebo vně reaktoru. Třetí možností je recirkulace plynu. Využíván je bioplyn, který je pod tlakem vháněn do různých míst nádrže. [23][24]

Energetické hodnoty pro dobré promíchání kalu se pohybují u mechanického míchání v rozmezích 5–8 W.m⁻³. Při míchání plynem je uváděna hodnota spotřeby 0,27–0,42 m³ bioplynu na m³ promíchávané nádrže za hodinu. [24]

a - míchání turbínou, b - míchání recirkulací směsi, c - míchání recirkulací plynu, d - vytápění vnitřním výměníkem tepla, e - vytápění vnějším výměníkem tepla, f - vytápění přímou párou, 1 - kotel, 2 - výměník tepla mezi vodou a kalem, 3 - parní ejektor, 4 - přívod surového kalu



Obrázek 4.2: Způsoby míchání a vytápění metanizačních nádrží, zdroj: [24]

4.1.2.4 Produkce kalové vody a bioplynu

S anaerobní stabilizací kalů je také spojená produkce kalové vody a bioplynu. Zpracování bioplynu je ekonomicky výhodné na čistírnách odpadních vod s kapacitou od 40 000 EO. [3]

Kalová voda tvoří přibližně 0,1–0,4 % celkového objemu čistěných odpadních vod. Vlastnosti kalové vody jsou závislé na složení surového kalu, na účinnosti vyhnívací nádrže, stejně tak na době zdržení, teplotě a míchání. V kalové vodě je obsaženo velké množství suspendovaných látek, dusíku, fosforu a charakteristická je vysokou hodnotou BSK₅. Kalová voda je vrácena do procesu čištění a to většinou před aktivační nádrž. Do procesu čištění odpadní vody je aplikována řízeně a především v nočních hodinách. Její složení může způsobit v technologické lince potíže, pokud je ovšem její kvalitativní stránka na vysoké úrovni, je možné kalovou vodu použít i k závlahám. [23]

Produkce bioplynu je závislá na několika faktorech. Vliv na produkci má kvalita přiváděné kalové suspenze, délka doby zdržení kalu v reaktoru nebo teplota stabilizace čistírenských kalů. Pokud je zatížení anaerobního reaktoru nevyvážené, pak je produkce bioplynu také nevyvážená. Bioplyn obsahuje 60–70 % metanu, 30–35 % oxidu uhličitého, malé množství vody, přibližně 0,1 % sulfanu a stopové množství dusíku, vodíku, amoniaku či mastných kyselin. Metan a oxid uhličitý jsou bez zápachu, a tak pach bioplynu je způsoben přítomností sirovodíku. Bioplyn je na ČOV využíván k ohřevu vyhnívacích nádrží, k vytápění dalších objektů na čistírně, k sušení kalů a také je možné využít bioplyn k výrobě elektrické energie v kogeneračních jednotkách. Výroba tepla a elektrické energie je součástí dotačních programů. Výhřevnost bioplynu je uváděna v rozmezí 22,0–23,6 MJ/Nm³. Jak bylo řečeno, produkce bioplynu je závislá od teploty v reaktorech.

Při mezofilní stabilizaci je uváděna produkce bioplynu 400–475 l na 1 kg přivedené organické hmoty, při termofilní stabilizaci je tato produkce v rozmezí 550–625 l bioplynu na 1 kg přivedené organické hmoty. Při termofilní stabilizaci je přibližně třikrát větší produkce vodních par, a tak se doporučuje sušení bioplynu oproti obvyklému kondenzačnímu odvodňování. [23][24]

Kromě zpracování produkovaného bioplynu na čistírně odpadních vod je možné čištění a následný prodej do plynárenské sítě nebo čištění a využití bioplynu jako pohon pro dopravní techniku nebo automobily. [25]

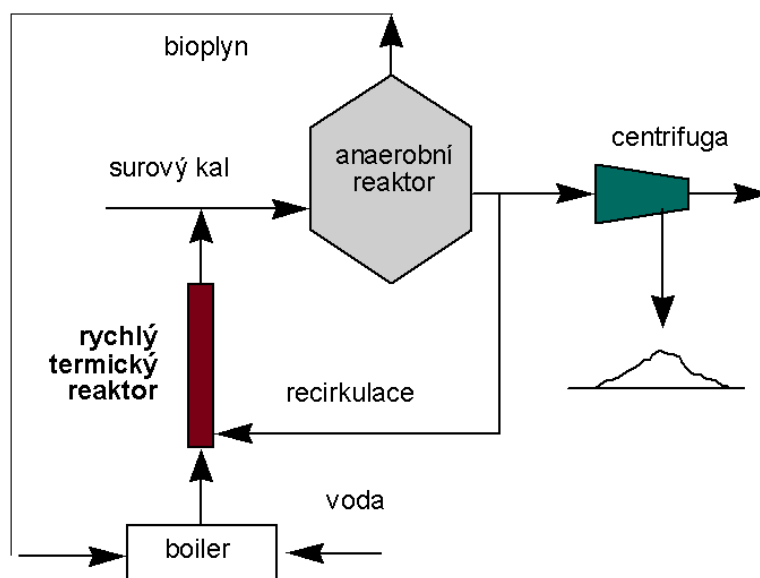
Bioplyn lze využívat na čistírnách odpadních vod díky kogeneračním jednotkám. Tyto jednotky jsou zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Účinnost kogeneračních jednotek je pro výrobu elektrické energie cca 35–42 %, pro výrobu tepelné energie je to 52–56 %. Do návrhu kogenerační jednotky pro danou čistírnu je nutné vycházet mimo jiného z nerovnoměrnosti produkce bioplynu a provozních hodin konkrétní jednotky. Z jednoho Nm³ bioplynu lze vyrobit 2,21 kWh elektrické energie a 3,54 kWh tepelné energie. [24]

Pro akumulaci produkovaného bioplynu se využívají plynojemy. Tyto zařízení slouží kromě akumulace také k regulaci přetlaku v celém systému, k vyrovnání rozdílů mezi produkcí a spotřebou. Plynojemy se dimenzují většinou na denní produkci plynu. V současné době se využívají mokré plynojemy, suché plynojemy s jednoduchou membránou, dvoumembránové textilní plynojemy, popřípadě textilní vaky a matrace. [24]

4.1.2.5 Termická kondicionace biomasy

Jedná se o metodu termické předúpravy kalů, za vzniku lyzátu. Proces je využíván na přebytečný aktivovaný kal nebo na anaerobně stabilizovaný kal. Základem je krátký ohřev materiálu po dobu 12 sekund až 10 minut, při teplotě 100–200 °C a při tlaku 0,1–1,3 MPa. Tato reakce probíhá v termickém reaktoru. Po stanoveném čase dojde k náhlému uvolnění tlaku a teploty, tímto je způsobena destrukce buněk mikroorganismů a uvolňuje se lyzát (buněčný roztok). Výhodou metody je výrazná dezintegrace buněk mikroorganismů, a přitom díky krátké době působení vyšších teplot nejsou enzymy a stimulační faktory zcela inaktivovány. [14]

Technologicky je možné uspořádat proces vynecháním výměníku tepla. Přívod tepla pro ohřev kalů bude regulován množstvím kalu, který je přiváděn do rychlé termické předúpravy. Princip je nastíněn na následujícím obrázku. [14]



Obrázek 4.3: Schéma termické kondicionace biomasy, zdroj: [14]

Jako výhody tohoto procesu je uváděno zvýšení rozložitelnosti organických látek v průběhu metanizace, zvýšení rychlosti rozkladu, zvýšení produkce bioplynu, snížení množství produkovaného stabilizovaného kalu, zlepšení odvodnitelnosti anaerobně stabilizovaných kalů a zlepšení energetické bilance čistírny odpadní vody oproti klasickému uspořádání. [14]

4.1.3 Chemická stabilizace kalů

Proces chemické stabilizace kalů spočívá ve změně pH, konkrétně v jeho zvýšení. Hodnota pH se zvyšuje alespoň na 11,5, přičemž dochází k usmrcení bakterií a virů, tedy patogenních organismů. Zvýšením pH je snaha dosáhnout zásaditějšího prostředí a k těmto účelům se používá hydroxid vápenatý nebo oxid vápenatý. [23]

Při působení hydroxidu a oxidu vápenatého se jednak zvyšuje pH, ale také dochází k uvolňování volného amoniaku při hodnotách pH nad 12. Tyto jevy způsobují destrukci patogenních organismů. Rozlišujeme chemickou prestabilizaci a poststabilizaci, podle toho v jaké fázi zpracování k procesu dochází. Nádrže pro tento typ stabilizace bývají opatřeny míchacím zařízením. [23]

Prestabilizace je zařazena do technologické linky před odvodňování kalu. Vápno je dávkováno v takovém množství, aby došlo k usmrcení bakterií a virů. Žádoucí je dosáhnout hodnoty pH 12 minimálně na dvě hodiny a poté držet hodnotu nad pH 11 po několik dní. Množství dávkovaného hydroxidu vápenatého se odvíjí od původu kalu. Do primárního kalu je dávkováno průměrně 100 g $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na 1 kg sušiny, do kalu přebytečného aktivovaného se dávkuje cca 270 g na 1 kg sušiny. Pokud jsou vyšší požadavky na hygienizaci kalu, je třeba delšího zdržení hmoty v nádržích a tomu úměrně přidané dávky hydroxidu. Odvodnění s finálním zpracováním kalu je obvykle prováděno za zvýšené hodnoty pH. [23]

Poststabilizace je proces zařazený za odvodňování kalu. Dávkuje se oxid vápenatý (nehašené vápno), který reaguje s vodou a při této reakci se uvolňuje teplo. Reakcí CaO s H_2O vzniká hydroxid vápenatý. Při chemické poststabilizaci dochází uvolňováním tepla k zahřátí prostoru nádrže na 50–80 °C, což je dostatečná teplota na destrukci patogenních mikroorganismů. [23]

Je nutno dát pozor na dobu skladování kalu po procesu chemické stabilizace. Pokud bude kal skladován déle, je možné, že klesne hodnota pH a bude opět docházet k mikrobiálnímu rozkladu organické hmoty, především přeměnou hydroxidu na uhličitany. Těmito procesy se kal stává opět hygienicky závadným. [23]

4.1.4 Fyzikální stabilizace kalů

Pokud je složení čistírenského kalu nevhodné pro využití na zemědělské půdě, k rekultivacím nebo je ho v daném zájmovém území nadbytek, je nutné zvolit jiné způsoby využití. Obavy jsou především ze škodlivin, jako jsou těžké kovy, perzistentní organické škodliviny, zbytky léků či umělé hormony a jejich vniknutí do potravinového řetězce. V tomto případě se volí termické metody zpracování a destrukce kalů. Základním procesem před procesem termické destrukce kalů je jeho sušení. V následujících odstavcích jsou shrnuty typy sušení a fáze sušení. [26]

Sušení je proces velmi energeticky náročný, a tedy je to i velká ekonomická zátěž pro danou ČOV. Před samotnou realizací sušárny je zapotřebí provést ekonomické vyhodnocení celého projektu včetně různých možností řešení. Je vhodné do studií zavést i postupy, které se s největší pravděpodobností realizovat nebudou, jako je třeba zrušení kogeneračních jednotek a využívat bioplyn k ohřevu sušárny. Tento krok je v dnešních podmínkách nemyslitelný především s ohledem na dotace pro produkci elektrické energie. Opakem zrušení kogeneračních jednotek je využití bioplynu pouze například v letních měsících, kdy není třeba dodávat teplo k technologiím a tento nadbytek využít pro sušení (ovšem nedojde k celkovému pokrytí potřeby tepla pro sušení kalů). Vhodné je vypracování celkové bilance tepla na konkrétní ČOV. Jako vstupní hodnoty fungují následující ukazatelé:

- produkce bioplynu;
- složení bioplynu;
- objem surového kalu;
- teploty na vstupu a výstupu z topné vody kalových výměníků;
- produkce tepla kogeneračními jednotkami;
- teplo spotřebované na ohřev technologie;
- teplo spotřebované na ohřev budov;
- obsah energie v bioplynu;

- vyrobené teplo za předpokladu účinností přeměny energie obsažení v bioplynu na teplo dle použitého zařízení;
- procenta tepla využitého k ohřevu technologie z celkového množství vyrobeného tepla. [26]

Jak už bylo zmíněno, sušení kalů je velmi energeticky náročné. Požadavky na energii jsou různé od metod sušení, ale obecně jsou uváděna následující čísla. Na jednu tunu odpařené H₂O za normálního tlaku je teoretická spotřeba tepelné energie 627 kWh, ohřev vody z 20 °C na 100 °C spotřebuje 93 kWh a na ohřev tuhého materiálu je zapotřebí 14 kWh. Přímé tepelné ztráty přesahují 100 kWh na tunu odpařené vody. Součet těchto teoretických hodnot udává hodnotu 834 kWh, různé typy sušáren spotřebují obvykle do 1 100 kWh na tunu H₂O. V praxi je nutné spotřebu snížit a to lze realizovat například recirkulací. Převážná část spotřebované energie slouží k pohonu sušícího zařízení. Další zařízení závislé na elektrické energii jsou řídicí a ovládací panely, zařízení pro dopravu kalů nebo zařízení pro úpravu odpadních par. [26]

Kapacita sušáren se stanovuje v tunách odpařené vody. Sušina odvodňovaného kalu na vstupu by měla být 25–30 %, na výstupu potom v rozmezí 90–92 %. Toto rozmezí minimalizuje problémy se samovznícením či výbuchem. Roční provozní doba sušáren se pohybuje okolo 7 500–8 000 provozních hodin. Při provozu je nutné počítat s technologickými přestávkami a to jak plánovanými tak neplánovanými. Z tohoto důvodu je vhodné řešit sušárny jako vícelinkové. Jedná se ovšem o ekonomicky náročnější řešení. Výhodou vícelinkového řešení je také lepší pokrytí kolísání potřebné kapacity. [26]

V současné době jsou nejvíce využívány pásové a fluidní sušárny, alternativou může být solární sušárna čistírenských kalů. Základními parametry pro výběr vhodné sušárny z pohledu technického a ekonomického jsou:

- výše investičních nákladů;
- spolehlivost a délka servisních dodávek;
- bezpečnost provozu;
- počet referenčních sušáren o dané velikosti a typu;
- provozní náklady včetně možnosti rekuperace tepla;
- možnost zapojení sušárny do systému tepelné energie ČOV;
- možnost využití externích zdrojů tepla. [26]

Vhodné je využívat systémy s co nejvyšší rekuperací tepla. Obvyklé řešení zahrnuje zdroje tepla z kogeneračních jednotek, teplo ze spalování bioplynu nebo zemního plynu, teplovody nebo přebytečné teplo z elektráren. [26]

Sušení je ovlivněno plochou přenosu tepla, množstvím procházejícího tepla, teplotou sušení a velikostí vrstvy sušeného materiálu. Důležitým pojmem při procesu sušení čistírenských kalů je adhezni nebo smyková fáze. Jedná se o fázi nastávající při dosažení 40–60 % sušiny, kal tvoří lepivá hmota a je nutné věnovat vyšší pozornost její přepravě

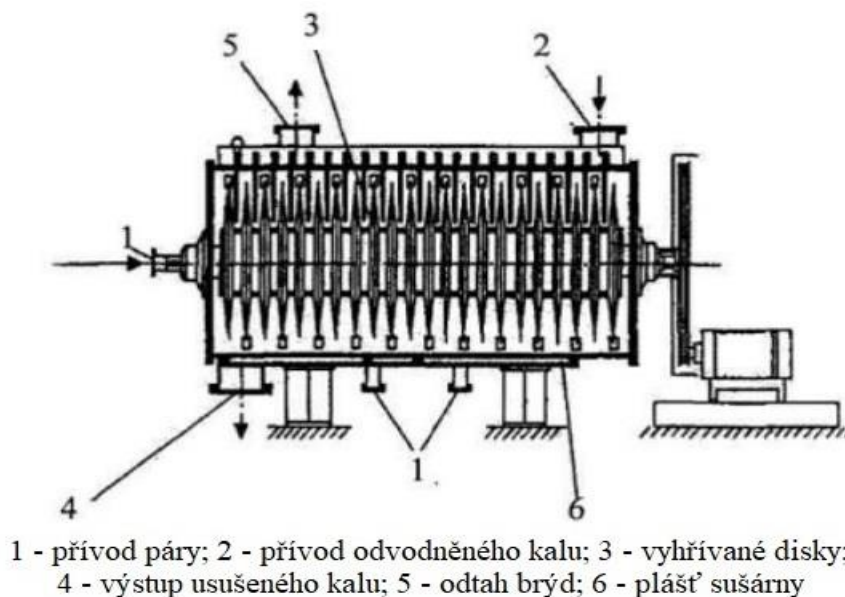
a úpravě. Další fází je klišovitá, nastává okolo 50–60 % sušiny a tvoří se při ní hrudky, které se nabalují na stěny sušárny. Zabránit tvoření hrudek lze přimícháním 3–5 násobku kalu sušeného do kalu částečně odvodněného. [26][27]

Sušárny lze rozdělit na kondukční neboli nepřímé, kde dochází k sušení hmoty pomocí přenosu tepla od vnitřního povrchu zařízení. Druhým typem jsou sušárny konvekční neboli přímé, využívající k ohřevu hmoty plynné medium. Toto medium je v přímém kontaktu se sušeným čistírenským kalem. [16][26]

4.1.4.1 Kondukční sušárny čistírenských kalů

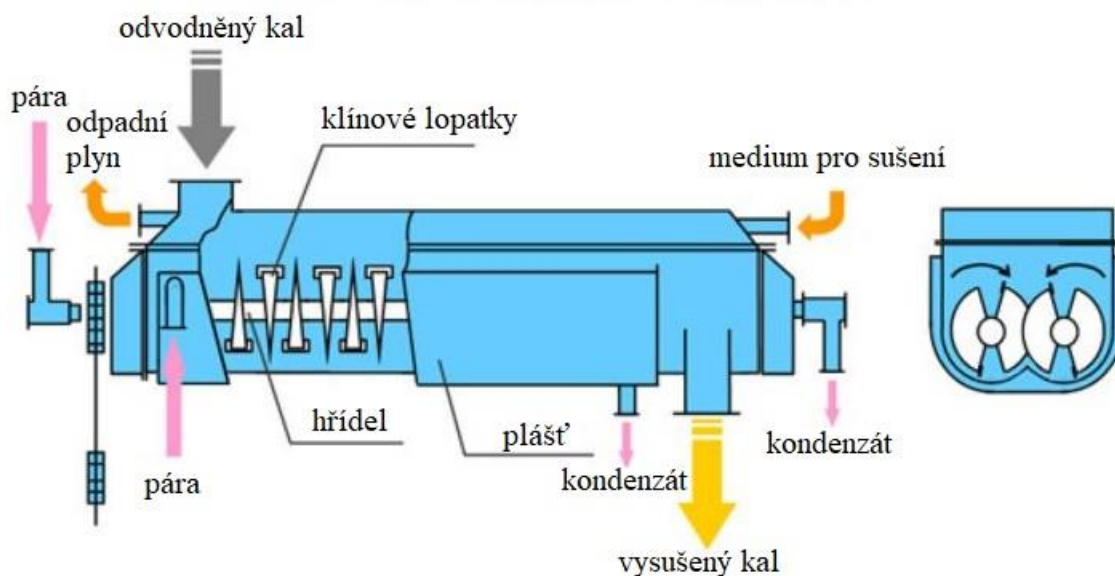
Kondukční sušení probíhá převodem tepla na hmotu z vyhřívaného povrchu zařízení. Jako topná média se využívají pára nebo horký olej. Medium není v přímém kontaktu s kalem. Mezi kondukční sušárny patří zejména diskové, lopatkové a tenkovrstvé sušárny.

- **Disková sušárna** je prostorově nenáročné řešení. Disky se otáčejí, ohřívají, promíchávají kal a zároveň ho posouvají zařízením směrem dopředu. Neustálý kontakt mezi kaly a vyhřívanými plochami zajišťuje vysokou účinnost. Diskové sušárny umožňují zpracování vyhnílého i nevyhnílého čistírenského kalu. [26]



Obrázek 4.4: Schéma diskové sušárny, zdroj: [16]

- **Lopatkové sušárny** mají tělo v horizontální poloze, ve kterém v opačném směru rotují dva hřídele nesoucí speciální klínové lopatky. Vyhřívanou plochou je plášť sušárny a lopatky slouží k mísení materiálu. Někteří výrobci dodávají sušárny také ve vertikální poloze. Primárně jsou však lopatkové sušárny využívány pro sušení práškových kovů nebo barev. [26]



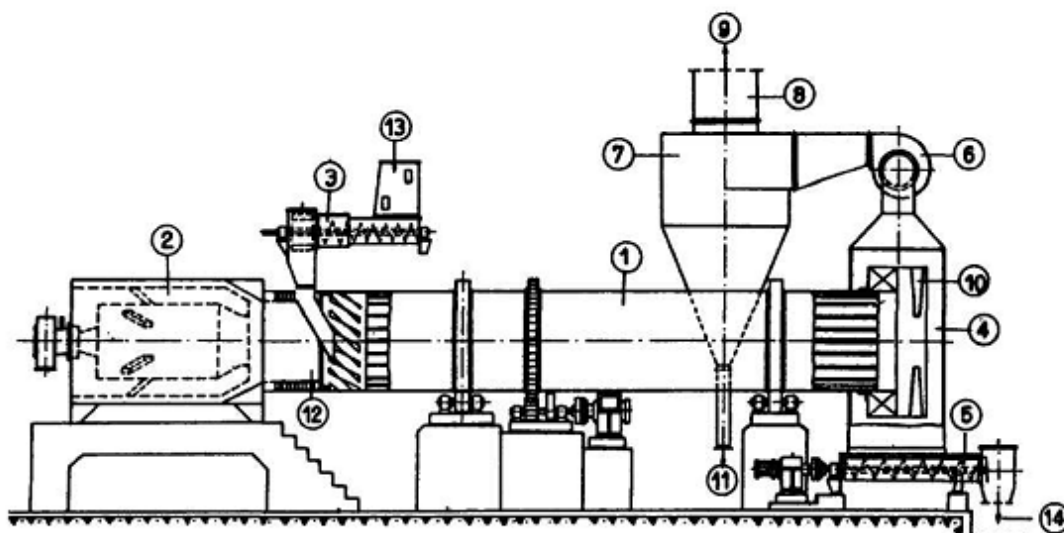
Obrázek 4.5: Schéma lopatkové sušárny, zdroj: [28]

- **Tenkvrstvá sušárna** je založena na principu roztírání dávek vstupujícího kalu po stěnách vyhřívaného válce sušárny. Roztírání je zajištěno speciálními lopatkami. [26]

4.1.4.2 Konvenční sušárny čistírenských kalů

Sušárny pracující na principu sušení proudícím plynem jsou nejvíce zastoupenou technologií pro čištění kalů. Nejpoužívanějšími typy jsou sušárny bubnové, pásové a fluidní. Dalším typem jsou solární sušárny kalů. [26]

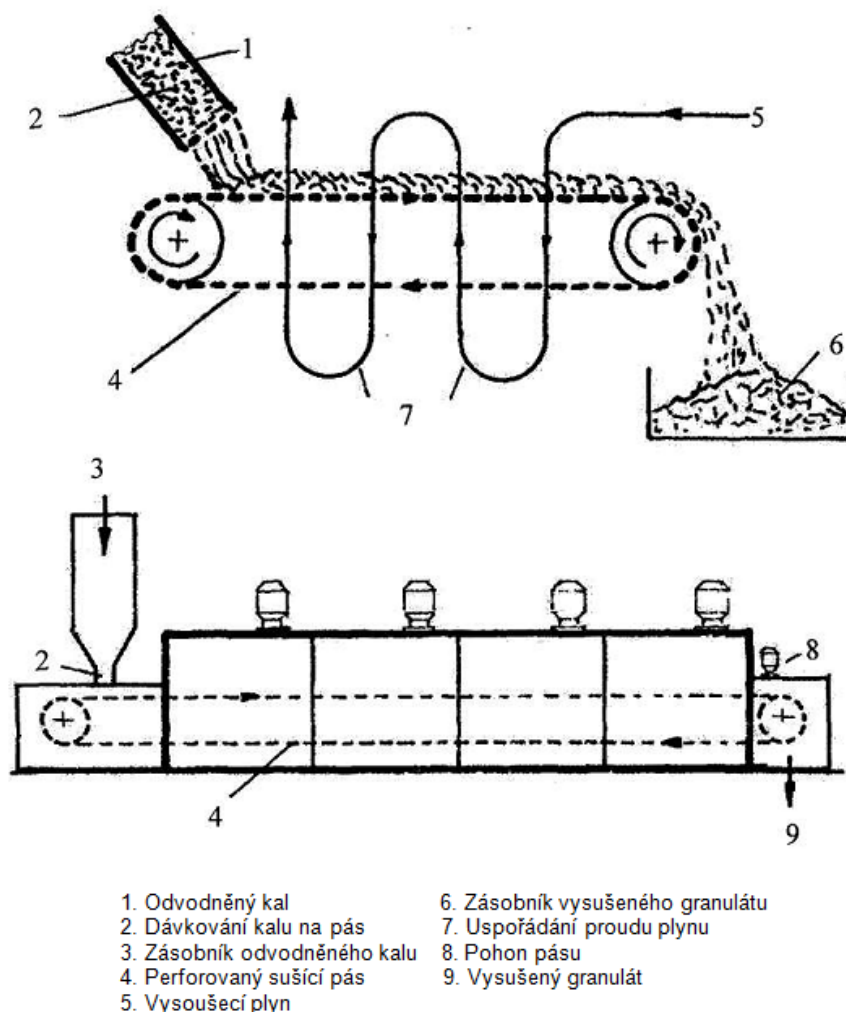
- **Rotační bubnové sušárny** jsou zařízení provozované v kontinuálním provozu. Jedná se o válec o průměru 2–3 m, který je v mírném sklonu směrem k výstupu. Procházející hmota je sušena horkým vzduchem, který je vháněn protiproudě. Vystupující vlhké spaliny jsou zbavovány jemných částic pomocí cyklóny nebo rukávového filtru. Na následujícím obrázku je znázorněna bubnová sušárna čistírenských kalů [26]



- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| 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 4.6: Schéma bubnové sušárny, zdroj: [16]

- **Pásové sušárny** jsou schopny vysušit čistírenský kal přes adhezni fázi a to až na sušinu okolo 90 %. Přiváděný odvodněný kal je rozmístěn na perforované pásy pomocí trysek. Aby mohl být vytvořen z nudliček kalu porézní koberec, je nutné, aby obsah sušiny na vstupu byl větší jak 20 %. Sušárny se skládají z jednoho nebo více perforovaných pásů, kterými je proháněn horký vzduch. V závislosti na zdroji tepla a intenzitě sušení se teplota vzduchu pohybuje obvykle od 70 °C do 140 °C, v závislosti na tom je také odvozena doba zdržení kalu a velikost sušárny. V současné době se preferují nízkoteplotní sušárny s konstantní teplotou. Tento typ sušáren však může mít problém s dosáhnutím požadavku 85 % sušiny na výstupu. Nutný předpokladem je přívod odvodněného kalu bez částic přesahujících 10 mm, aby nedošlo k poškození sušárny. Výhodou těchto sušáren je možnost využití odpadního tepla s úrovní teploty pod 140 °C, naopak limitujícím parametrem je teplota vlastního procesu sušení, velikost sušárny a potřebná cirkulace vzduchu uvnitř sušárny. Pásové sušárny se skládají z výměníku tepla, zařízení pro rozptřeni kalu na pásy, dávkovací sila na odvodněný kal, chlazení vysušeného kalu, sila na vysušený kal a zařízení na čištění odpadního vzduchu. [26]



Obrázek 4.7: Schéma pásově sušárny, zdroj: [16]

- Fluidní sušárny** jsou zařízením k úplnému vysoušení kalů. Jedná se o nepřímo vyhřívané konvekční sušárny, které nemají pohyblivé části uvnitř zařízení. Ventilátory jsou umístěny mimo hlavní tělo a přivádějí turbulentní proudění vzduchu či plynu, který vytváří fluidní lože. Lože je tvořeno vrstvou granulovaného kalu, které je prouděním vzduchu intenzivně promícháváno. Plyny vháněné ventilátorem procházejí vrstvou kalu, která expanduje do fluidní vrstvy. Průtok plynu zajišťuje odtah odpařované vody a energii dodávají topná tělesa umístěná uvnitř fluidního lože. Intenzivní fluidizací ve vznosu zajišťujeme homogenní rozdělení teploty a tím rovnoměrné vysoušení kalu. Plyny cirkulující v sušárně jsou plyny obsažené v kalech. Odvod těchto plynů je zajištěn přes cyklónový odlučovač prachových částic. Teploty se pohybují výše než u pásových sušáren a topným médiem bývají termooleje. Technologie je složena ze samotné fluidní sušárny, síla pro dávkování odvodněného kalu, síla pro ukládání výsledného produktu, zařízení na čištění odváděného vzduchu a kotle na ohřev termooleje nebo jiného zdroje tepla. [16][26]



Obrázek 4.8: Fluidní sušárna, zdroj: [16]

- **Solární sušárna** využívá k vysoušení kalu energii ze slunečního záření. Jedná se o velmi efektivní způsob z hlediska ekonomiky, ale sušárna je závislá na slunečním svitu. Tento typ sušáren vznikl z kalových polí. Je nutné, aby plocha sušárny nebyla zastíněna. Teplota uvnitř zařízení je řízena pomocí ventilace, která pracuje na základě kontinuálního měření teploty a vlhkosti uvnitř skleníku. Pro vyšší účinnost sušení je kal obrácen pomocí zařízení umístěného na podlaze skleníku a je taky možné podpořit proces podlahovým topením. K topení je potřeba výkon přibližně $150\text{--}300\text{ W/m}^2$. Tato metoda sušení zabírá podstatně větší prostor než ostatní metody. [26]



Obrázek 4.9: Příklad solární sušárny, zdroj: [29]

4.1.4.3 Odpadní složky z procesu sušení a nebezpečné aspekty

Při sušení odvodněného vyhnílého kalu dochází ke vzniku kondenzátu. V kondenzátu jsou obsaženy těkavé látky, buněčný obsah buněk vyhnílého kalu a také prachové částice z cirkulačního nebo sušícího plynu. Největší podíl tvoří těkavé látky a je možno odhadnout podíl těchto látek na podobnosti s fugátem z odvodňování kalu. Prachové částice jsou

zdrojem CHSK, NL, P_c, N_c. Orientačně mohou hodnoty CHSK v kondenzátu přesáhnout 2 000 mg/l a hodnoty amoniakálního dusíku 1000 mg/l. Kondenzát je nařazen podle použité technologie chlazení. [26]

Sušárna může také produkovat odpadní vzduch, který tvoří emise sušárny. Základem jsou přebytečný plyn a aspirační plyn. Přebytečný plyn vzniká při vlastním procesu sušení, jedná se o sušící plyn, který je v kontaktu se sušeným materiálem. Aspirační plyn slouží jako ochrana proti výbuchu v jednotlivých technologických částech sušárny. [26]

Ve všech místech, kde se manipuluje s granulami kalu (s výjimkou samotné sušárny), existuje hrozba samovznícení. Uvnitř sušárny je snížena hladina kyslíku, kontaktní doba je krátká a připouští se maximální teplota povrchu 60 °C, tímto je zajištěna téměř nulová pravděpodobnost samovznícení kalů. Největší nebezpečí se nachází v silech na usušený kal a v silech na prach odstraněný v cyklónách. V těchto prostorech dochází k dlouhému zdržení hmoty a za přístupu vzduchu a vzniku doutnání by mohlo dojít ke vznícení. Aby se tak nestalo, jsou určena následující opatření:

- usušený kal se chladí na teplotu pod 40 °C;
- v silu je snížena hladina kyslíku;
- silo je vystaveno mírnému přetlaku, aby bylo zamezeno vniknutí vzduchu;
- uvnitř sila je monitorována teplota, pokud se zvyšuje, přistupuje se k inertizaci;
- inertizace je prováděna dusíkem, ten však zabraňuje pouze vzniku otevřeného ohně, neuhásí doutnající materiál. [26]

Z hygienického hlediska je nutné dobře zabezpečit jak sušení kalu tak manipulaci s odvodněným a usušeným kalem. Kal vysušený na 65–70 % sušiny je problematický, protože během několika dnů zpravidla začínají na jeho povrchu působit biologické procesy jako je například růst hub. Kal vysušený na 90–95 % sušiny je obvykle hygienicky zabezpečený, problém je ovšem s výskytem prachových částic, které mohou způsobovat alergickou reakci při kontaktu s pokožkou, očima nebo dýchacími cestami. Z těchto důvodů je nutné zajistit v technologické lince prachotěsnost. [26]

4.2 HYGIENIZACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Před finálním využitím nebo finální likvidací kalů je nutné zajistit jejich hygienickou nezávadnost. Hygienizace spočívá ve snížení počtu patogenních mikroorganismů na přijatelnou hodnotu podle toho, jak budou dále využívány. Většina choroboplodných organismů je zničena již při čištění odpadních vod, patogenní mikroorganismy však v určitém množství přežívají. Mezi tyto mikroorganismy patří například salmonela, enterokoky nebo koliformní bakterie. Jedná se o viry, bakterie a parazity opouštějící zažívací trakt živočichů a lidí. [23]

V české legislativě se věnuje této problematice odvětvová technická norma „*TNV 75 8090 Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod*“ z února 2015. Norma se zabývá metodami hygienizace kalů, které jsou říditelné a ovladatelné, tedy technickým zařízením s obsluhou. Podle zařazení metody do technologické linky dělíme hygienizaci kalu před procesem stabilizace, součástí procesu stabilizace a po procesu stabilizace. Od 1. 1. 2017 je možno skladovat hygienizované kaly kromě prostorů producenta, také v zařízeních provozovaných osobou užívající díly půdního bloku, kde budou kaly aplikovány a to po dobu 8 měsíců. [30]

Při procesech probíhajících na čistírně odpadních vod dochází k přirozené hygienizaci čistírenských kalů, jedná se o procesy s vyššími teplotami nebo vyšším pH. Do této kategorie lze zařadit:

- aerobní stabilizaci;
- anaerobní stabilizaci;
- aerobní termofilní stabilizaci;
- chemickou stabilizaci;
- odvodňování na kalových polích a v kalových lagunách;
- termické sušení;
- kompostování;
- spalování. [23]

Samotnou hygienizaci, zaměřenou na snížení počtu patogenních mikroorganismů, lze rozdělit na fyzikální a chemickou. Fyzikální metody využívají teplotu, radiaci, ultrazvuk nebo mechanickou destrukci buněk mikroorganismů. Chemické metody využívají silná oxidační činidla, mezi která patří chlor, ozon, fenol nebo formaldehyd. [23]

Nejčastěji užívanou fyzikální metodou pro snížení počtu patogenních mikroorganismů je pasterizace. V tomto procesu je kal na krátkou dobu vstaven teplotám okolo 70 °C. Minimální hodnota pro pasterizaci je uváděna 60 °C. Pasterizace je kombinována se stabilizací kalů. Podle zařazení pasterizace do technologické linky rozlišujeme pre-pasterizaci, zařazenou před stabilizaci čistírenských kalů a post-pasterizaci. V dnešní době se post-pasterizace nevyužívá a to z důvodů opětovného tvoření patogenních mikroorganismů. [23]

Při využití radiace pro hygienizaci jsou kaly ozařovány beta nebo gama paprsky. Účinnost radiace se zvyšuje spolu s teplotou. Takto hygienizovaný kal vykazuje lepší vlastnosti při odvodňování. [23]

Tabulka 4.4: Porovnání metod hygienizace kalů, zdroj: [30]

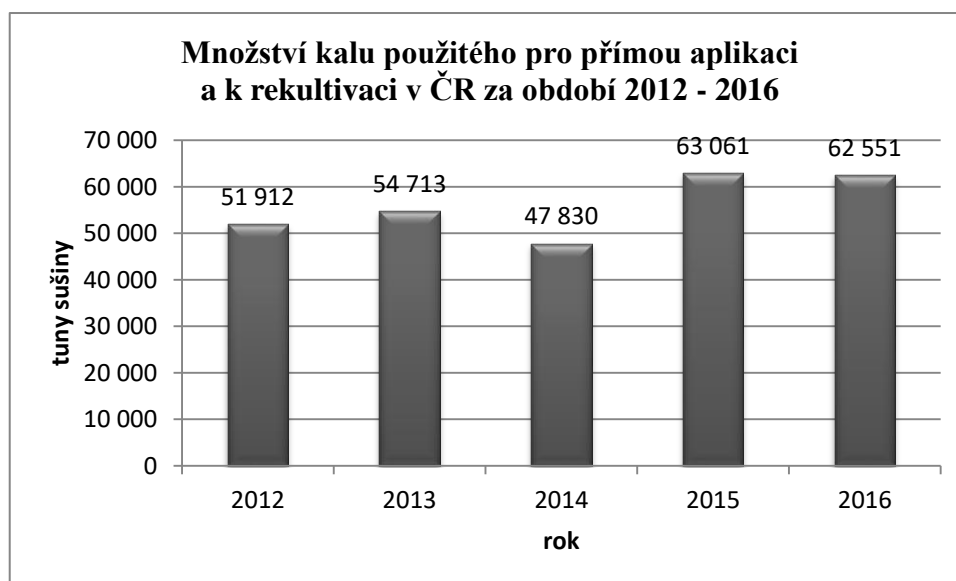
metoda	výhody	nevýhody
hygienizace vyhnilého kalu	<ul style="list-style-type: none"> • nízké investiční náklady • zvýšený obsah vápníku v kalech má příznivý vliv na kyselou půdu 	<ul style="list-style-type: none"> • emise amoniaku do ovzduší s nutností jejich eliminace jak z hlediska pracovního prostředí, tak i z hlediska emisí do ovzduší • snížení hnojivé schopnosti kalu v důsledku úbytku dusíku
pasterizace surového kalu	<ul style="list-style-type: none"> • vysoké hygienické zabezpečení kalů, případné zkratové proudy při termické předúpravě kalu jsou eliminovány při následné anaerobní stabilizaci kalů • zvyšuje produkci bioplynu • odvodněný kal i fugát mají stejnou teplotu jako u anaerobní stabilizace bez předřazené pasterizace 	<ul style="list-style-type: none"> • nebezpečí zalepování teplosměnných ploch výměníku v důsledku ohřevu surového kalu na teplotu 70 °C • složitá soustava výměníků tepla • zvýšení energetické náročnosti systému • nebezpečí zpětné kontaminace kalu nežádoucími mikroorganismy
pasterizace vyhnilého kalu	<ul style="list-style-type: none"> • vysoké hygienické zabezpečení kalů • při odvodňování se obvykle dosáhne vyšší sušiny odvodněného kalu • ohřev surového kalu na nižší teplotu • nižší energetická náročnost oproti pasterizaci surového kalu 	<ul style="list-style-type: none"> • zvýšená teplota stabilizovaného kalu před odvodněním a tím vyšší teplota odvodněného kalu

5 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Čistírenské kaly jsou velmi specifickou hmotou. Na jedné straně jsou velmi cenným zdrojem jak z pohledu energetického, tak z pohledu obsahu živin a dalších látek, které mají pozitivní vliv na půdy zemědělské i nezemědělské. Na straně druhé se jedná o nebezpečný až toxický materiál, který obsahuje škodliviny, jako jsou těžké kovy nebo xenobiotika. I když Evropská unie připravuje legislativní kroky, které výrazně ovlivní používání čistírenských kalů (především skládkování a využití v zemědělství), v současné době je stále poměrně široké spektrum možností, jak s kaly naložit. Kromě bezpečného a ekonomicky výhodného využití kalů jako obnovitelného zdroje energie je privilegiem EU také získávání fosforu z čistírenských kalů. Tento přístup označujeme jako materiálová transformace neboli Circular Economy a snažíme se využít to, co je cenné, zbytek koncentrovaně stabilizovat, zlikvidovat a deponovat. [31]

V České republice převládá kompostování kalů, jejich aplikace na zemědělskou půdu a rekultivace. Zastoupení má také skládkování a spalování. Jako perspektivní metody se jeví pyrolýza a zplyňování kalů. Dalšími možnostmi využívanými v dnešní době je spoluspalování, přidávání kalů do stavebních materiálů nebo spalování v cementářských pecích. [2][36]

5.1 APLIKACE KALŮ NA PŮDU A REKULTIVACE



Obrázek 5.1: Množství kalů použitých pro přímou aplikaci na půdu a k rekultivaci v ČR za období 2012–2016, zdroj: [2]

5.1.1 Využití kalů v zemědělství

Kaly jsou na půdu aplikovány za přísných podmínek daných zákonem a vyhláškou (viz. kapitola 2.2). V současné době ještě rozlišujeme kaly dvou kategorií. Jedná se o přechodné období do 31. 12. 2019. Od 1. 1. 2020 se kategorie kalů ruší a závazná budou mikrobiologická kritéria kalů. Kategorie I. jsou kaly, které je možno obecně aplikovat na zemědělské půdy, pokud jsou dodrženy ostatní aspekty dané vyhláškou. Kaly II. kategorie je možno aplikovat pouze na zemědělské půdy určené k pěstování technických plodin a na půdy, na kterých se nebude minimálně tři roky po použití těchto kalů pěstovat polní zelenina nebo intenzivně plodící ovocná výsadba, to vše při dodržení zásady ochrany zdraví a ostatních ustanovení vyhlášky. [3][30]

Vyhláška č. 437/2016 Sb. mimo jiné udává povinnost původce čistírenských kalů sestavit program použití kalů, kterým se musí osoba využívající stabilizovaný a hygienizovaný kal řídit. Tento dokument vždy obsahuje vyhodnocení kalů z hlediska jejich použití na zemědělské půdě, výčet vybraných pozemků určených k použití kalů včetně ukazatelů pro jejich hodnocení, hydrologické poměry na území použití kalů, zařazení použití kalů do osevního postupu, návrh monitoringů kalů a půdy, plán odběru vzorků, opatření na ochranu zdraví při práci s kaly a rovněž je stanoven způsob pro dočasné uložení kalů. Dále také stanovuje technické podmínky použití upravených kalů, mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a koncentrace těžkých kovů nebo postupy a metody analýzy kalů a půdy. Omezení se týká také velikosti dávky, která je určena maximálně na 5 tun sušiny v jedné agrotechnické operaci na hektar. Pokud je obsah limitujících látek pod 50 %, je možné zvýšit dávku až na 10 tun sušiny kalu na hektar. Limitující látky jsou vypsány v kapitole 2.2. Důležitým aspektem je také skladování kalů před aplikací na zemědělskou půdu. Pokud nejsou kaly aplikovány na půdu do 8 měsíců od jejich technologické úpravy, je nutné znovu provést ověření mikrobiologických kritérií. [3][30]

Sousední státy jako je Německo nebo Rakousko jsou v tomto ohledu o krok napřed než zbytek EU a začátkem roku 2017 představily legislativu, která velmi zpřísňuje aplikaci čistírenských kalů na zemědělskou půdu. Německo zakázalo použití kalů k agrochemickým účelům pro ČOV větší než 50 000 EO. Pro čistírny pod 50 000 EO je aplikace kalů na zemědělskou půdu možná za přísnějších podmínek. Rakousko přišlo s návrhem zákazu využívání čistírenských kalů pro aplikaci na půdu a pro kompostování z ČOV nad 20 000 EO pro přechodnou dobu 10 let. [31]

Tabulka 5.1: Výhody a nevýhody užití kalů na zemědělskou půdu, zdroj: [16]

využití kalů na zemědělskou půdu	
výhody	nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> • užitečné živiny obsažené v kalech (dusík, fosfor) • užitečné organické látky pro zlepšení humusového podílu v půdě • možnost regulovat aplikaci na půdu • zlepšení textury a sorpčních schopností půdy díky přítomnosti organických látek • podpora růstu rostlin 	<ul style="list-style-type: none"> • velké náklady na skládkování (kal může být aplikován na půdu jen několikrát ročně) • závislost na jednotlivých uživatelích a administrativních dohodách • nedostatek znalostí o obsahu organických mikropolutantů a patogenních organismů v kalech a jejich účinek na potravní řetězec • možnost zvýšení nežádoucích látek v půdě • riziko přenosu patogenních organismů na živočichy a člověka • zápach aplikovaných kalů

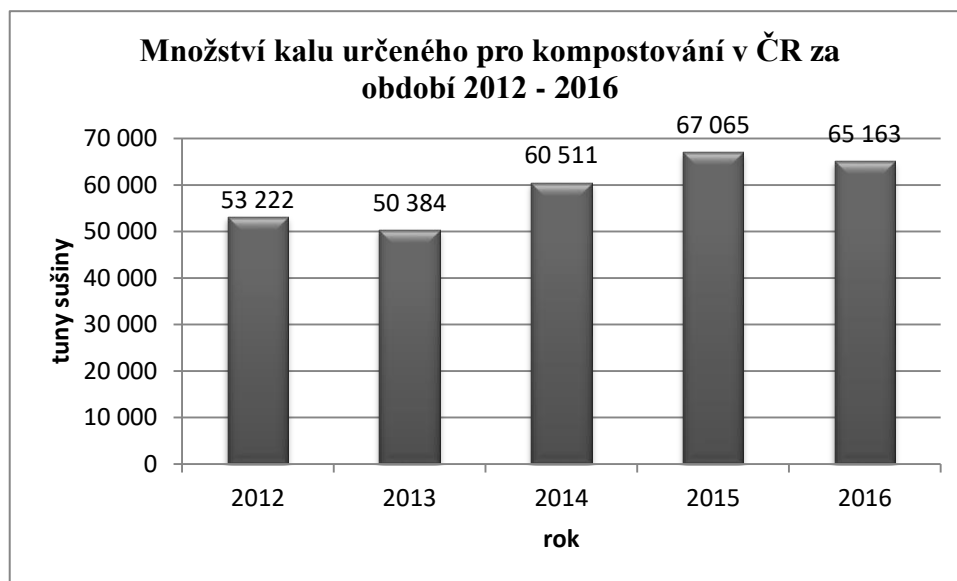
5.1.2 Rekultivace pomocí čistírenských kalů

Rekultivace je proces přetváření krajiny do původního stavu po působení antropogenní činnosti člověka, jako jsou skládky nebo lomy. Důležité je, aby rekultivovaná krajina nerušila ráz krajiny, mohl být obnoven půdní život, byla zvýšena vodní bilance a biologická rozmanitost, jinými slovy, aby mohl začít na daném místě opět fungovat samostatný ekosystém. Vyhláška č. 437/2016 Sb. stanovuje použití čistírenských kalů k rekultivaci pouze v případě, že byly prokazatelně upraveny ve smyslu odstranění nebezpečných vlastností, tj. infekčnosti a splňují legislativní limity obsahu škodlivin v odpadech využívaných na povrchu terénu a související ekotoxikologická kritéria. Čistírenské kaly se využívají spolu s popílkem ze spalování hnědého uhlí nebo se zbytky z dřevozpracujícího průmyslu jako materiál pro přípravu rekultivačních substrátů. Kaly jsou důležitou součástí především pro růst rostlin, přináší do směsi důležitý obsah organické hmoty a bohatou bakteriální mikroflóru. [32]

5.2 KOMPOSTOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Jedná se o druhý nejvíce rozšířený proces nakládání s kaly v České republice. Kompostování může sloužit jako stupeň před využitím kalů na zemědělskou půdu nebo k rekultivaci. Rozhodujícím faktorem je především obsah těžkých kovů, solí a živin. Kompostování je kontrolovaný biologický rozklad organické hmoty za přítomnosti vzduchu. BRO je transformován do půdních složek za pomoci bakterií, hub a dalších organismů. Kompostování můžeme rozdělit na otevřený a uzavřený kompostovací systém. Základní

rozdíl je ve využití přirozeného větrání (otevřený systém) nebo zvýšené aerace (uzavřený systém). Uzavřený systém může fungovat kontinuálně nebo periodicky. [16][33]



Obrázek 5.2: Množství kalu určeného ke kompostování v ČR za období 2012–2016, zdroj: [2]

V úvodní fázi kompostování dochází k uvolnění polysacharidů, bílkovin a tuků obsažených v odpadech za uvolňování tepla. Dochází k zahřátí kompostu na 50–65 °C, probíhají hydrolyzní procesy a u materiálu se zvyšuje kyselost hromaděním organických kyselin. Tato fáze trvá 2–3 týdny a poté začne teplota kompostu klesat. Další fáze je provozována za teplot 40–45 °C, dochází zde k přeměně mikroorganismů, vznikají humusové látky a v kompostu již není znatelné původní složení odpadu. V poslední fázi dochází ke zrání kompostu. Zbarvení je hnědé, klesá kyselost substrátu a kompost přestává být fytotoxický. [16]

Kal vhodný ke kompostování musí splňovat vynikající fyzikální, chemické i mikrobiologické vlastnosti. Mimo jiné je také důležité, aby byla přijatelná i vizuální stránka, tedy že kal neobsahuje cizorodé látky, jako jsou například plasty. Také musí být stabilizovány, aby nedocházelo k zápachu. Kromě dobrých organických vlastností a dostatečné vlhkosti, musí kaly obsahovat dostatek dusíku a fosforu. Pokud mají čistírenské kaly vysoký obsah vody, je nutné je smíchat s jiným vysoce fermentovatelným organickým materiálem, který má nízký obsah vody. Pro účinnou biodegradaci během procesu je nutné, aby byl obsah vody 55 %, nad 60 % dochází ke snižování teploty a obsah kyslíku, oproti tomu obsah vody pod 50 % omezuje rychlost kompostování. Bakteriální činnost je také ovlivňována hodnotou pH. Ideální hodnota je v rozmezí 5,5–8,0. Optimální růst organismů zajišťuje správný poměr uhlíku a dusíku, ten by se měl pohybovat v rozmezí 25:1–30:1. [16]

V České republice se pro přípravu kompostu využívá surovinová skladba, která obsahuje pouze 20 % hmotnosti čistírenského kalu. Tato skladba je optimalizována

z hlediska vlhkosti, poměru uhlíku a dusíku, přítomnosti lehce rozložitelných látek a fosforu. Vyšší podíl odvodněného čistírenského kalu v surovinové skladbě vyžaduje přídavek strukturního substrátu, který zajišťuje dostatečnou pórovitost kompostu. Pro dostatečnou strukturu se do surovinové skladby přidává drcená stromová kůra, dřevní štěpka, drť z papíru nebo lepenky, případně řezanka ze slámy. [16]



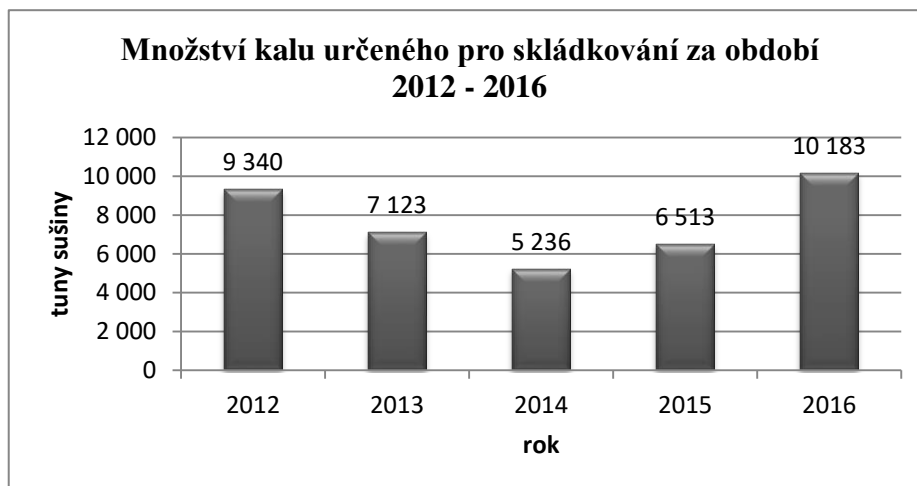
Obrázek 5.3: Obracení kompostu, zdroj: [34]

5.3 SKLÁDKOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

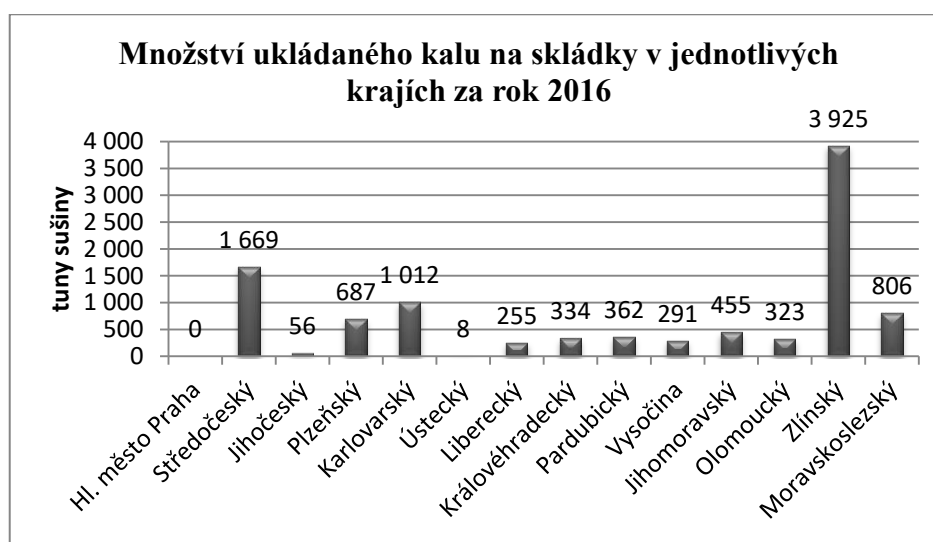
Skládkování bylo do roku 2016 ještě třetím nejrozšířenějším způsobem nakládání s kaly z ČOV v České republice. Jedná se o velmi diskutované téma jak na republikové úrovni, tak na úrovni Evropské unie. Tento způsob je nejméně vhodný. Nejen že není kal využit jako obnovitelný zdroj, ale také působí jako hrozba pro kontaminaci půd, popřípadě ovzduší.

Na stránkách Ministerstva životního prostředí se nachází informace o zákazu ukládání kalů na skládky v rámci ČR. Oproti tomu Český statistický úřad udává data o množství kalu uloženého na skládky, a ani v zákonech a vyhláškách jsem nenašel přímou odpověď na možnost skládkování čistírenských kalů. Směřoval jsem tedy dotaz přímo na Ministerstvo životního prostředí, zda je možno kaly na skládky ukládat nebo ne. Podle vyjádření MŽP [68] vychází zákaz skládkování z přílohy č. 5 „Vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady“, kde je v části „A. Seznam odpadů, které je zakázáno ukládat na skládky všech skupin a používat jako technologický materiál nebo využívat na povrchu terénu.“ pod bodem 2 uvedeno: „Kapalným odpad a odpad, který sedimentací uvolňuje kapalnou fázi, s výjimkou kovové rtuti, která je jako odpad přijímána

k dočasnému skladování za podmínek podle § 9a“. Do této kategorie spadají i čistírenské kaly a jejich skládkování je tedy zakázáno. Současně mi bylo sděleno, že byla vyhláška v roce 2017 novelizována, a tak statistická data za rok 2018 by už neměla zahrnovat skládkování, jako způsob nakládání s kaly.



Obrázek 5.4: Množství ukládaného kalu na skládky v ČR za období 2012–2016, zdroj: [2]



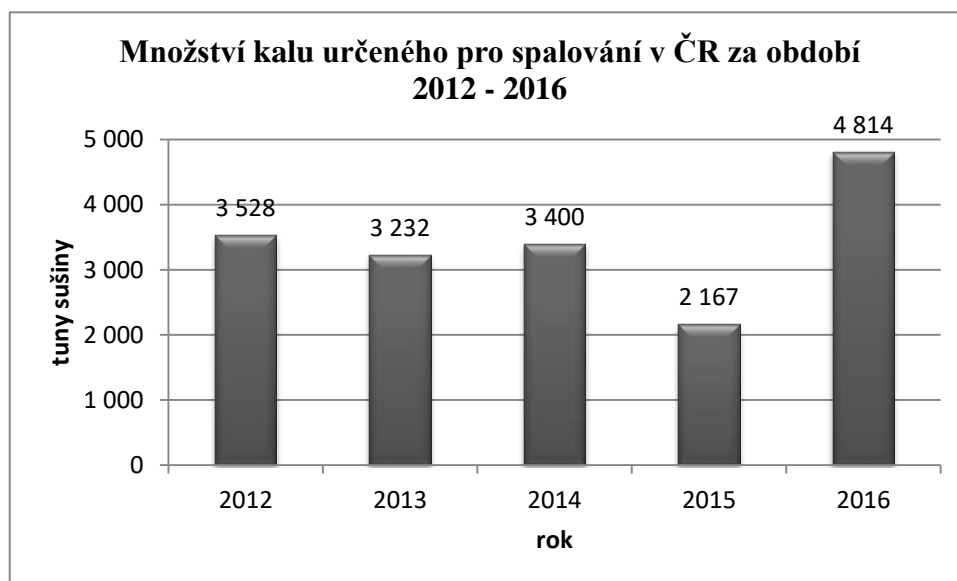
Obrázek 5.5: Množství ukládaného kalu na skládky v ČR za rok 2016, zdroj: [2]

Přímé skládkování kalů naráží na několik překážek. Pokud by byl kal úplně bez úpravy, jednalo by se především o skládkování silně znečištěné odpadní vody. Při odvodňování kalu jsme totiž schopni dosáhnout sušiny okolo 30 %. Problém také tvoří infekčnost kalů, doprava kalu v tomto skupenství či speciální nároky na skládku. Skládku by se také stala ložiskem patogenních organismů. Některé problémy lze odstranit anaerobní stabilizací čistírenských kalů a následným procesem upravující jejich fyzikální a chemické vlastnosti tak, aby vyhovovali požadavkům, tzv. proces S/S (stabilizace/solidifikace). Tekutý nebo plastický kal je promíchán s matricí, což je organická či anorganická hydraulicky vazebná látka (např. elektrérenský popílek), která reaguje s vodou v kalu. Nežádoucí látky jsou v něm vázány pomocí srážecích reakcí

a dochází k růstu pH, což ničí patogenní mikroorganismy. Výhodou je minimální únik pachových stop. Typ skládky pro uložení čistírenského kalu se určoval pomocí vodného výluhu z kalu. Tento postup je ekonomicky náročný a při uložení kalu na skládku nedochází k jeho znovuvyužití. Skládkování kalů není dle mého názoru tím správným směrem a je třeba využívat prospěšnější metody. [23][35]

5.4 TERMICKÉ ZPRÁCOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Pro čistírenské kaly, které nemají odpovídající vlastnosti pro aplikaci na zemědělskou půdu nebo pro jinou metodu zpracování kalů, volíme metody termické. Termickým metodám obvykle předchází sušení. Tyto procesy jsou dobrým příkladem pro cirkulární ekonomii, kterou podporuje Evropská unie. Vyznačují se dlouhodobým uzavřeným tokem materiálů a patří sem pyrolýza, zplyňování kalů, spalování nebo spoluspalování v cementářských pecích. Některé metody také umožňují poměrně snadné zpětné získávání fosforu z čistírenských kalů. Principem cirkulární neboli oběhové ekonomie je snaha o minimalizaci vzniku odpadů. Odpadem přestává být materiál, pro který existuje zpětné využití, je po něm poptávka, splňuje technické požadavky pro dané využití a je v souladu s legislativou. [36]

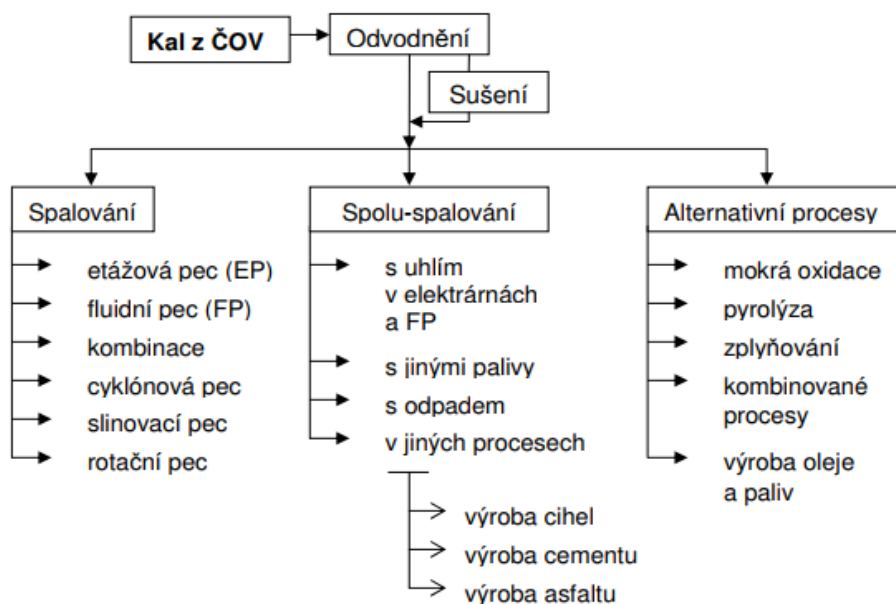


Obrázek 5.6: Množství kalu určeného ke spalování v ČR za období 2012–2016, zdroj [2]

V odpadní vodě a v kalech je obsažena energie, kterou lze charakterizovat ukazatelem CHSK. Populační ekvivalent pro CHSK odpovídá přibližně hodnotě 120 g CHSK/EO.d, což v přepočtu znamená zhruba 170 kWh/EO.rok. Pouze část této energie se dostane až do čistírenských kalů. Oxidace v aerobním procesu a zbytkové znečištění pohltí cca 45 % energie. Část energie také odchází v podobě bioplynu, pokud je zařazena do technologické linky anaerobní stabilizace a velmi malou část spotřebují biologické procesy. Energie je vázána na organickou složku kalu, z tohoto důvodu jsou velké rozdíly v energetické bilanci vztažené na sušinu u surového a stabilizovaného kalu. Energií obsaženou v kalech

vyjadřujeme jako spalné teplo neboli výhřevnost. Vysušený kal z komunálních čistíren odpadních vod má výhřevnost 8–12 MJ/kg sušiny. Kal svými vlastnostmi připomíná v mnoha ohledech hnědé uhlí. Pro termické využití, je vhodné kal překlasifikovat na TAP (tuhé alternativní palivo). Tento pojem je přímo součástí názvů norem zabývajících se touto problematikou. Jedná se o normy „ČSN EN 15 359 Tuhá alternativní paliva – Specifikace a třídy“ a „ČSN EN 15 357 Tuhá alternativní paliva“. Základem tuhých alternativních paliv nesmějí být nebezpečné odpady. Mezi základní charakteristiky klasifikace systému TAP je výhřevnost (ekonomické hledisko), obsah chloru (technické hledisko) a obsah rtuť (environmentální hledisko). [36]

V odpadní vodě a v kalech jsou z energetického bilančního hlediska důležité především uhlík, vodík, síra, kyslík a dusík. Uhlík se v kalech nachází ve formě organických a anorganických sloučenin, je základním stavebním prvkem organických sloučenin a významným nositelem tepla. Chemický prvek vodík je obsažen v menším množství, ale při hoření vyvine čtyřnásobné množství tepla, což se pozitivně projeví na výhřevnosti. Vyskytuje se vodík volný a vodík vázaný, vázaný vodík je součástí vody a nepodporuje výhřevnost. Síra se vyskytuje v malých koncentracích a je nežádoucím prvkem, který zvyšuje energetický obsah odpadní vody. Stejně tak je nežádoucím prvkem kyslík, který váže vodík a uhlík na vodu a oxid uhličitý, čímž snižuje výhřevnost čistírenských kalů. Dusík není součástí reakcí hoření, ale svou přítomností snižuje podíl ostatních prvků a tím snižuje výhřevnost. Dusík přechází přímo do spalin. [36]



Obrázek 5.7: Způsoby termického zpracování kalů, zdroj [37]

Typické hodnoty výhřevnosti kalů:

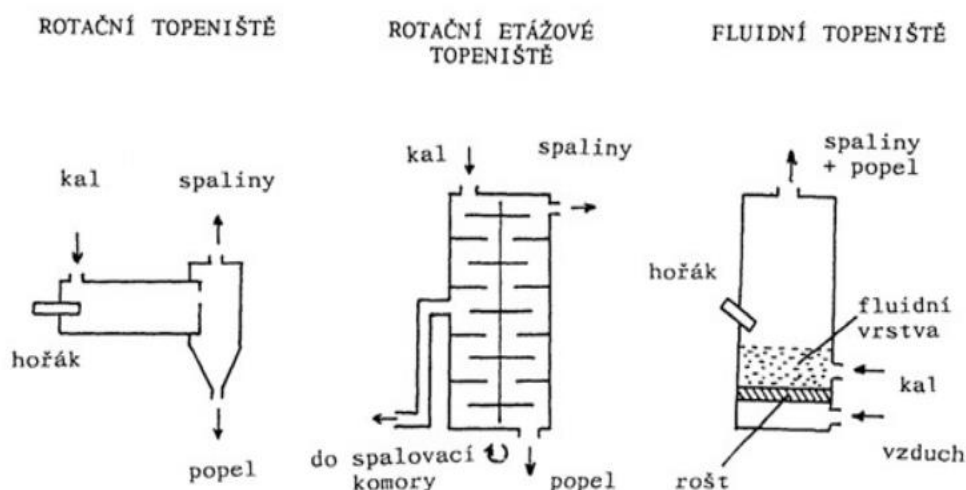
- aktivovaný kal: 20,7 – 24,4 MJ/kg org. sušiny;
- primární kal: 23,3 – 27,9 MJ/kg org. sušiny;
- anaerobně stabilizovaný kal: 22,1 – 24,4 MJ/kg org. sušiny. [60]

5.4.1 Spalování kalů

Metoda spalování kalů není typickým příkladem využití oběhové ekonomie. Energetická bilance spalování kalů je založena na použité technologii, a především na obsahu organických látek v kalu. Pokud je dostatečný obsah organických látek, je možné kaly spalovat samostatně a získat využitelnou tepelnou energii. Pokud jsou v čistírenských kalech obsaženy ve vyšší koncentraci nespalitelné složky, je nutné zařadit do procesu přídavná paliva s dostatečnou výhřevností. Příkladem takovýchto paliv můžou být papíry, hadry, dřevo nebo topné oleje či plynná paliva. Pro spalování kalů je třeba dosáhnout co nejlepšího odvodnění, pokud je přítomna voda ve velkém množství, dochází k jejímu odpařování a spotřebovává značné množství vznikající tepelné energie. Vhodnější jsou kaly po anaerobní stabilizaci. Pokud spalováním vyhnílených kalů nevznikne dostatek tepelné energie, je využití anaerobní stabilizace značně neekonomické. [16]

V současné době je také známá technologie využití surových, nevyhnílených kalů. Jedná se o přímé spalování v odpovídajícím parním kotli. Páru je možno tímto způsobem vyrábět díky entalpii spalin. Technologický řetězec je schopen minimalizovat emise unikající do ovzduší a kultivovat zbytkový materiál. Výhodou procesu je vkládání odvodněného kalu přímo do ohniště a odpadá tak vyhánění surového kalu nebo jeho sušení. Základem procesu je dosažení autarkního spalování při adiabatické spalovací teplotě 850 °C. Podmínkou je dosažení minimální hodnoty výhřevnosti a použití vhodného typu ohniště pro vlastní spalovací proces. Metoda je, v porovnání se zařízením na vyhánění, velmi úsporná na zábor ploch. [38]

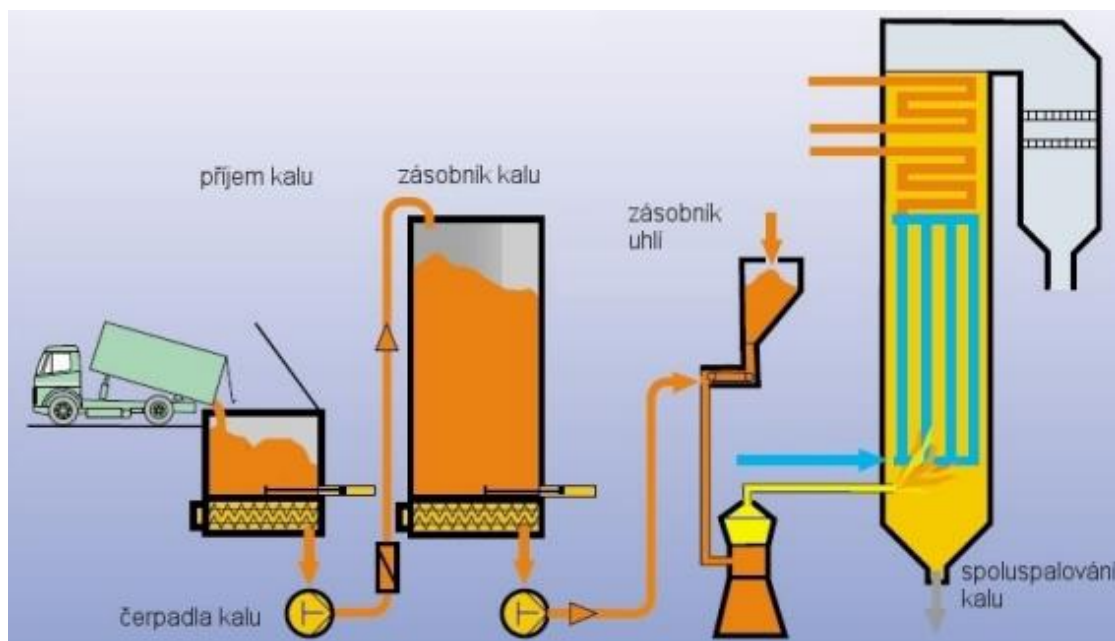
Mezi základní druhy technologií používaných pro spalování kalů patří rotační topeniště, rotační etážové topeniště a fluidní topeniště. Rotační topeniště je zařízení pro spalování především průmyslových kalů. Kaly jsou spalovány ve vodorovně uloženém otáčivém bubnu, což zajišťuje dobré mísení a dobrý přístup spalovacího vzduchu. Na výstupu z topeniště je umístěna ještě spalovací komora, kde dochází ke spálení případných zbytků a také těkavé páchnoucí složky čistírenských kalů. Rotační etážové topeniště je umístění několika rotačních topenišť ve vertikálním směru. Kal prochází od shora dolů a díky šroubovici je zajištěna jeho dlouhá doba zdržení. U této technologie je také obvykle instalována spalovací komora na výstupu z topeniště. Pro fluidní topeniště je nutné dodání dobře odvodněného nebo vysušeného kalu, aby bylo možno tento kal rozpráshit do prostoru topeniště pomocí rozmetacího zařízení. Fluidní topeniště je vertikální válcový objekt, ve kterém je na dně instalován tryskový nebo keramický rošt. Na tomto roštu je vrstva písku, která je vzduchem vhnána do vlnosku a tvoří ve spalovacím prostoru nad roštem vířivý mrak, ve kterém probíhá spalování. Spaliny jsou z topeniště odváděny v horní části. [16]



Obrázek 5.8: Schéma topenišť pro spalování kalů, zdroj [16]

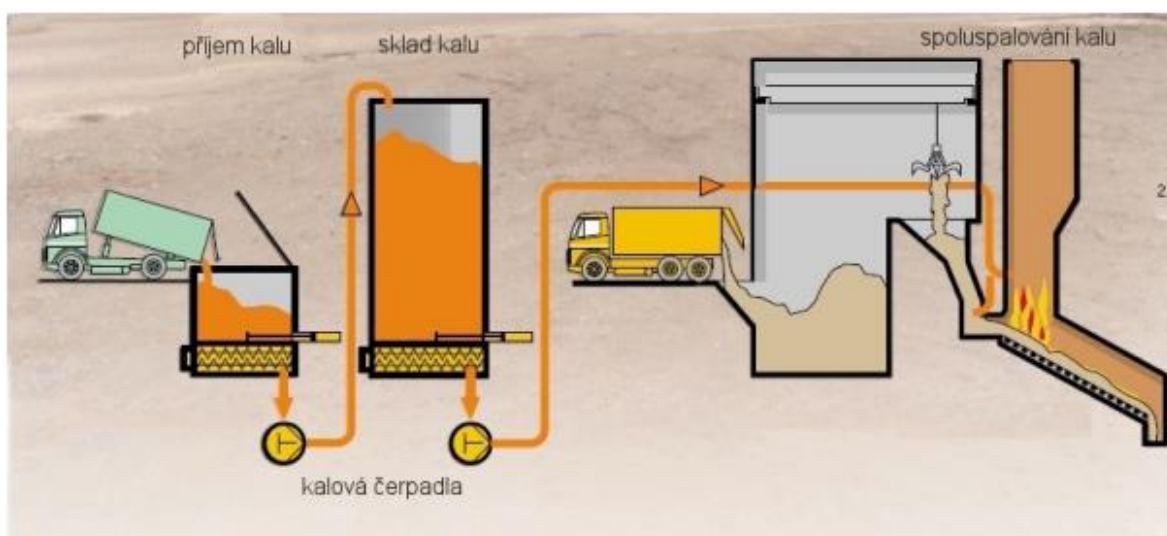
5.4.2 Spoluspalování čistírenských kalů

Tato metoda je ekologická a finančně výhodná. Při spolu-spalování kalů v teplárnách a elektrárnách je čistírenský kal přiváděn společně s hnědým nebo černým uhlím do stávajících kotlů. Obvykle množství kalu tvoří 5 % z celkového množství spalovaného uhlí. Tento podíl je ovlivněn vytížením kotle, způsobem topení, teplotou tavení popela a také vlhkosti zastoupené v uhlí. Teplota spalování a doba zdržení plynu v topeništi zajišťuje takřka úplnou tepelnou degradaci kalů. Omezení množství spalovaných kalů je především z důvodu omezeného množství přívodu vody do spalovacího prostoru a zabránění tak snížení teploty spalování. Přídavkem kalů se nesmí snížit teplota tavení popela, mohly by vzniknout problémy na kotli. Výhodou technologie je možnost spalování kalů odvodněných na 25–30 % sušiny, technologie používaná na odsíření spalin většinou postačuje i na dodržení limitních hodnot při spolu-spalování kalů, náklady na odstranění zbytků po spalování kalů jsou minimální, stejně tak zvýšení personálních nákladů. Meziuložení, přeprava a dávkování kalů vyžadují instalaci zařízení, které nevyžadují neúměrné investiční náklady. Pokud je složení kalu podobné jako hlavní palivo získáváme vysoké tepelné účinnosti. Problémy mohou nastat při vysokém obsahu rtuti v kalech nebo při použití vápencové vypírky, která zhoršuje kvalitu popílků. [36][37]



Obrázek 5.9: Schéma spolu-spalování čistírenských kalů v elektrárnách, zdroj: [37]

Další možností je spolu-spalování čistírenských kalů ve spalovnách tuhého komunálního odpadu. Proces je obdobný spalování v teplárnách a elektrárnách. Jako výhodu lze vnímat většinou instalovaný existující moderní systém čištění spalin. Přidáním vysušeného kalu přibližně na 20 % sušiny, je možný vznik problémů v procesu hoření. Z tohoto důvodu se doporučuje přidávat kal vysušený na podíl sušiny 55–65 %. Naopak, je-li kal zcela vysušený je nutné ho co nejdříve a pečlivě promíchat s odpadem, aby nedošlo k výbuchu. Pokud budeme kal do pece přivádět pouze zahuštěný, uvádí se poměr k odpadu 1:4 (kal:odpad). Fluidní spalovny TKO umožňují spalování kalu v odvodněném stavu. [37]



Obrázek 5.10: Schéma spolu-spalování kalů ve spalovnách TKO, zdroj: [37]

5.4.3 Spalování kalů v cementářské peci

Spalování a sušení kalů v cementářské peci je logickým krokem. Vysoká teplota v cementářských pecích zaručuje dokonalou destrukci organických látek včetně látek rezistentních. Anorganický podíl kalů přejde do slínku a stane se součástí vyráběného cementu. Při této termické destrukci usušených kalů je minimálně zatěžováno životní prostředí a je využita energie organické i anorganické složky usušeného kalu. Díky pevné vazbě spáleného kalu v cementářském slínku a následnému využití se jedná o materiálové využití odpadu. Podle kvality je možná nahradit 1 tuna sušených kalů až třetinu tuny suroviny. Tento způsob je ekonomicky zajímavým, pokud dochází k sušení kalů pomocí odpadního tepla z výroby cementu. Unikající škodliviny z výpalu, jako jsou těžké kovy, síra, chlor nebo alkálie, jsou v technologii výpalu cementářského slínku zachyceny. Zkoušky výluhem prokázaly jejich zachycení na silikátových mřížkách. Problematickými složkami jsou těkavé látky, jako je rtuť nebo thalium. Při sledování těchto látek během procesu bylo zjištěno, že kondenzují na velmi jemné prachové částice. V této podobě je možné částice snadno odstranit ze systému, například odlučovačem prachových částic. [36][37]

Tabulka 5.2: Příklad materiálového složení popela čistírenského kalu, zdroj [37]

složení popela kalů v %	
SiO ₂	39,11
Al ₂ O ₃	13,84
Fe ₂ O ₃	13,20
CaO	20,26
MgO	2,53
SO ₃	11,06

Cementárny vyhledávají alternativní paliva včetně čistírenských kalů. Německo nebo Francie v některých závodech nahradili až z 65–75 % fosilní paliva alternativními. Podobná situace se odehrává také ve Švýcarsku. [37]

5.4.4 Mokrý spalování čistírenských kalů

Jedná se o oxidaci tekutého kalu za přísunu vzduchu při teplotách 200–300 °C a při tlaku 40–60 barů. Doba zdržení při tomto procesu je přibližně 60 minut. Všechny kal je mineralizován a za podmínek mokrého spalování je až 90 % organických látek v kalu převedeno na kapalnou fázi ve formě nižších mastných kyselin a metanolu. Z větší části dochází k zoxidování. Proces je exotermní, tedy energeticky aktivní. Mineralizací kalu dochází k uvolňování amoniakálního dusíku ve vyšších koncentracích, z tohoto důvodu je přidáván katalyzátor na bázi mědi, který umožňuje zoxidování amoniaku a následnou transformaci jeho zoxidovaných forem na plynný dusík. Takto je přeměněno 45–70 % amoniakálního dusíku. Kapalná fáze je bohatá na snadno rozložitelné látky a lze použít pro proces denitrifikace. Fáze pevná, je poté snadno odvodnitelná běžnými metodami,

a to i bez využití flokulantů. Při odvodnění lze dosáhnout sušiny až 50 %. Celková účinnost mokrého spalování dosahuje v průměru úspěšnosti odstranění CHSK přes 80 % a odstranění amoniakálního dusíku okolo 50–60 %. [14]

- **Vysokotlaké mokré spalování APO**

Metoda mokré oxidace vyvinuta v Nizozemí v roce 1994 využívá šachtového reaktoru o hloubce téměř 1 300 m. Reaktor je složen ze tří soustředných trub. Vnější trouby slouží jako chlazení, kal je spolu s kyslíkem čerpán do prostřední trouby a je odváděn z prostředí. Materiál vstupující do reaktoru je upravován na částice velikosti přibližně 5 mm dezintegrátory a homogenizuje se. U dna reaktoru vzrůstá teplota kvůli exotermní oxidaci až na 275 °C, vaření směsi je zabráněno tlakem od sloupce vody a plynů. Tento tlak u dna reaktoru narůstá do hodnot 8,5 až 11 MPa. Protiproudání chlazení zajišťuje hodnotu teploty směsi na odtoku 50 °C. V reaktoru dochází k oxidaci rozpuštěných i suspendovaných organických látek plynným kyslíkem. Část látek se oxiduje na oxid uhličitý, část potom na biologicky rozložitelné látky. [14]

Po oxidaci směs obsahuje anorganický nezoxidovaný podíl, který lze nazvat popelem a odpadní plyny. Plyny jsou podrobeny katalytické oxidaci při teplotách cca 500 °C. Popel lze oddělit separací bez přidání flokulantů. Kapalná fáze obsahující amoniak a biologicky rozložitelné látky je podrobena biologickému čištění. [14]

Metoda APO je schopna snížit produkci celkové sušiny kalu přibližně o 75 %, organické látky jsou odstraněny prakticky úplně. Na velmi podobném principu pracuje také například technologie ATHOS, využívané pro průmysl. [14]

- **Mokré spalování v nadkritické oblasti vody**

Tato metoda byla představena společenstvím švýcarsko-amerických výzkumníků. Proces probíhá v nadkritické teplotě vody, tedy nad hranicí 374 °C a při tlaku nad 22 MPa. Největší výhodou je možnost následného využití energetického obsahu kalu. Pro samotný proces je třeba cca 0,5 MJ/kg mokrého koláče respektive 5 MJ/kg sušiny kalu. Tato energetická hodnota tvoří přibližně 30 % celkového energetického obsahu kalů a zbytek je možno využívat. [14]

Společenstvo výzkumníků představilo výsledky na poloprovozním zařízení mokré oxidace, kde proces probíhal při teplotách 500–600 °C a za působení tlaku o velikosti 25 MPa. Spalován byl kal o sušině 10 % a za těchto podmínek došlo ke konverzi všech organických látek a většiny anorganických látek. Doba zdržení v reaktoru se pohybovala do 30 sekund. Uhlík a vodík byly převedeny na oxid uhličitý a vodu, dusík, síra a fosfor na plynný dusík a příslušné soli. Těžké kovy jsou oxidovány. [14]

Celkové náklady na zpracování kalů touto metodou jsou uváděny na tunu sušiny. Na internetu se mi podařilo dohledat pouze cenu v dolarech a eurech. V obou případech se pohybovala okolo 250 jednotek dané měny. Přepočteno na koruny je značně ovlivněn

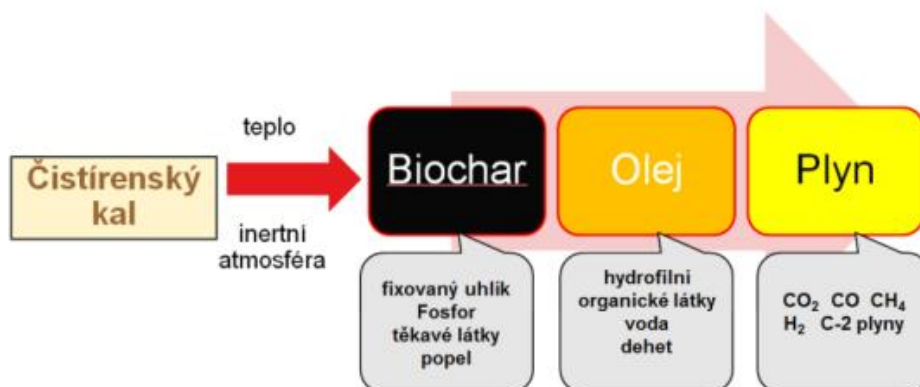
kurzem, a ten se výrazně mění, zejména v případě dolaru. Hrubý odhad tedy činí okolo 4 000–5 000,-Kč na tunu sušiny. [14]

5.4.5 Pyrolýza usušených čistírenských kalů

Pyrolýza je termický proces, který je v mnoha odborných člancích vyzdvihován a opěvován. Na kaly je působeno za nepřístupu kyslíku teplotami, které přesahují mez termické stability organických sloučenin a dochází k jejich štěpení až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Podle dosahované teploty, můžeme pyrolýzu rozdělit na nízkoteplotní (do 500 °C), středoteplotní (500–800 °C) a vysokoteplotní (nad 800 °C). U čistírenského kalu je produktem pyrolýzy kapalný odpad (vlastnosti podobné naftě a lehkým topným olejům), tuhý zbytek a pyrolýzní plyn. Proces probíhá za rozsahu teplot 450–750 °C, kde poměr produkovaných látek záleží na teplotě procesu a složení biomasy. Vyšší teplota podporuje produkci plynných produktů za současného poklesu pyrolýzního koksů. Kapalné produkty jsou produkovány při krátkém zdržení produktu v plynné fázi. Při teplotě působení do 500 °C vznikají kyslíkaté sloučeniny, při teplotách do 850 °C vznikají uhlovodíkové dehty. V teplotním rozmezí 850–1 000 °C vznikají aromatické neboli terciální dehty. Mezi hlavní plynné složky pyrolýzy patří oxid uhelnatý a uhlíčitý, amoniak, vodík a dusík. Koks produkován procesem pyrolýzy je zásadité povahy a obsahuje více jak 50 % popela. Pyrolýzní jednotky jsou velmi často provozovány diskontinuálně. [36][40]

Jako efektivní transformace čistírenských kalů na hnojivo se jeví proces pomalé pyrolýzy, který má nastavené parametry ve složení produkce žádaného materiálu, uhlíkatý zbytek a biochar. Do reaktoru je vkládán částečně nebo úplně vysušená kal, který je zahříván a rozkládán na oleje, biochar a jednodušší molekuly plynu. Podle rychlosti ohřevu a finální teploty rozeznáváme pyrolýzu pomalou a rychlou. Rychlá pyrolýza je charakteristická rychlým nárůstem teploty, krátkou dobou zdržení v reaktoru (několik sekund) a finální teplotou okolo 1 000 °C. Výsledkem je produkt s vyšším obsahem pyrolytických olejů (60–70 % celkové hmotnosti), a nižším podílem biocharu (15–25 % hmotnosti) a pyrolýzního plynu (10–20 % hmotnosti). Je nutné, aby produkován plyn měl co nejmenší obsah vody, proto je důležité, aby vstupní biomasa byla předsušená, s vlhkostí nižší než 10%. Další podmínkou je drcení biomasy na částice nepřesahující velikost 3 mm, čímž zabezpečíme rychlý průběh reakce a snadnou separaci pevných částic. Při pomalé pyrolýze dochází k pomalému nárůstu teploty a finální teplota je v rozmezí 500–800 °C. V procesu pomalé pyrolýzy vzniká 20–25 hm. % bio-oleje, 25–35 hm. % pyrolýzního plynu a 35–55 hm. % biocharu. Pokud se jedná o výrobu hnojiva z čistírenských kalů je nastaven proces pyrolýzy tak, aby byla produkce biocharu co nejvyšší, potlačuje se produkce bio-oleje a podporuje se produkce pyrolýzního plynu, který je dále využíván například jako palivo pro motory nebo plynové turbíny v kogeneračních jednotkách. Plyn z procesů pyrolýzy je vhodný jako zdroj energie pro zabezpečení pyrolýzy, obvykle je spalován v nízko-emisních hořácích. Proces je energeticky soběstačný, a dokonce

i přebytkový. Odpadní teplo je využíváno pro sušení vstupního materiálu. Termochemické procesy současně likvidují škodliviny. [39][40]



Obrázek 5.11: Znázornění produktů pyrolýzy čistírenských kalů, zdroj [39]

5.4.5.1 Mikrovlnná pyroláza

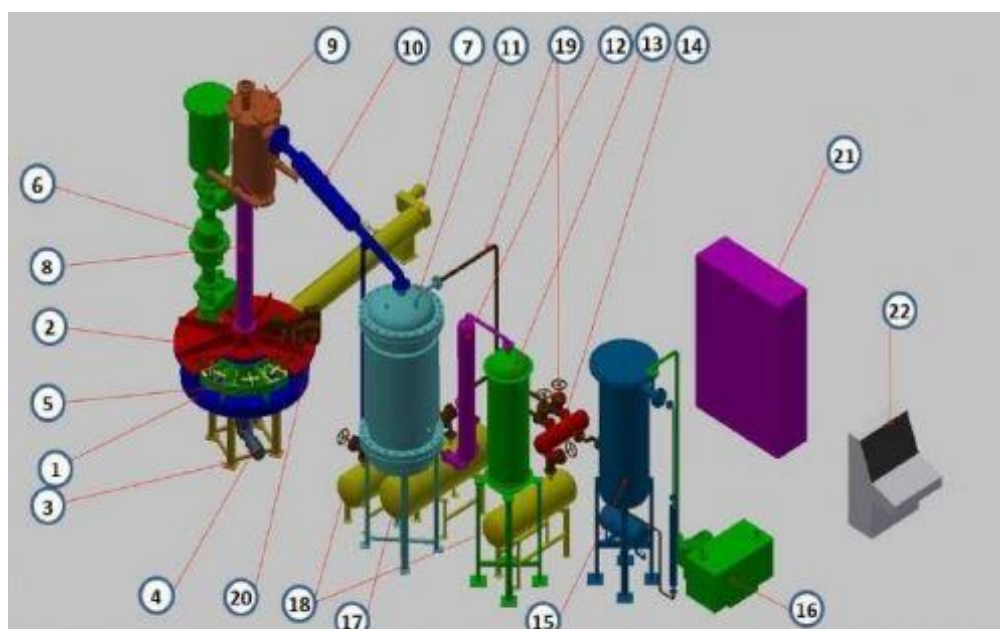
V minulých dvou desetiletích začalo zkoumání výhod mikrovlnného ohřevu. Tyto postupy byly zkoumány i pro použití biomasy. Jedním takovým projektem je pilotní jednotka mikrovlnné pyrolýzy ve výzkumném centru ADMaS VUT v Brně. Před vstupem biomasy do procesu je nutné její vysušení, optimálně na hodnotu 10 % vlhkosti, a také drcení nebo mletí před promícháním s procesními přísadami. Následně jsou lisovány pelety, které jsou zpracovávány v reaktoru. Mikrovlnná pyrolýza je energeticky velmi efektivní, jedná se o proces rychlého ohřevu, který je efektivnější než jednoduché topení. [40]



Obrázek 5.12: Pohled na pyrolýzní jednotku ve výzkumném centru AdMaS, zdroj [40]

Mikrovlny jsou vypouštěny do prostoru reaktoru, odráží se od stěn a vytvářejí mikrovlnné pole. Při kontaktu s absorpčním materiálem, dochází k jejich pohlcení a uvolňování tepla. Mikrovlny jsou produkovány tzv. magnetronem. Pokud se v reaktoru nenachází materiál schopný absorpce, vlny se zpětně odráží do magnetronu a dochází ke snižování jeho životnosti. Účinnost tohoto zařízení při přeměně elektrické energie na mikrovlny je maximálně 70 %, vznikají na něm také tepelné ztráty a je zapotřebí jej chladit. [41]

Proces rozkladu je veden za mírných podmínek při povrchových teplotách 300–350 °C. Dobra zdržení v reaktoru je přibližně 1 hodinu, u některých materiálů stačí i 10 minut. Do procesu jsou přidávány katalyzátory pro lepší absorpci mikrovlnného záření. Teploty uvnitř materiálu dosahují až 1 000 °C. V průběhu procesu popraskají hydro-uhlíkové molekuly uvnitř suroviny na lépe těkavé molekuly a odcházejí z reaktoru jako olejové páry. V rektoru zůstává pevný zbytek, který je vysoce výhřevný a je cenným produktem vyplývajícím z procesu mikrovlnné pyrolýzy. [40][41]



1 - tělo reaktoru; 2 - kryt reaktoru; 3 - stojan reaktoru; 4 - motor, převodovka, rotor;
5 - míchání; 6 - vstupní sekce; 7 - dochlazovací výměník; 8 - parní trubka;
9 - výstup spalin; 10 - chladič spalin; 11 - chladič 1; 12 - ohřev spalin;
13 - chladič 2; 14 - sběrač; 15 - pračka plynu; 16 - vakuový systém; 17 - nádoba na
300 l; 18 - nádoba 150 l; 19 - potrubí; 20 - mikrovlnné zářiče; 21 - rozvodová skříň;
22 - ovládací pult

Obrázek 5.13: Schéma pilotní jednotky pyrolýzy umístěné ve výzkumné centru AdMaS, zdroj: [41]

5.4.5.2 Biochar

V předchozích odstavcích několikrát zmiňovaný biochar je zhutnělá biomasa získaná tepelným rozkladem biomasy na minimálního nebo žádného přístupu vzduchu. Rozklad probíhá za teploty 300–600 °C. Výsledný produkt se nepoužívá jako palivo, ale aplikuje se na půdu. Biochar má obsah živin, především fosforu a alkalických kovů stejný jako původní biomasa. Látka pórovité struktury s vlastnostmi připomínající aktivní uhlí je schopna při aplikaci na půdu snižovat uvolňování pachových stop z půdy, zvyšovat kationtovou výměnu, sorbovat nebezpečné látky do málo vyluhovatelné formy a také zlepšuje vodní režim v půdě, čímž zlepšuje kvalitu a úrodnost půdy. Při zvyšování úrodnosti půdy se biochar přidává i do kompostů. Živiny se z biocharu uvolňují pomalu a uhlík v něm vydrží staletí až tisíciletí. Tento „zázračný materiál“ sorbuje živiny do pórů, odkud je rostlina pozvolně čerpá. Je také schopný zadržovat vodu a to až do šestinásobku své váhy. Mezi další využití biocharu patří například doplněk stravy zvířat, užití v sektoru stavebnictví (izolace, regulace vlhkosti atd.), čištění pitné vody, příměs pro funkční prádlo nebo výplň matrací a polštářů. V Rakousku se cena biocharu pohybuje přibližně okolo 600 EUR/t, tedy při současném kurzu okolo 15 000,-Kč/t. [36][39]

Vlastnosti biocharu:

- jemnozrnný materiál podobný dřevěnému uhlí, který vzniká pyrolýzou;
- v průběhu pyrolýzy se materiál mění na struktury, které jsou odolné mikrobiologickému rozkladu;
- je stabilnější a jeho rozklad je zhruba 100x pomalejší než rozklad ostatních forem půdního uhlíku;
- vhodné vyrábět z materiálů, které se rychle rozkládají a při svém rozkladu uvolňují do ovzduší metan a oxid uhličitý;
- stabilní materiál, který umožní snížení obsahu oxidu uhličitého v ovzduší do velmi stabilní (nerozložitelné) formy;
- při výrobě biocharu se uvolňují energeticky bohaté látky, které lze snadno využívat. [36]

Biochar má také svou klasifikaci, která udává, že obsah uhlíku musí být větší než 50 % sušiny původní biomasy. Používané materiály s vysokým podílem minerálních látek nemohou být klasifikovány jako biochar, ale jako pyrolýzní popel s obsahem biocharu. To se týká také čistírenských kalů, protože anaerobně stabilizované kaly mají obsah zhruba 50 % minerálních látek v sušině. Měřítkem kvality biocharu je specifický povrch, měl by přesahovat 150 m²/g sušiny. V následující tabulce jsou uvedeny limitní hodnoty pro biochar basic a premium v porovnání s limity pro čistírenské kaly využívané pro zemědělské účely. Po porovnání hodnot je zřejmé, že hodnoty specifikované pro biochar jsou nižší než limitní hodnoty pro kaly z komunálních ČOV. [36][39]

Tabulka 5.3: Požadované koncentrace těžkých kovů v sušině biocharu a kalu ke hnojení, zdroj: [36]

prvek	jednotky	biochar		vyhláška
		basic	premium	č. 437/2016 Sb.
Pb	g/t	150	120	200
Cd	g/t	1,5	1	5
Cu	g/t	100	100	500
Ni	g/t	50	30	100
Hg	g/t	1	1	4
Zn	g/t	400	400	2 500
Cr	g/t	90	80	200
As	g/t	13	13	30
AOX	g/t	–	–	500
PCB	g/t	–	–	0,6
PAU	g/t	–	–	10

5.4.6 Zplyňování čistírenských kalů

Proces zplyňování je známý více než 200 let. Příchodem fosilních paliv bylo využíváno méně. V dnešní době se k němu začíná znovu přistupovat a je to opět důsledkem fosilních paliv, která začínají být docházejícím zdrojem energie. Dnes je zplyňování vnímáno jako univerzální, efektivní a čistá metoda pro transformaci nízkonákladových uhlíkových zdrojů na tepelnou a elektrickou energii. Těmito zdroji se rozumí dřevní zbytky, různá biomasa, organické hmoty nebo uhlí. [36]

Zplyňování je tepelně-chemický proces, který s využitím tepla převádí paliva obsahující uhlík na plyn. Tento plyn je opět určen ke spalování. Čistírenské kaly, vstupující do procesu zplyňování, musejí být předem vysušeny. Na rozdíl od spalování, tento proces využívá pouze 20–30 % vzduchu potřebného pro úplné spálení paliva. Množství vzduchu je do reaktoru dodáváno pečlivým řízením, což znamená, že pouze malá část materiálu podléhá úplnému hoření. I za těchto podmínek je vyvinuta dostatečná teplota pro přeměnu paliva prostřednictvím pyrolýzy a chemického rozkladu na syntézní plyn a popel. Zplyňování je vhodné využívat u ČOV nad 50 000 EO. [36]

Zplyňování je komplexní proces, kde probíhá řada reakcí. Základem jsou čtyři pochody: sušení, pyrolýza, redukce a oxidace. Oxidace je proces exotermní, ostatní jsou zástupci endotermních reakcí. Syntézní plyn vznikající při spalování se také nazývá „syngas“, je složen především z oxidu uhelnatého, vodíku a metanu. Umožňuje čisté spalování paliva, které může být použito jako náhrada za topný olej, zemní plyn nebo propan. Syngas je také základním zdrojem pro produkty z petrochemického a rafinérského průmyslu. Výhřevnost tohoto plynu je při autotermním zplyňování vzduchem uváděna v rozmezí 2,5–8,0 MJ/m³. Výsledný odpad po zplyňování je možno využít jako materiál ve stavebnictví. [36]

Mezi výhody zplyňování můžeme uvést následující:

- dosažení větší konverze paliva na elektrickou energii;
- nižší měrné provozní náklady na jednotku výkonu;
- převedení tuhého paliva s velkým měrným objemem na plynné palivo;
- snadnější odstraňování hlavních škodlivin v plynné fázi;
- možnost dosažení vyšších teplot při spalování plynných paliv;
- lepší regulace při spalování plynných paliv;
- snížení produkce CO₂, SO₂ a dusíkatých sloučenin na jednotku výkonu. [36]

Mezi nevýhody zplyňování patří čištění syntetického plynu, především od dehtu. Zajímavým řešením tohoto problému je vhánění syntetického plynu do vyhřívacích nádrží. Výsledným produktem je směs bioplynu a syngasu. Následně je tato směs vháněna do upravených kogeneračních jednotek. [36]

5.4.6.1 Příklad technického řešení zplyňování kalů na ČOV

Proces je založen na dvou stupních. Prvním je sušení čistírenských kalů a druhým je fluidní zplyňování. Sušení lze provádět na pásové sušárně, kde je přednostně využíván zdroj tepla ze spalování syngasu. Pokud je přebytek tepelné energie také z kogeneračních jednotek, je možno využívat i tento zdroj. Takto upravený kal je dopravován do fluidního zplyňovacího zařízení, kde podléhá teplotám kolo 860 °C. V horní části reaktoru je odtahován vznikající syntetický plyn do cyklónu, kde jsou odlučovány prachové částice. Následně je syntetický plyn ochlazován a veden shora dolů přes vstupující usušený kal, který slouží jako filtr pro odstranění dehtů. Dalším krokem je vhánění plynu přes filtry do sušičky, kde dochází ke kondenzaci vlhkosti v plynu. Tento způsob je aplikován na ČOV Mannheim v Německu. Popel po zplyňování kalů je možné využít pro zpětné získávání fosforu. [36]



Obrázek 5.14: Příklad zplyňovacího zařízení, zdroj [42]

5.4.7 Zpětné získávání fosforu

Fosfor patří mezi velmi důležité látky, především pro zemědělství, které jsou na seznamu ohrožených zdrojů. Omezováním aplikace kalů na zemědělské půdy dochází k omezení působení organického podílu kalů a tím pádem i fosforu. Fosfor je využíván přibližně z 80 % pro výrobu hnojiv, z 15 % jako krmivo pro dobytek a přibližně 5 % využití tvoří výroba detergentů. Při současné výši těžby nerostných surovin se očekává, že zdroje fosforu dojdou kolem roku 2050. Fosfor je neobnovitelný esenciální prvek a je tedy nutné hledat jeho sekundární zdroje, jako je recyklace a znovuvyužití fosforu. Jedním z nejvýznamnějších sekundárních zdrojů je čistírenský kal, v němž je fosfor ukládán při čištění odpadních vod. Dalšími významnými zdroji fosforu jsou například zemědělské produkty. [36][39][43]

Kaly z čistíren odpadních vod obsahují v sušině okolo 10 hm. % fosforu ve formě oxidu fosforečného. Rozptyl obsahu fosforu v čistírenských kalech je dán jejich původním složením. Pro získávání fosforu z těchto kalů jsou v současné době známy tři základní technologie:

- mokrý proces srážení fosforu z odpadní vody MAP;
- termická destrukce kalu v oxických podmínkách (spalování nebo zplyňování a získávání fosforu z popela);
- termochemická transformace založená na pomalé pyrolýze se získáváním biocharu a v něm obsaženého fosforu. [36][43]

Recyklací fosforu se také sníží jeho únik do povrchových vod, kde je příčinou eutrofizace vod a tím selepší kvalita těchto vod. Snahou je také podpořit oběhovou ekonomii a zmírnit závislost Evropské unie na dovozu fosfátových hornin. [36]

Mokrý proces srážení fosforu není záležitostí čistírenských kalů, fosfor obsažený v biocharu je aplikován do půdy spolu s ním, a proto je v této kapitole zdůrazněný především postup recyklace fosforu z popelu čistírenských kalů. Tato metoda má potencionálně nejvyšší výtěžnost fosforu a to přes 90 %. Další výhodou je objemová redukce materiálu zhruba 90 % oproti surovému kalu a hmotnostní redukce přibližně na polovinu původní váhy. Při spalování se fosfor chová stabilně a i při teplotách okolo 1 000 °C zůstává většina fosforu v popelu, tvoří také stabilní fosforečnany. Pro separaci z popela je nutné využití metody mono-spalování bez přídavku jiných paliv. Popel také obsahuje mimo fosforu i těžké kovy a jiné škodliviny, které brání jeho přímému využití. Proto je nutné podrobit popel další úpravě, jako jsou kyselá extrakce (hydrometalurgický postup) nebo termická či termochemická úprava (pyrometalurgický postup). [43]

Hydrometalurgické postupy jsou založeny na kyselém loužení, využívána je kyselina sírová nebo kyselina chlorovodíková. Dochází ke snižování pH a následnému odlučování těžkých kovů. Tyto metody nedokáží oddělit pouze fosfor a jeho sloučeniny, ale také

dochází k oddělení i částí těžkých kovů. Musí tedy následovat separace fosforu od těchto prvků. Většina těchto metod je teprve ve stádiu laboratorního vývoje. [43]

Pyrometalurgické postupy jsou založeny na sekundárním zpracování popela za vysokých teplot dosahujících až 2 000 °C. Popel je sekundárně zpracováván například v pecích s indukčním ohřevem. Termické metody mají v současné době perspektivnější výhled pro reálnou aplikaci. [43]

V sousedních zemích, konkrétně v Rakousku a Německu, je od začátku roku 2017 pro ČOV o velikosti nad 50 000 EO povinné získávání fosforu, pokud je jeho obsah v sušině, větší než 2 %. [31]

Tabulka 5.4: Srovnání procesů separace fosforu z odpadní vody a čistírenských kalů, zdroj: [39]

	mokrý proces srážení fosforu	separace fosforu z termického zpracování kalů (z popela)	termochemická transformace (pyrolýza, produkce biocharu)
výhody	<ul style="list-style-type: none"> • nákladově středně náročné • přijatelné z hlediska vybavení • vysoká agrochemická dostupnost fosforu • provozně ověřené • zlepšení odvodňovacích vlastností vyhnílého kalu 	<ul style="list-style-type: none"> • vysoký stupeň zachycení fosforu • simultánní využití materiálu a energie kalu • vhodné pro všechny typy kalů • všechny organické polutanty jsou inaktivovány • podstatně nižší objemy odpadů 	<ul style="list-style-type: none"> • vysoký stupeň zachycení fosforu • simultánní využití materiálu a energie kalu • všechny organické polutanty jsou inaktivovány • významné další agrochemické vlastnosti (porozita, vázání vody) • vhodné i pro malé kapacity • minimální produkce odpadů
nevýhody	<ul style="list-style-type: none"> • pouze cca 40–60 % zachycení fosforu • potřeba chemikálií • obtížná separovatelnost sraženiny • dodatečné zatížení biologie • kompatibilní pouze s procesy biologického odstraňování fosforu • vhodné jen pro velké kapacity 	<ul style="list-style-type: none"> • vysoké investiční náklady • vyšší provozní náklady • využití pro převážně sušené kaly • potřeba chemikálií • potřeba dotažení provozní aplikace, vývoj • vysoká emisní zátěž ovzduší 	<ul style="list-style-type: none"> • střední investiční náklady • využití pro sušené kaly • provozně neutrální proces při využití tepelné energie • potřeba dotažení provozní aplikace, vývoj

5.5 ENERGETICKÁ BILANCE ČOV

Čistírny odpadních vod jsou majoritním spotřebitelem elektrické energie většiny měst a obcí. Celková spotřeba elektrické energie, určená pro všechny ČOV v ČR, je odhadována na 450 mil. kWh za rok. Cena energie je součástí celkových provozních nákladů a je tedy

snaha o její snižování. Provozovatelé ČOV se dostávají do střetu zájmů v souvislosti s rostoucími cenami elektrické energie a s blížícím se ukončením poskytování dotací, tzv. „zelených bonusů“. Podle dostupných informací vychází najevo, že je třeba pro celkové hodnocení energetické náročnosti ČOV, vycházet z hodnocení dílčích provozních celků. Čistírny odpadních vod o velikosti nad 10 000 EO jsou zařízení, které jsou schopny pokrýt spotřebu energie vlastními zdroji, popřípadě energii dodávat do externích subjektů. Kromě bilance elektrické energie, je také zapotřebí provést bilanci tepelné energie. V obou případech má rozhodně své zastoupení také kalové hospodářství. [65]

Na dobře konfigurovaných a provozovaných čistírnách, se specifická spotřeba elektrické energie pohybuje v rozmezí od 20 do 45 kWh/EO/rok. Obecně lze říci, čím menší čistírna, tím je specifická spotřeba elektrické energie vyšší. To neplatí však vždy, protože nezáleží jen na velikosti čistírny odpadních vod, ale také na jejím celkovém návrhu. Vytvoření bilance také komplikuje fakt, že větší čistírny vystupují na trhu díky dotacím jako producenti elektrické energie, ale současně také jako významní spotřebitelé. Současná dotační politika však udává směr ve vytváření ostrovního provozu, jinými slovy, každá větší ČOV se bude snažit být energeticky soběstačná. [65]

Na evropské úrovni běží nyní současně dva projekty zaměřující se na energetickou problematiku ČOV. Jedná se o projekt ENERWATER a POWERSTEP. Snahou je najít cesty k úspoře elektrické a tepelné energie. V sousedním Německu studie prokázaly, že přestavbou a modernizací lze snížit úspory na energii až o desítky procent. Základem všech těchto opatření ovšem zůstává udržet kvalitu čištění odpadních vod. Snaha o energetické výtěžky se také uchyluje k malým a středním čistírnám, kde studie vykazují pozitivní výsledky při použití moderních technologií a technických řešení. Příkladem je vývoj malých vyhnívacích nádrží s integrovaným membránovým plynojemem. Rozhodujícím faktorem je v tomto případě získání dostatečné energie z čistírenských kalů, především termickými nebo termochemickými procesy. [65]

Aktuálně v ČR startuje další etapa zdokonalování procesů využívaných na čistírnách a s tím také souvisí, v současné době připravovaná, metodická příručka pro zpracování energetické bilance čistíren odpadních vod po vzoru jiných států, jako je Německo, Rakousko nebo USA. Součástí etapy jsou již platné zákony a vyhlášky, například „*Vyhláška č. 437/2016 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě*“. Česká republika také schválila evropské a mezinárodní normy k přímému použití. V této oblasti problematiku zastupuje „*ČSN EN 16212 (01 1503) Energetická účinnost a výpočty úspor – Metody top-down a bottom-up; EN 16212:2012*“ nebo „*ČSN EN 16231 (01 1504) Energetická účinnost – Metodika benchmarkingu; EN 16231:2012*“. [65]

Metodika označovaná jako „*Energetické hodnocení ČOV*“, byla vytvořena na základě informací z předcházejících etap. Metodika je výstupem projektu „*Smart Regions – Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for*

Sustainable Development“, který je spolufinancován Technologickou agenturou České republiky, pro období 2014–2019. Vznikla ve spolupráci Centra kompetence Smart Regions, ČVUT Praha, SMP CZ, a.s. a SEWACO s.r.o. Úkolem, je jednoduché porovnání spotřeby a produkce energií na ČOV a možnosti využití bioplynu k energetickým účelům, pokud je produkován. Vyhodnocované období je minimálně jeden rok s časovým krokem jeden měsíc pro získání přehledu využití energie během roku. Metodika také doporučuje postup hodnocení a rozsah datových podkladů. Z praktických důvodů je základním referenčním parametrem určen ekvivalentní obyvatel definovaný produkcí znečištění 120 g CHSK za den (EO CHSK). Používány jsou průměrné hodnoty produkce a z těchto hodnot je následně vypočítána roční produkce EO CHSK. [65]

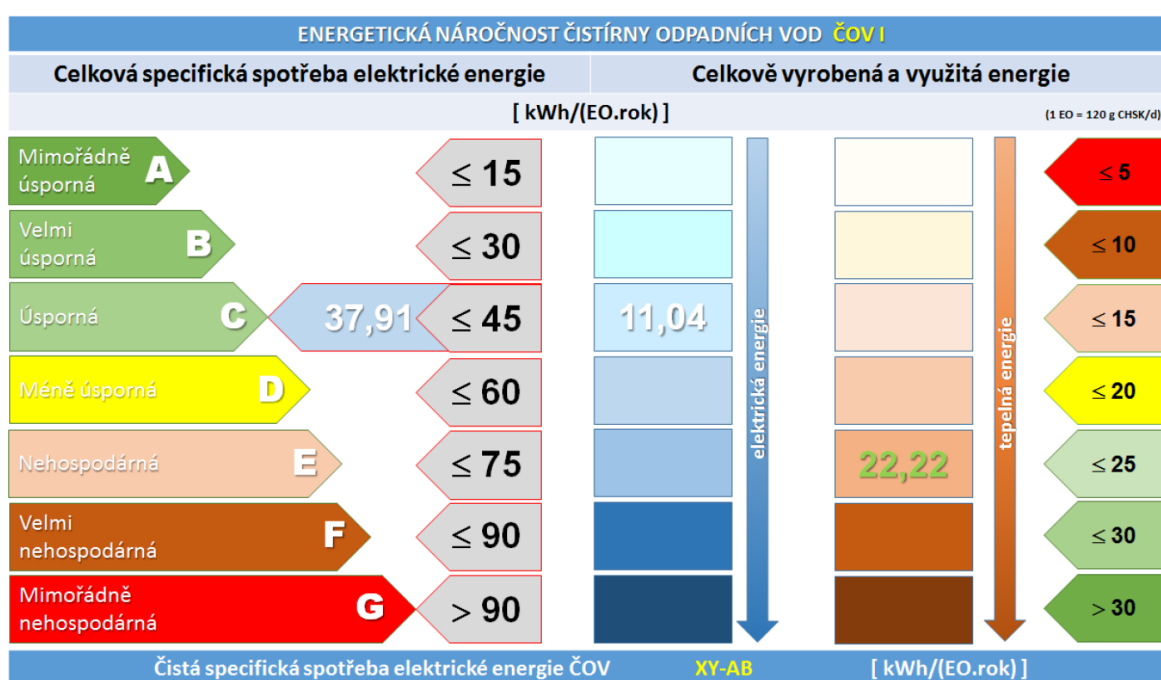
Metodika využívá pro vyhodnocení benchmarking, tedy systematické měření a porovnávání vybraných ukazatelů vůči jiným referenčním hodnotám. Benchmarkin energetických hodnot nebyl na čistírnách v ČR nikdy reprezentativně proveden, a proto budou hodnoty postupně získávány v rámci ověřování provozních podmínek. Jako referenční hodnoty byly zvoleny hodnoty BAT pro ČOV nad 100 000 EO BSK₅, se kterými budou získané údaje srovnávány. Uvedené hodnoty jsou přejaty z benchmarkingových studií z Německa a Rakouska. Porovnávané parametry budou brány jako absolutní hodnota a hodnotitel poté uvede možné rozhodující vlivy, kterými zdůvodňuje, proč byla naměřena právě taková data. V následující tabulce jsou uvedeny parametry charakterizující stav nakládání s energií na ČOV a příslušné hodnoty BAT. [65]

Tabulka 5.5: Parametry metodiky Energetické hodnocení ČOV včetně hodnot BAT, zdroj: [65]

parametr	rozměr	hodnota BAT
celková specifická spotřeba elektrické energie na 1 EO za rok	kWh/(EO.rok)	15
specifická spotřeba elektrické energie na aeraci na 1 EO za rok	kWh/(EO.rok)	12
specifická produkce kalového plynu na 1 EO (norm. podmínky)	m ³ /(EO.rok)	9,1
specifická produkce kalového plynu na 1 kg organických látek přivedených do vyhnívací nádrže	m ³ /kg org. suš.	0,480
specifická produkce kalového plynu na 1 kg odstraněných organických látek ve vyhnívací nádrži	m ³ /kg Δorg. suš.	0,900
stupeň využití kalového plynu v kogenerační jednotce z celkově vyprodukovaného bioplynu	%	98
stupeň konverze kalového plynu na elektrickou energii v kogenerační jednotce (elektrická účinnost)	%	40
stupeň nezávislosti na dodávce el. energie (podíl vyrobené el. energie v kogenerační jednotce na celk. spotřebě ČOV)	%	65
specifická výroba elektrické energie na 1 EO za rok	kWh/(EO.rok)	17
specifická výroba tepelné energie na 1 EO za rok	kWh/(EO.rok)	27
specifická spotřeba externí tepelné energie	kWh/(EO.rok)	5
specifická spotřeba elektrické energie čerpací stanice	Wh/(m ³ .m)	5

Stejnou podobu jako má tato tabulka bude mít i výsledné energetické hodnocení ČOV s tím, že vedle hodnot BAT přibude sloupec se získanými údaji. [65]

Do vyhodnocení je vhodné také zahrnout tzv. energetický štítek dané čistírny. Metodika navrhuje vzhled energetického štítku dle obrázku 5.15. V levé části štítku se nachází slovní stupnice specifické spotřeb elektrické energie na 1 EO CHSK. Tato stupnice je rozdělena do jednotlivých kategorií po 15 kWh/EO za rok. Každá kategorie je také kromě slovního ohodnocení označena písmenem A – G. Zjištěné hodnoty se vypíší do příslušné kategorie s přesností na dvě desetinná místa. Štítek zahrnuje mimo spotřebu elektrické energie, také spotřebu tepelné energie. Čistá specifická spotřeba je poté vypočtena jako rozdíl mezi celkovou vyrobenou a celkovou spotřebovanou elektrickou energií. Jedná se o informativní údaje pro danou ČOV. [65]



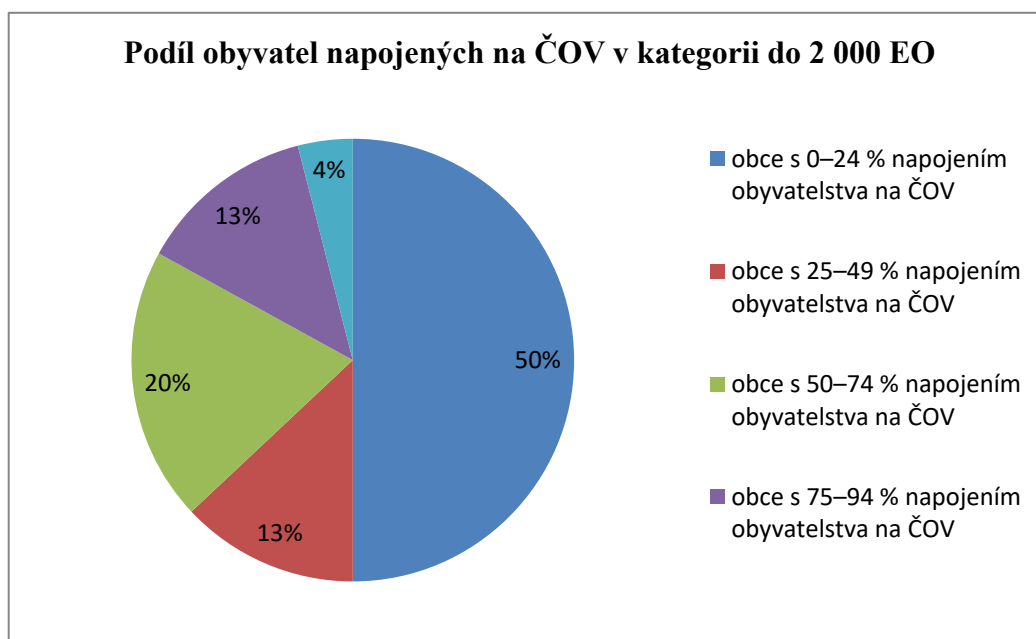
Obrázek 5.15: Příklad energetického štítku ČOV, zdroj: [65]

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSOUZENÍ KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR PRO ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD OD 500 EO DO 2 000 EO

Pro technicko-ekonomické posouzení kalových hospodářství ČOV se zaměřením na spotřebu elektrické energie, investiční a provozní náklady jsem zvolil kategorii čistíren odpadních vod od 500 EO do 2 000 EO. Toto zaměření jsem si vybral z důvodu velkého počtu čistíren této kategorie v naší republice a myslím si, že se tento počet bude ještě zvyšovat z důvodu legislativních úprav Evropské unie. V následující tabulce a v následujícím grafu je vidět rozdělení čistíren odpadních vod do jednotlivých kategorií a rozdělení napojení obyvatelstva v kategorii čistíren odpadních vod do 2 000 EO.

Tabulka 6.1: Přehled typů ČOV pro čištění komunálních vod v obcích ČR, zdroj: [47]

velikostní kategorie ČOV dle projektované kapacity (v EO)	typ technologie					
	mechanicko-biologická aktivační	mechanicko-biologická biofiltr	mechanicko-biologická biodisk	mechanicko-chemická	kořenová	jiná (stabilizační nádrž, mechanická)
500–2 000 n = 304 ČOV	266	19	5	0	4	10
2001–10 000 n = 350 ČOV	325	15	6	1	0	3
10 00–100 000 n = 186 ČOV	175	9	1	1	0	0
nad 100 000 n = 26 ČOV	26	0	0	0	0	0



Obrázek 6.1: Podíl obyvatel napojených na ČOV v kategorii do 2 000 EO, zdroj: [47]

Podle informací uvedených na stránkách Hydroekologického informačního systému, VÚV TGM, ze kterého článek uvedených ve zdrojích této diplomové práce čerpal, bych řekl, že se jedná o data stará přibližně pět let. Dle informací portálu eagri.cz, podávající informace o vybraných údajích majetkové evidence (VÚME) za rok 2016 [48], je v současné době čistíren odpadních vod v kategorii 500–2 000 EO téměř trojnásobek, tedy téměř 1 000 komunálních ČOV. Starší data jsem v této diplomové práci uvedl, protože si myslím, že co se týká poměrových informací, která jsou tabulkou a grafem vyjádřena, nedochází k zásadním změnám. Nárůst počtu čistíren odpadních vod je v posledních letech především v kategorii do 2 000 EO z důvodu legislativního nařízení Evropské unie.

Zpracování kalů je nedílnou součástí čištění odpadních vod a tímto problémem se zabývají všichni provozovatelé čistíren od domovních až po čistírny největších aglomerací. Z pravidla platí, čím větší čistírna, tím více zpracovaný systém zpracování a využívání čistírenských kalů. Kalové hospodářství tvoří v celkové bilanci 30–50 % celkových provozních nákladů. I tato skutečnost je jedním z důvodů, proč menší čistírny odpadních vod řeší problematiku kalů odvozem na větší ČOV s kalovou koncovkou.

K porovnání technicko-ekonomického aspektu této problematiky jsem využil dotazníky, které jsem rozeslal na více než 100 provozních míst čistíren odpadních vod v kategorii do 2 000 EO po celé České republice. Vzorový dotazník je přílohou této diplomové práce. Z tohoto počtu mi přišlo 23 odpovědí a z toho 15 vyplněných dotazníků, které je možno využít pro dané porovnání. Původní záměr, věnovat se čistírnám odpadních vod do 2 000 EO, jsem změnil po srovnání přijatých dotazníků. Všechny čistírny odpadních vod zařazené do porovnání jsou s kapacitou větší než 500 EO, a proto jsem zúžil rozsah zájmu na kategorii 500–2 000 EO. Tato část diplomové práce bude rozdělena na dvě základní části. První částí bude spotřeba elektrické energie, druhou částí potom investiční a provozní náklady vybraných čistíren odpadních vod. Pro přehlednost budou data zpracována v tabulkách a grafech.

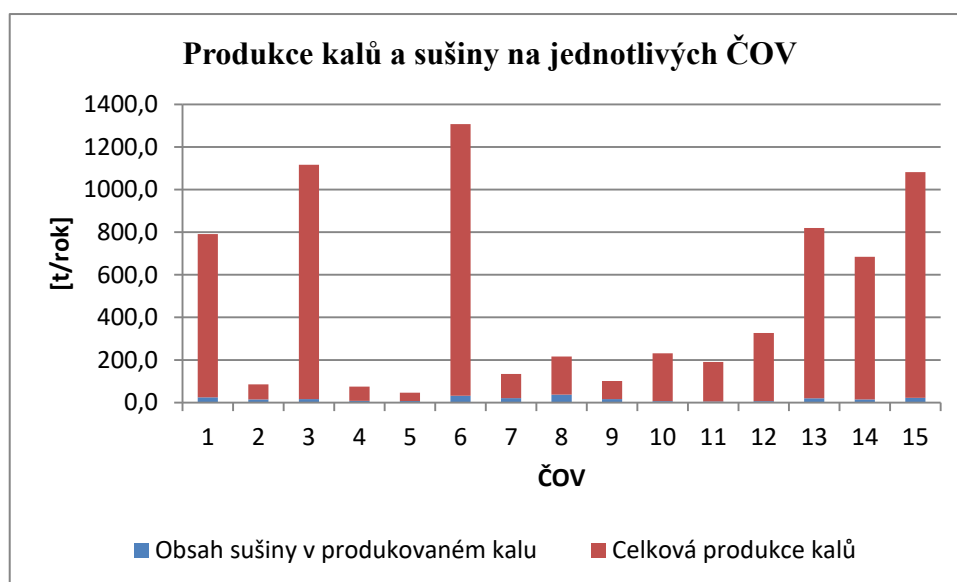
Dotazníky byly zaměřeny na následující části:

- produkce kalů;
- obsah sušiny;
- přítomnost kalové koncovky;
- způsob využití kalů;
- délka a cena odvozu kalů;
- cena zpracování kalů;
- spotřeba elektrické energie pro jednotlivé procesy;
- způsob stabilizace;
- způsob hygienizace;
- využití flokulantů;
- plánované změny v technologii kalového hospodářství.

Porovnávané čistírny odpadních vod spadají do kraje královehradeckého, jihočeského, jihomoravského, olomouckého, středočeského, kraje vysočina a zlínského kraje. Z hlediska poskytnutí vnitropodnikových informací ze strany provozovatelů budou hodnocené čistírny odpadních vod uváděny pouze pod názvy ČOV 1 – ČOV 15. V následující tabulce je uveden přehled daných čistíren odpadních vod s počtem ekvivalentních obyvatel, zařazením do kraje a s produkcí kalů v tunách sušiny za rok.

Tabulka 6.2: Produkce kalů a sušiny pro jednotlivé ČOV

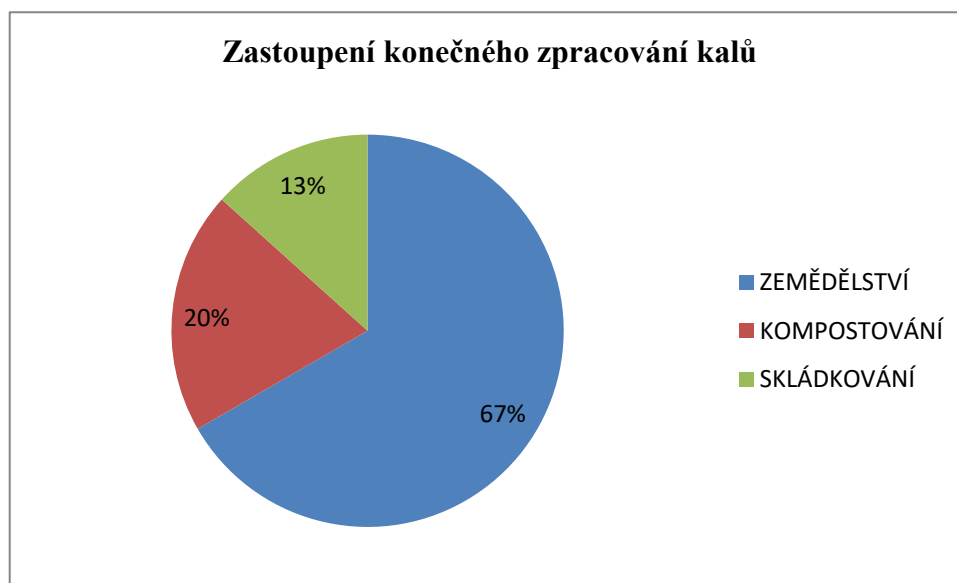
ČOV	EO	kraj	produkce kalu v sušině za rok	produkce kalu za rok
[-]	[-]	[-]	[t/rok]	[t/rok]
1	1113	severočeský	24,5	767,0
2	1297	jihomoravský	14,4	71,0
3	1208	jihomoravský	16,5	1100,0
4	531	olomoucký	7,9	67,1
5	1302	královehradecký	7,0	39,0
6	1400	jihomoravský	31,9	1276,0
7	1800	vysočina	21,0	113,5
8	1900	vysočina	37,5	178,5
9	1192	jihočeský	16,3	85,0
10	927	jihomoravský	6,3	225,0
11	595	jihomoravský	5,2	185,7
12	1109	středočeský	6,4	320,0
13	976	královehradecký	20,0	800,0
14	937	vysočina	14,7	670,0
15	1000	zlínský	22,3	1060,0



Obrázek 6.2: Produkce kalů a sušiny na jednotlivých ČOV

V tabulce a v grafu, je velmi dobře viditelné, které porovnávané čistírny odpadních vod nemají žádnou úpravu čistírenských kalů. Tyto čistírny výrazně převyšují hodnoty produkce nad ostatními.

Na dotazovaných čistírnách, jsou kaly zpracovány a využívány třemi způsoby, které jsou v ČR nejvíce využívány dle tabulky v úvodní části této diplomové práce, tedy přímá aplikace v zemědělství, kompostování a skládkování. Graf znázorňuje poměr využití těchto způsobů mezi zájmovými čistírnami odpadních vod.



Obrázek 6.3: Zastoupení konečného zpracování kalů porovnávaných ČOV

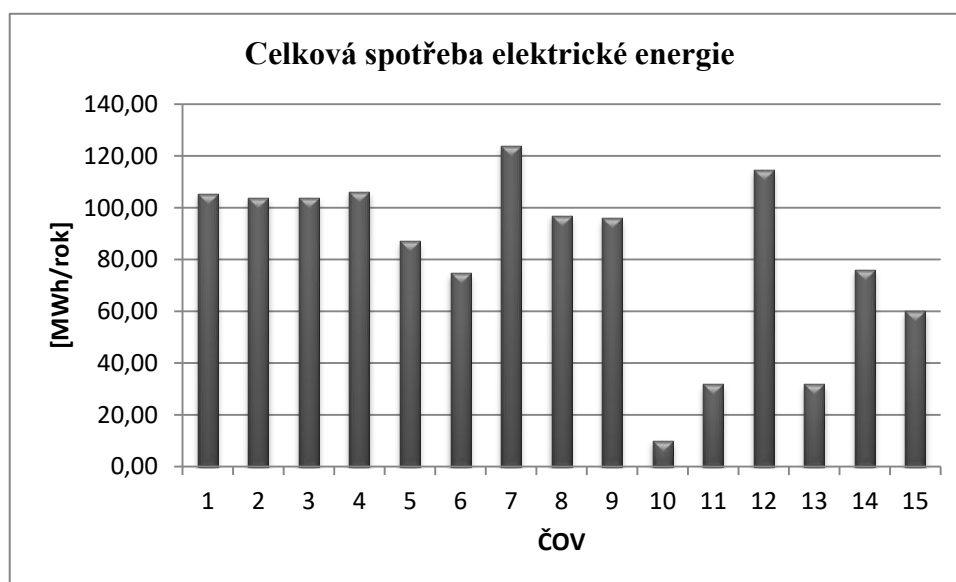
6.1 SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE

V rámci dotazníků byla taky položena otázka na spotřebu elektrické energie. Provozovatelé poskytli informace o celkové spotřebě elektrické energie pro danou čistírnu odpadních vod a nadále také údaje o spotřebě energie pro proces odvodnění, stabilizace a hygienizace. Odběr elektrické energie je uváděn v jednotkách MWh za období jednoho roku.

Součástí následující tabulky jsou také hodnoty specifické spotřeby elektrické energie na 1 EO za rok, uvedené v kWh/EO/rok. Tento přepočet je uveden pro snadné porovnání s hodnotami, které jsou uvedeny v metodice „Energetické hodnocení ČOV“. Tato metodika je popsána v kapitole 5.5 této diplomové práce a uvádí hodnotu BAT pro specifickou potřebu energie na 1 EO za rok, pro ČOV velikosti nad 100 000 EO. Hodnota BAT je stanovena na 18 kWh/EO/rok. Jak zmiňuje metodika, zpravidla menší čistírny mají větší specifickou spotřebu elektrické energie. Tento fakt, až na pár výjimek, potvrzuje i výpočet provedený pro řešené ČOV v kategorii 500 EO až 2 000 EO. Například ČOV 10 a ČOV 15 nevyužívají elektrickou energii pro odvodnění ani pro stabilizaci kalu, čímž mohou být výsledky zkresleny.

Tabulka 6.3: Roční spotřeba elektrické energie porovnávaných ČOV

ČOV	EO	produkce kalu v sušině za rok	roční odběr elektrické energie	specifická spotřeba el. energie	strojní odvodnění	stabilizace s potřebou el. energie
[-]	[-]	[t/rok]	[MWh/rok]	[kWh/EO/rok]	[-]	[-]
1	1 113	24,5	105,46	94,75	NE	ANO
2	1 297	14,4	103,63	79,90	ANO	ANO
3	1 208	16,5	103,95	86,05	NE	ANO
4	531	7,9	106,26	200,11	NE	NE
5	1 302	7,0	87,18	66,96	NE	NE
6	1 400	31,9	74,70	53,36	NE	ANO
7	1 800	21,0	124,00	68,89	ANO	ANO
8	1 900	37,5	97,00	51,05	ANO	ANO
9	1 192	16,3	96,00	80,54	ANO	ANO
10	927	6,3	10,00	10,79	NE	NE
11	595	5,2	31,80	53,45	NE	NE
12	1 109	6,4	114,65	103,38	NE	ANO
13	976	20,0	31,80	32,58	NE	ANO
14	937	14,7	76,19	81,31	NE	ANO
15	1 000	22,3	60,00	60,00	NE	NE



Obrázek 6.4: Celková spotřeba energie v MWh za rok porovnávaných ČOV

Z hodnot získaných od provozovatelů čistíren odpadních vod, lze odvodit energetickou náročnost procesů odvodnění a stabilizace. Nejvyšší energetickou náročnost mají čistírny se stacionárním odvodňovacím zařízením a s aerobním způsobem stabilizace. Jako příklad uvádím ČOV 7 a ČOV 10. Čistírna s číslem 7 má v technologické lince zařazenou stacionární dekantační odstředivku s průtočným množstvím 2,5 m³ za hodinu, roční odběr elektřiny je stanoven na hodnotu 10 MWh/rok, kal je stabilizován aerobně s roční energetickou náročností 22 MWh/rok. Tento odběr elektrické energie tvoří zhruba 26 % celkové energetické náročnosti. Oproti tomu čistírna s číslem deset nemá v technologické lince zařazeno odvodňování kalu ani jeho stabilizaci a roční energetická náročnost čistírny činí 10 MWh. Tuto spotřebu elektrické energie bych připisoval čerpadlům a zařízením, která jsou nutná pro aktivační procesy a další úkony při čištění odpadních vod. V následujících tabulkách je rozdělena spotřeba elektrické energie nutná pro procesy odvodnění a procesy stabilizace v závislosti na způsobu provedení daného procesu.

Tabulka 6.4: Způsob odvodnění kalů a energetická náročnost

ČOV	produkce kalu v sušině za rok	způsob odvodnění kalu	spotřeba el. energie při odvodnění
[-]	[t/rok]	[-]	[MWh/rok]
1	24,5	NENÍ	-
2	14,4	STACIONÁRNÍ ODSTŘEDIVKA	NEUVEDENO
3	16,5	NENÍ	-
4	7,9	2 X ODVODŇOVACÍ KONTEJNER	-
5	7,0	GRAV. ZAHUŠTĚNÍ + KALOVÁ POLE	-
6	31,9	NENÍ	-
7	21,0	STACIONÁRNÍ ODSTŘEDIVKA	10,0
8	37,5	MOBILNÍ ODVODŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ	0,4
9	16,3	GRAV. ZAHUŠTĚNÍ + STAC. ODSTŘEDIVKA	2,0
10	6,3	GRAVITAČNĚ	-
11	5,2	GRAVITAČNĚ	-
12	6,4	GRAVITAČNĚ	-
13	20,0	NENÍ	-
14	14,7	NENÍ	-
15	22,3	NENÍ	-

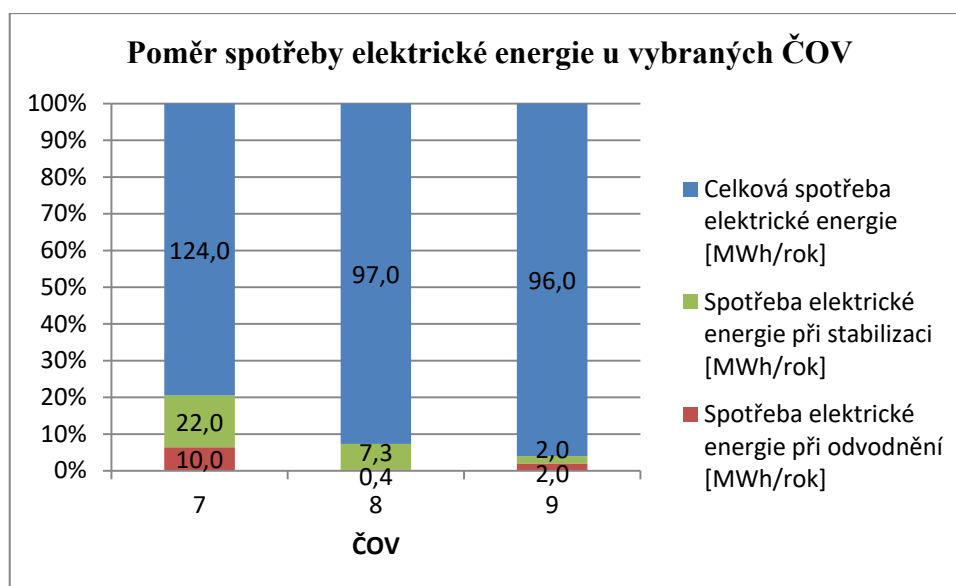
Tabulka 6.5: Způsob stabilizace kalů a energetická náročnost

ČOV	produkce kalu v sušině za rok	způsob stabilizace	spotřeba el. energie při stabilizaci
[-]	[t/rok]	[-]	[MWh/rok]
1	24,5	AEROBNĚ	5,0
2	14,4	AEROBNĚ	2,4
3	16,5	AEROBNĚ	3,0
4	7,9	STUDENÉ VYHNÍVÁNÍ	-
5	7,0	KALOVÁ POLE	-
6	31,9	PROVZDUŠŇOVÁNÍ V USKLAD. NÁDRŽÍCH	NEUVEDENO
7	21,0	AEROBNĚ	22,0
8	37,5	ČÁSTEČNĚ V UN	7,3
9	16,3	AEROBNĚ	2,0
10	6,3	KAL NENÍ STABILOZOVÁN	-
11	5,2	KAL NENÍ STABILOZOVÁN	-
12	6,4	PROVZDUŠŇOVANÝ KALJEM	NEUVEDENO
13	20,0	AERACE	NEUVEDENO
14	14,7	PROVZDUŠŇOVÁNÍ V USKLAD. NÁDRŽÍCH	NEUVEDENO
15	22,3	NENÍ	-

Z poskytnutých dat je možné odvodit, že stabilizace kalů je energeticky náročnější než jejich odvodňování. Jako nejvíce energeticky náročný bych určil aerobní způsob stabilizace kalů. Bohužel se mi nepodařilo získat data od všech porovnávaných provozovatelů, a tak nejsou údaje kompletní. V jednom případě je také pro stabilizaci kalů využíváno kalových polí. Pro danou ČOV je zapotřebí pro stabilizaci kalů využití 440 m² plochy. Gravitační způsoby odvodnění spotřebovávají energii nepřímo prostřednictvím čerpání a dalším nakládáním s kalovou suspenzí.

Hygienizaci kalů oslovené čistírny odpadních vod ve většině případů neprovádějí nebo je provádí větší ČOV, na kterou jsou kaly odváženy. V jednom případě, u ČOV 3, mi bylo sděleno, že hygienizaci provádí externí odborná firma, ale nemají přístup k datům o energetické náročnosti. Od provozovatele ČOV 9 jsem se dozvěděl, že hygienizaci provozují, ani v tomto případě mi však nebyly sděleny konkrétní údaje o využití elektrické energie.

U čistíren s dostupnými daty o celkovém využití elektrické energie a využití této energie při odvodňování a stabilizaci jsem v následujícím grafu znázornil poměr náročnosti na jednotlivé fáze. Data jsou dostupná pro ČOV 7, která má zajištěno odvodňování kalu na stacionární dekantační odstředivce a stabilizaci pomocí aerobních procesů, dále ČOV 8, jejíž technologická linka obsahuje mobilní odvodňovací zařízení a částečnou stabilizaci v usazovací nádrži. Jako poslední čistírna s dostupnými daty pro všechny kategorie je ČOV 9, kde je odvodňování zajištěno pomocí stacionární odstředivky po gravitačním zahuštění kalu a stabilizace je prováděna aerobně. Produkce sušiny kalu je: ČOV 7 – 21 t/rok, ČOV 8 – 37,5 t/rok a u ČOV 9 – 16,3 t/rok.



Obrázek 6.5: Poměr spotřeby elektrické energie u vybraných ČOV

Z grafu je patrné, že nejvíce je energeticky zatížena čistírna odpadních vod s dekantací stacionární odstředivkou a aerobní stabilizací kalu. Lze pozorovat podstatně nižší energetickou náročnost mobilního odvodňovacího zařízení. Při stejném technologickém uspořádání ČOV 7 a ČOV 9 je značný rozdíl v energetické náročnosti při odvodnění a stabilizaci kalů. Tento deficit bude patrně způsoben rozdílnými technologiemi a jejich stářím.

6.1.1 Přepočítání potřebné elektrické energie na 1 m³

Pro lepší představivost uvádím v následujících tabulkách přepočítání potřebné elektrické energie při odvodnění a stabilizaci na 1 m³ čištěné odpadní vody. Přepočítání je provedeno u čistíren odpadních vod, kde provozovatelé poskytli potřebná data. Podkladem pro výpočet slouží vybrané údaje provozní evidence za rok 2016 [49]. K tomu slouží následující rovnice:

$$W_{prům} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}$$

(vztah 6.1)

- kde $W_{prům}$ průměrná hodnota spotřeby elektrické energie na 1 m³ čištěné odpadní vody [kWh/m³];
 W_i spotřeba elektrické energie na ČOV celkem [MWh/rok];
 Q_i množství vody přitékající na ČOV [tis.m³/rok];
 n Počet ČOV dle typu (stabilizace/odvodnění) v kat. [ks].

Tabulka 6.6: Spotřeba elektrické energie při odvodňování na 1 m³

ČOV	způsob odvodnění	množství přitékající OV	spotřeba el. energie při odvodnění	spotřeba el. energie při odvodnění
[-]	[-]	[tis.m ³ /rok]	[MWh/rok]	[kWh/m ³]
7	stacionární odstředivka	46,327	10,0	0,216
8	mobilní odvod. zařízení	255,400	0,4	0,001
9	stacionární odstředivka	144,209	2,0	0,014

Tabulka 6.7: Spotřeba elektrické energie při stabilizaci na 1 m³

ČOV	způsob stabilizace	množství přitékající OV	spotřeba el. energie při stabilizaci	spotřeba el. energie při stabilizaci
[-]	[-]	[tis.m ³ /rok]	[MWh/rok]	[kWh/m ³]
1	aerobní	76,907	5,0	0,065
2	aerobní	35,000	2,4	0,069
3	aerobní	115,572	3,0	0,026
7	aerobní	46,327	22,0	0,475
8	částečně v usaz. nádrži	255,400	7,3	0,029
9	aerobní	144,209	2,0	0,014

Z výše uvedených informací vyplývá, že samozřejmě nejnižší energetickou náročnost vykazuje čistírna odpadních vod, která nemá v technologické lince zařízení pro odvodňování kalů, ani je žádným způsobem nestabilizuje. Tyto čistírny mají, ale větší náklady na dopravu kalů na jiné ČOV. Pokud uvažujeme o odvodňování i stabilizaci čistírenských kalů, jeví se jako ideální řešení z pohledu energetické náročnosti, pro čistírny od 500 EO do 2 000 EO, kombinace mobilního odvodňovacího zařízení a aerobní stabilizace kalů. Aerobní stabilizaci kalů jsem zvolil také s ohledem na její účinnost proti ostatním způsobům a na náročnost procesu. Pokud je množství kalů odpovídající využitelnosti ploch, je energeticky výhodnějším řešením zřízení kalových polí. V tom případě je ovšem nutno počítat s dlouhou dobou trvání stabilizačního procesu.

6.2 INVESTIČNÍ A PROVOZNÍ NÁKLADY

Stejně jako u každého jiného projektu je i rozhodnutí využití kalové koncovky na čistírně odpadních vod především otázkou ekonomické výhodnosti. Ve smyslu zákona je kalovou koncovkou myšleno zařízení pro mechanické odvodnění, aerobní či anaerobní stabilizaci, kalová pole a laguny atp. Toto určení udává sdělení odboru odpadů Ministerstva životního prostředí [67]. Se zřízením kalové koncovky narůstají jak investiční, tak provozní náklady dané čistírny. Nárůst provozních nákladů je především spojen s nárůstem elektrické energie potřebné pro provoz zařízení zajišťující odvodnění kalů, stabilizaci, nákup flokulantů a vybavení pro jejich aplikaci nebo kalová čerpadla a mamutky. Oproti tomu, ale klesají provozní náklady na odvoz a zpracování kalů na ČOV s kalovou koncovkou. Ekonomická výhodnost či nevýhodnost zřízení kalové koncovky je dána především množstvím produkovaného čistírenského kalu. V této kapitole se budu

zabývat investičními a provozními náklady porovnávaných čistíren odpadních vod od 500 EO do 2 000 EO, s otázkou investičních nákladů jsem se obrátil na výrobce a k porovnání provozních nákladů odvodňovacího zařízení využiji také program společnosti ASIO, spol. s r.o., který umožňuje i určení předpokládané doby návratnosti instalované technologie. Zmíním také studii společnosti Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s., která se zabývá výhodností kalové koncovky na ČOV podle produkce kalů.

Pokud provozovatel čistírny odpadních vod odváží kalovou suspenzi na zapracování do jiné čistírny, nevztahuje se na tento produkt, dle následujícího ustanovení Ministerstva životního prostředí, zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech (novelizován zákonem č. 223/2015 Sb.), ale spadá pod zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích. [67]

- ***Sdělení odboru odpadů Ministerstva životního prostředí k čištění městských odpadních vod ve smyslu zákona č. 223/2015 Sb.***

Toto stanovisko upřesňuje postup při nakládání s výstupy z čistíren odpadních vod bez kalové koncovky, tzn. např. bez aerobní či anaerobní stabilizace, mechanického odvodnění, kalového pole atp., v případě, že při čištění městských odpadních vod vzniká řídká suspenze pevných a koloidních částic, organických i anorganických, která je předávána k další úpravě na čistírnu odpadních vod s kalovou koncovkou.

Pro účely stanovení působnosti zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění novelizačního zákona č. 223/2015 Sb., a působnosti zákona č. 254/2001 Sb., o vodách v platném znění, je rozhodující, že tato suspenze, kterou lze charakterizovat jako relativně řídkou směs organických i anorganických, pevných i koloidních částic přítomných ve vodě, je odpadní vodou. Je tedy nezbytné zabývat se změnou působnosti zákona o odpadech ve vztahu k odpadním vodám.

Odpadní vody jsou nově z působnosti zákona o odpadech vyloučeny pouze v rozsahu, ve kterém se na ně vztahují jiné právní předpisy, konkrétně zákon o vodách a zákon o vodovodech a kanalizacích. Režim zákona o odpadech se tak díky formulaci výjimky z působnosti zákona o odpadech pro odpadní vody ve smyslu § 2 odst. 1 písm. a) vztahuje pouze na odpadní vody, u kterých není nakládání plně pokryto jinými zákony.

Pokud je s výstupem z „ČOV bez kalové koncovky“, který je odpadní vodou, nakládáno v souladu se zákonem o vodách, tj. že výstup z „ČOV bez kalové koncovky“ je dopraven na „ČOV s kalovou koncovkou“, kde je po vyčištění vypouštěn jako odpadní voda do vod povrchových nebo podzemních v souladu s povolením k vypouštění odpadních vod tak, aby nebyla ohrožena jakost povrchových nebo podzemních vod, je takové nakládání plně v režimu zákona o vodách a zákon o odpadech se na takové nakládání nevztahuje.

Na základě výše uvedeného není nutné, aby „ČOV s kalovou koncovkou“ disponovala souhlasem k provozování zařízení k odstraňování odpadů ve smyslu § 14 odst. 1 zákona o odpadech. [67]

6.2.1 Investiční náklady kalové koncovky pro ČOV od 500 EO do 2 000 EO

K cenám se provozovatelé velmi neradi vyjadřují. Málo informací mi bylo poskytnuto k provozním nákladům a k investičním nákladům jsem se nedostal takřka vůbec. Většina nákladů je vnitropodnikovou informací a ty co mi byly sděleny, často nemohou být v diplomové práci přímo spojovány s konkrétním názvem dané čistírny. I z tohoto důvodu jsou porovnávané čistírny odpadních vod označeny čísly. Z důvodu nedostatku informací tedy provedu srovnání investičních nákladů pomocí dostupných informací u výrobců technologií. Pro získání informací jsem se obrátil na firmy AQUA-STYL spol. s r. o., ASIO, spol. s r. o., Centrivit, spol. s r. o., Czech Industrial Fabric s.r.o., HUBER CS spol. s r. o., KAPLAN spol.s.r.o., KOLÍSKÉ STROJÍRNY CZ s.r.o., Metal-Management, spol. s r. o., První brněnská strojírna Velká Bíteš, a. s., a VODATECH, s.r.o., Podklady mi byly poskytnuty od firem HUBER CS spol. s r. o., KAPLAN spol.s.r.o. a Metal-Management, spol. s r. o. Zajímavé informace mi byly poskytnuty zástupcem společnosti První brněnská strojírna Velká Bíteš, a. s., panem Ing. Josefem Klímou [70]. Firma Czech Industrial Fabric s.r.o. mi zaslala informace, že už se tímto odvětvím nezabývají, ale na internetu se mi podařilo dohledat pořizovací ceny technologií od firmy ASIO, spol. s r. o. S ohledem na čistírny v dané kategorii budou porovnány technologie pro odvodňování kalů a pro aerobní stabilizaci.

6.2.1.1 Investiční náklady na odvodnění čistírenských kalů

Investiční náklady spočívají v pořizovací ceně dané technologie a také v nákladech na instalaci, rozvody, stavební část, dopravu, popřípadě flokulační jednotku. Přestože jsou na porovnávaných čistírnách využívány mobilní či stacionární odstředivky, podle informací od výrobců je pro tuto kategorii ČOV vhodnější využít odvodňovací lisy. Uváděné ceny jsou orientační.

- **ASIO, spol. s r. o.**

V nabídce společnosti je pro odvodnění kalů spirálový AS-DEHYDRÁTOR sloužící k zahuštění a následnému odvodnění čistírenských kalů. Zařízení je schopno i automatického provozu s minimálními nároky na údržbu. Je zaručeno zahuštění aktivovaného kalu alespoň na 18 % sušiny. Zařízení je vyráběno v několika typových řadách a je určeno pro čistírny od 500 EO po 10 000 EO. Zařízení je také schopno zpracovávat sekundární kaly přímo z aktivačního procesu. [50]



Obrázek 6.6: Spirálový dehydrátor společnosti ASIO, spol. s r. o., zdroj [50]

Dalším strojním zařízením pro odvodňování kalů v nabídce této společnosti jsou dekantační odstředivky, které oddělují pevné a suspendované částice z kapalin. Zařízení je složeno ze dvou sousedících, kónicko-válcových bubnů, které mají souhlasný smysl otáčení, ale vzájemnou diferencí otáček. K pohonu slouží elektromotor nebo trojfázové motory řízené frekvenčním měničem. Součástí zařízení je ovládací rozvaděč, prvky ovládání a ochrany. Dekantační odstředivky jsou ovšem vhodné pro čistírny odpadních vod od 2 500 EO. Společnost ASIO, spol. s r. o. dekantační odstředivky ve čtyřech variantách, od 2 500 EO po 50 000 EO.



Obrázek 6.7: Dekantační odstředivka společnosti ASIO, spol. s r. o., zdroj [50]

Tabulka 6.8: Ceny odvodňovacích zařízení společnosti ASIO, spol. s r. o.: zdroj [56]

druh zařízení	průtočné množství	procento sušiny na vstupu	procento sušiny na výstupu	cena bez DPH
[-]	[m ³ /hod]	[%]	[%]	[Kč]
AS-DEHYDRÁTOR	0,2 - 24 (dle procenta sušiny a typu zařízení)	0,5	18	650 000
dekantační odstředivka	1–15 (dle typu zařízení)	2,5	25	1 200 000

V ceně nejsou započítány stavební práce a rozvody. Součástí ceny je ovšem floukulační jednotka.

- **HUBER CS spol. s r. o.**

Zástupce firmy HUBER CS, pan Ing. Jan Ševčík, mi poskytl informace k šnekovým odvodňovačům kalů, vhodných pro porovnanou kategorii ČOV. Jedná se o technologii HUBER Q-PRESS, šnekový lis s válcovými síty a s kónicky tvarovanou hřídelí šroubu. Zařízení má tři hlavní zóny: vtoková a tlačná, zahušťovací a odvodňovací a lisovací zóna s pneumaticky ovládaným kuželem. Mezi výhody tohoto zařízení lze uvést odolnost vůči hrubým materiálům, nastavitelnou dobu zdržení, energeticky nenáročný provoz či vysoký stupeň odvodnění vláknitého kalu. Zástupcem firmy mi byly poskytnuty podklady pro dva typy tohoto zařízení. Specifikace a ceny jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 6.9: Ceny odvodňovacích zařízení společnosti HUBER CS spol. s r. o., zdroj:[69]

typ zařízení	průtočné množství	příkon	procento sušiny na vstupu	procento sušiny na výstupu	cena bez DPH
[-]	[m ³ /hod]	[kW]	[%]	[%]	[Kč]
RoS3Q velikost 280	do 3	0,37	0,4 - 5,0	16–25	2 350 000
RoS3Q velikost 440	do 5	1,5	0,4 - 5,0	16–25	2 594 000

Zřízení je dodáváno včetně propojovacího potrubí, dávkovacího čerpadla, rozvaděče, zpětné klapky, průtokoměru a zařízení pro přípravu pomocného flokulantu.



Obrázek 6.8: Zařízení pro odvodňování kalů HUBER Q-PRESS, zdroj: [51]

- **KAPLAN spol. s r. o.**

Společnost dodává samostatná zařízení nebo kompletní linky odvodnění kalů, skládající se ze sítopásových lisů, stanic pro přípravu dávkování flokulantu, pásových dopravníků a kompletní dodávku a montáž souvisejících zařízení, jako jsou čerpadla, řídicí rozvaděče a rozvody médií v rámci lisovny kalů. V následujících tabulkách jsou uvedeny data, která mi společnost poskytla. [52]

Tabulka 6.10: Cenová nabídka pásových lisů firmy KAPLAN, zdroj: [71]

pásové lisy	průměrné množství	příkon	procento sušiny na výstupu	cena bez DPH
[-]	[m ³ /hod]	[kW]	[%]	[Kč]
KCZ 500/S IN	1–3	0,55	–	521 000
KCZ 800/S IN DZG	2–4	0,55	18–30	647 620
KCZ 1 000/S IN DZG	2–5	0,75	–	691 500
KCZ 800 IN	4–7	0,75	20–40	921 460
KCZ 1 000 IN	5–9	1,10	20–40	990 820
KCZ 1 250 IN	8–15	1,50	20–40	1 105 540
KCZ 1 500 IN	12–18	1,80	–	1 336 870
KCZ 2 000 IN	15–22	2,20	20–40	1 537 000

Tabulka 6.11: Cenová nabídka pásových zahušťovačů firmy KAPLAN, zdroj: [71]

pásové zahušťovací zařízení	průměrné množství	příkon	procento sušiny na výstupu	cena bez DPH
[-]	[m ³ /hod]	[kW]	[%]	[Kč]
ZZ 1 000 IN	5–15	0,75	4–16	298 900
ZZ 1 500 IN	10–23	0,75	–	366 500
ZZ 2 000 IN	17–30	1,10	–	398 500

Tabulka 6.12: Cenová nabídka dávkování flokulantů firmy KAPLAN, zdroj: [71]

stanice pro přípravu a dávkování flokulantů	manuální ovládání - cena bez DPH	automatické ovládání - cena bez DPH
[-]	[Kč]	[Kč]
CHHK I*	174 140	279 990
CHHK II*	161 400	252 700
CHHK III*	141 700	152 400

Ceny jsou uvedeny včetně kalových čerpadel, ostřikových čerpadel, ATS stanic, kompresorových stanic, vynášecích dopravníků a elektrických rozvaděčů. Součástí je také kompletní montáž. Sestavy je možno dodávat také jako mobilní stanice. V nabídce firmy je i centrální mazání ložisek válců pásových lisů, s automatickým ovládním za 32 000,-Kč.



Obrázek 6.9: Sítapasový lis společnosti KAPLAN, spol. s r. o., zdroj: [71]

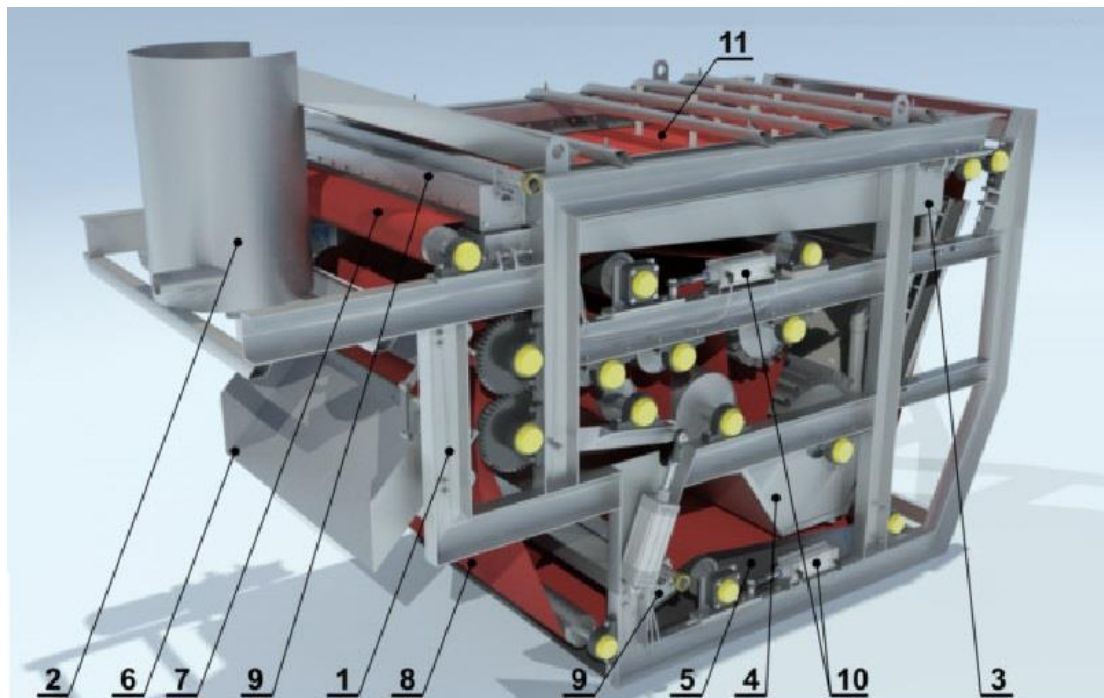
- **Metal-Management, spol. s r. o.**

Společnost se zabývá dodávkou technologií pro čištění odpadních vod z komunálních ČOV. V sekci odvodnění kalů dodává pytlavačky, které jsou jednoduchým zařízením pro malé čistírny a sítopásové lisy, které představují výkonné zařízení pro kontinuální odvodnění kalů s vysokou účinností a velkou produktivitou. [53]

Tabulka 6.13: Ceny sítopásových lisů společnosti Metal-Management, spol. s r. o., zdroj: [72]

typ lisu	průtočné množství	šířka pásu	cena bez DPH
[-]	[m ³ /hod]	[mm]	[Kč]
C2	0,5 - 3	600	1 050 000
C3	2-4	600	1 180 000
C6	3-8	800	1 300 000
C8	6-10	1 000	1 500 000
C10	8-13	1 250	1 895 000

V ceně není kromě DPH také uveden náklad na dopravu. Zařízení je dodáváno v plné automatické. Součástí ceny je jednotka pro dávkování flokulantu, kompresor, kalové čerpadlo, dopravník na odvodněný kal, elektrorozvaděč, plastové rozvody kalu a ostřikové vody, elektrické rozvody, montáž, funkční zkoušky, uvedení do provozu a zaškolení obsluhy. [72]



1 – nosný rám, 2 – vtoková homogenizační nádoba, 3 – horní vana, 4 – střední vana, 5 – spodní vana, 6 – výsypka, 7 – horní pás, 8 – spodní pás, 9 – ostřik pásů, 10 – střední pásů, 11 – zóna gravitačního odvodnění

Obrázek 6.10: Sítopásový lis Compacteron společnosti Metal-Management, spol. s r. o. [53]

- **První brněnská strojírna Velká Bíteš, a. s.**

Zástupce společnosti, pan Ing. Josef Klíma, mi sdělil, že nemají dostupný ceník technologií pro odvodnění kalů (dekantační odstředivky), protože dodávky jsou vytvářeny přímo na konkrétní požadavky zákazníka. Zakázka je dodávána včetně řídicí jednotky, flokulační stanice, čerpadla, průtokoměrů, dopravníků atd. Běžné aplikace provádí firma na čistírnách od 700 EO do 1 500 EO. Pan inženýr dodává, že bez ohledu na to, že zařízení dosahují z dlouhodobého hlediska velmi výborné hodnoty na výstupu, jsou pro takto malé čistírny odpadních vod ekonomicky neefektivním řešením. Ze zkušeností také uvádí problémy s dosahováním potřebné sušiny kalu na výstupu, kde bylo pochybení na straně obsluhy v jedné fázi odvodňovacího procesu. Byla mi poskytnuta orientační cena pro jejich nejmenší dekanatační odstředivku DO 250-2M, u které by v plné výbavě byla pořizovací cena v rozmezí 2,2–2,5 mil. Kč. [70]



Obrázek 6.11: Dekanatační odstředivka společnosti PBS Velká Bíteš, zdroj [54]

Z výše uvedených informací, bych souhlasil s doporučením výrobců a pro kategorii čistíren odpadních vod od 500 EO do 2 000 EO, bych volil k odvodnění čistírenských kalů pásové lisy s využitím flokulace. Zajímavým řešením se zdá také dehydrátor, který může zpracovávat kaly přímo z aktivačního procesu.

6.2.1.2 Investiční náklady na stabilizaci čistírenských kalů

V řešené kategorii čistíren odpadních vod připadá v úvahu aerobní stabilizace nebo stabilizace založená na delším uložení kalu, popřípadě pomocí provzdušňování. Investiční náklady je proto velmi těžké uvádět. Záleží na produkci kalu, lokálních podmínkách, použití stavební konstrukce atp.

Z hlediska investičních nákladů na stabilizaci kalů je v pomyslném popředí aerobní stabilizace, která je součástí aktivačních procesů. Toto uspořádání technologické linky přenáší většinu investičních nákladů do výstavby samostatné aktivace. Nevýhodou tohoto procesu je dlouhá doba zdržení kalu a vyšší provozní náklady.

6.2.2 Provozní náklady kalové koncovky pro ČOV od 500 EO do 2 000 EO

Provozní náklady spojené s kalovým hospodářstvím konkrétní čistírny odpadních vod je spojeno se spotřebou energie pro zahušťování, odvodnění, stabilizaci či hygienizaci kalu. Do provozních nákladů patří také cena za dopravu, uložení nebo zpracování kalu. Jak jsem zmínil v předešlé kapitole, získání informací o nákladových cenách je značně obtížné, přesto někteří provozovatele porovnávaných čistíren dodali informace týkající se provozních nákladů na zpracování, odvodnění, stabilizaci a v jednom případě i na hygienizaci kalu.

6.2.2.1 Srovnání provozních nákladů porovnávaných ČOV

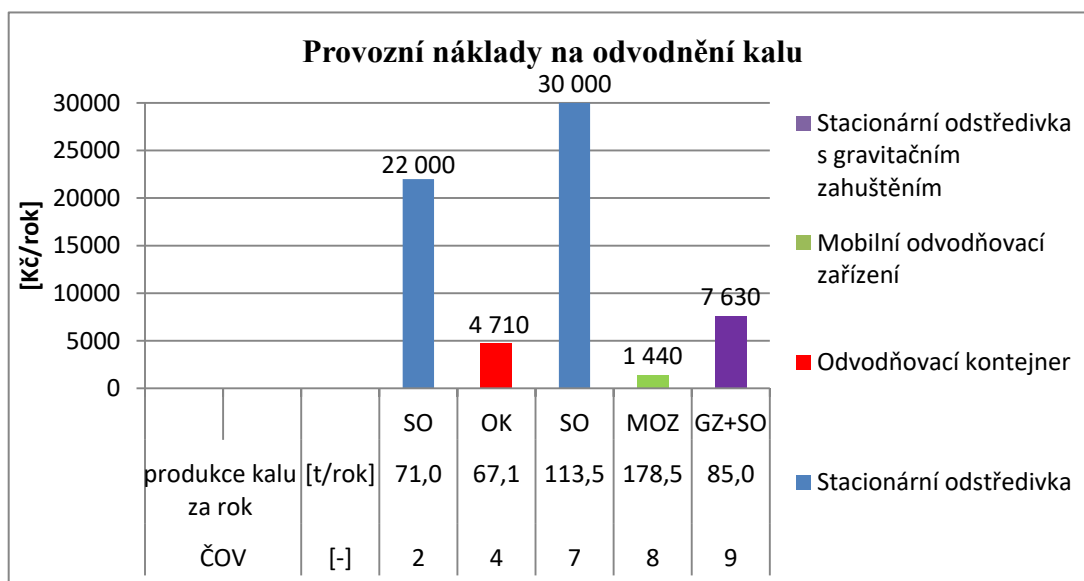
Údaje jsou pro přehlednost zpracovány v tabulkách a pomocí grafů.

- **Odvodnění**

Informace o provozních nákladech na odvodnění kalu mi byly poskytnuty od pěti provozovatelů ČOV.

Tabulka 6.14: Provozní náklady na odvodnění kalu porovnávaných ČOV

ČOV	produkce kalu za rok	způsob odvodnění kalu	cena za odvodnění bez DPH
[-]	[t/rok]	[-]	[Kč/rok]
2	71,0	STACIONÁRNÍ ODSTŘEDIVKA	22 000
4	67,1	2 X ODVODŇOVACÍ KONTEJNER	4 710
7	113,5	STACIONÁRNÍ ODSTŘEDIVKA	30 000
8	178,5	MOBILNÍ ODVODŇOVACÍ ZAŘÍZENÍ	1 440
9	85,0	GRAV. ZAHUŠTĚNÍ + STAC. ODSTŘEDIVKA	7 630



Obrázek 6.12: Provozní náklady za odvodnění porovnávaných ČOV

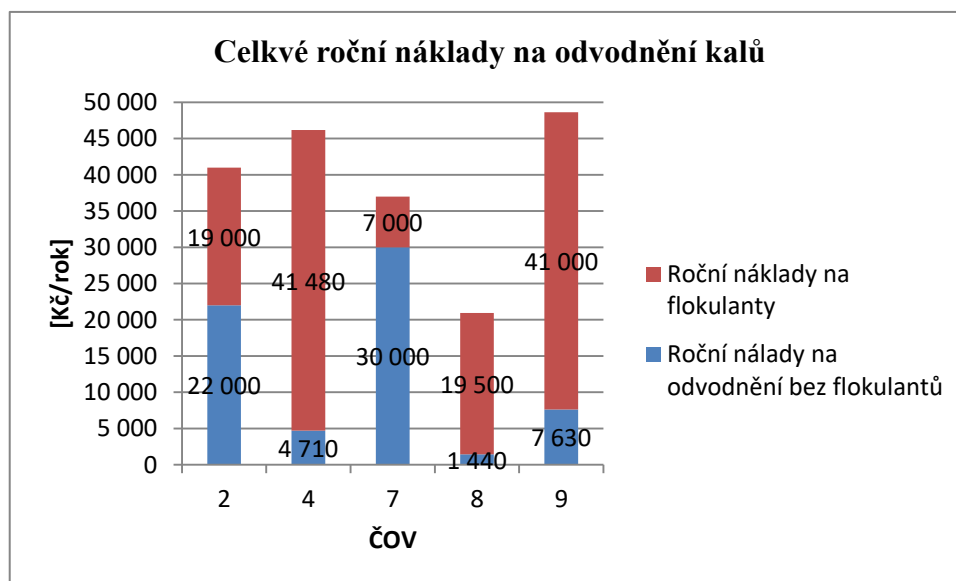
Z grafu je patrné, že stacionární odvodňovací zařízení je podstatně více náročné na provozní náklady než mobilní odvodňovací zařízení. Nižší náklady jsou na kontejnerové odvodnění čistírenských kalů, kde jsou náklady spojeny především s dopravou kalu. Výrazný rozdíl v provozních nákladech je také při využití gravitačního zahuštění kalu v kombinaci se stacionární odstředivkou.

Pro lepší odvodnění kalů je nutné využívat flokulanty, které tvoří také značnou část ročních provozních nákladů. V následující tabulce jsou zaznamenány náklady na flokulanty za rok pro stejné čistírny, u kterých byly porovnány náklady na odvodnění.

Tabulka 6.15: Roční náklady na flokulanty porovnávaných ČOV

ČOV	produkce kalu za rok	druh flokulantu	cena flokulantu bez DPH
[-]	[t/rok]	[-]	[Kč/rok]
2	71,0	SOKOFLOK 61	19 000
4	67,1	SOKOFLOK EMULZ.	41 480
7	113,5	SE STŘEDNÍM KATIONTICKÝM NÁBOJEM	7 000
8	178,5	ZETAG 8170	19 500
9	85,0	SOKOFLOK	41 000

Následující graf sumarizuje roční náklady na odvodnění včetně nákladů na flokulant.



Obrázek 6.13: Celkové roční náklady na odvodnění kalů porovnávaných ČOV

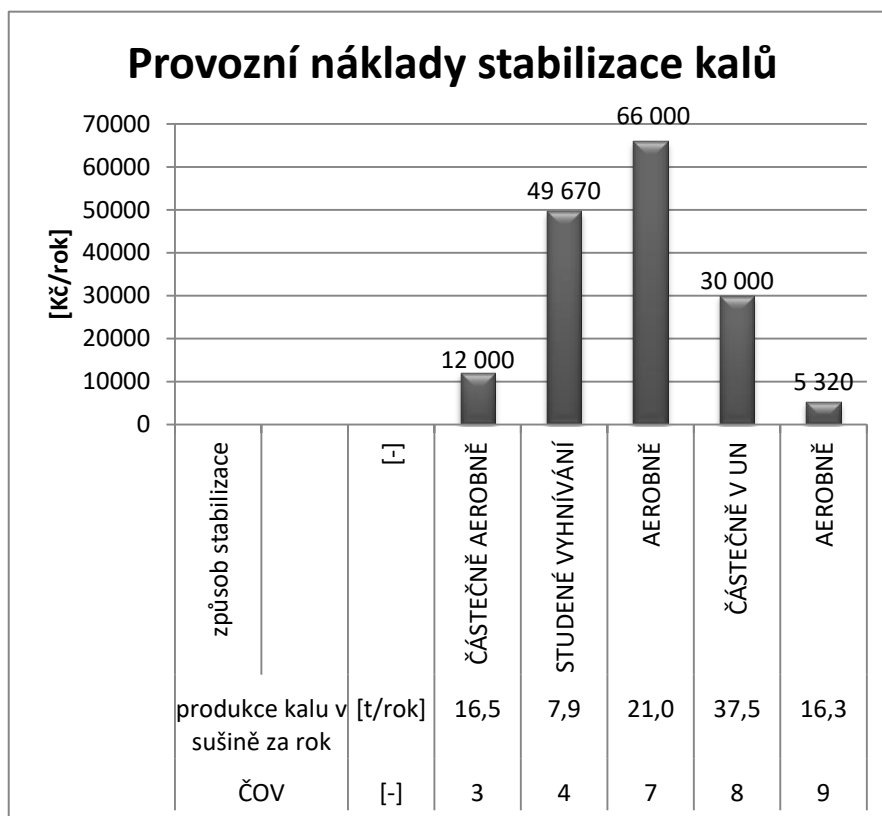
Z grafu vychází, že nejvyšší provozní náklady na odvodnění kalů mají čistírny s nejmenší produkcí kalu. U těchto čistíren jsou náklady vynaloženy především na flokulační procesy. Nejnižší nároky na flokulanty má ČOV 7 se stacionární odstředivkou. Naopak nejvyšší nároky má ČOV 4, která odvodňuje kal pomocí dvou odvodňovacích kontejnerů.

• **Stabilizace**

Čistírny odpadních vod zahrnuté do srovnávání využívají aerobní stabilizaci, studené vyhnívání, kalová pole, částečnou stabilizaci v usazovací nádrži a provzdušňované kalojemy. Z oslovených provozovatelů mi pět poskytlo informace o provozních nákladech na stabilizaci kalu. Tyto data jsou opět zpracována v následující tabulce a grafu.

Tabulka 6.16: Provozní náklady za stabilizaci porovnávaných ČOV

ČOV	produkce kalu za rok	produkce kalu v sušině za rok	způsob stabilizace	cena za stabilizaci bez DPH
[-]	[t/rok]	[t/rok]	[-]	[Kč/rok]
3	1 100,0	16,5	ČÁSTEČNĚ AEROBNĚ	12 000
4	67,1	7,9	STUDENÉ VYHNÍVÁNÍ	49 670
7	113,5	21,0	AEROBNĚ	66 000
8	178,5	37,5	ČÁSTEČNĚ V UN	30 000
9	85,0	16,3	AEROBNĚ	5 320



Obrázek 6.14: Provozní náklady na stabilizaci kalů porovnávaných ČOV

Výsledky z údajů ČOV 4, ČOV 7 a ČOV 8 jsou podle mého názoru dle očekávání. Aerobní stabilizace je především energeticky náročný proces a to se projeví i na provozních nákladech. Co se týká nákladů na aerobní stabilizaci ČOV 3 a ČOV 9, ve výsledcích je promítnuta nižší produkce kalů a také budou ovlivněny využíváním částečné stabilizace čistírenských kalů.

- **Hygienizace**

Údaje o hygienizaci kalů jsou v podání provozovatelů velmi sporadické. Většina čistíren se touto problematikou nezabývá a nechává řešení na větších čistírnách, kam je kal odvážen na další zpracování. Provozovatelé ČOV 3 mi poskytli informace, že hygienizaci pro ně provádí externí firma a nemají tak přístup k požadovaným údajům. Jedinou čistírnou, kde je hygienizace řešena, je ČOV 9, kde provádějí tento proces pomocí chemické úpravy, a to vápněním. Vápnění se zapojuje do provozních nákladů částkou 4 000,-Kč za rok.

- **Doprava a zpracování kalů**

Především pro tuto kategorii čistíren odpadních vod, tvoří doprava a zpracování kalů nemalý podíl provozních nákladů. Na tuto část byl dotazník zaměřen otázkami na vzdálenost dopravy kalů, četnost odvozu za rok, cenu za odvoz a také na cenu za zpracování kalů mimo danou ČOV. Většina provozovatelů mi poskytla informace ke všem těmto bodům dotazníku.

Tabulka 6.17: Náklady za dopravu kalů porovnávaných ČOV

ČOV	produkce kalu v sušině za rok	dálka odvozu kalu	četnost odvozu kalu	cena odvozu kalu bez DPH	cena odvozu kalu bez DPH
[-]	[t/rok]	[km]	[počet/rok]	[Kč/km]	[Kč/rok]
1	24,5	4	70	30	16 800
3	16,5	16	91	42	122 304
6	31,9	11	100	36	79 200
8	37,5	15	22	43	28 380
9	16,3	28	16	18	16 128
10	6,3	34	3	–	69 999
11	5,2	22	3	–	71 354
13	20,0	7	2	35	980
14	14,7	15	192	28	161 280
15	22,3	10	2	30	1 200

Náklady na dopravu se u jednotlivých provozovatelů značně liší, přesněji specifikováno, velmi se liší četnost odvozu kalů. Dle mého názoru, při jednom zpětném kontaktu se mi to i potvrdilo, provozovatelé, u některých ČOV nesprávně vyplnili právě četnost odvozu. U onoho zmíněného případu, vyplnil provozovatel, jak často je kal odvážen, nikoliv však kolik cest je na odvoz kalu zapotřebí. Ceny za odvoz se v rámci jednotlivých krajů pohybují na podobné hodnotě. Nejvíce se platí za odvoz kalů v jihomoravském kraji, nejméně v kraji jihočeském. Všichni provozovatelé využívají k odvozu auta o objemu 10–11 m³.

Informace o cenách za zpracování kalu mi poskytlo 8 provozovatelů. U dvou z nich je kal využíván ke kompostování, u jednoho je kal ukládán na skládku.

Tabulka 6.18: Náklady na zpracování kalů porovnávaných ČOV

ČOV	produkce kalu v sušině za rok	produkce kalu za rok	způsob využití kalu	cena zpracování kalu bez DPH	cena zpracování kalu bez DPH
[-]	[t/rok]	[t/rok]	[-]	[Kč/m ³]	[Kč/rok]
1	24,5	767,0	ZEMĚDĚLSTVÍ	166	3 704
3	16,5	1 100,0	ZEMĚDĚLSTVÍ	286	4 286
5	7,0	39,0	ZEMĚDĚLSTVÍ	550	3 510
8	37,5	178,5	ZEMĚDĚLSTVÍ	300	10 223
9	16,3	85,0	KOMPOSTOVÁNÍ	300	4 451
13	20,0	800,0	ZEMĚDĚLSTVÍ	200	3 636
14	14,7	670,0	KOMPOSTOVÁNÍ	250	3 350
15	22,3	1 060,0	SKLÁDKOVÁNÍ	900	18 213

U většiny ČOV se pohybují ceny v rozmezí 200,-Kč – 300,-Kč za m³. Odchylku tvoří ČOV 15, kde je cena za uložení na skládku 900,-Kč za m³, překvapivě dle informací od provozovatele není kal před odvozem na skládku odvodňován. Dalším výrazným odchýlením je ČOV 5. U této ČOV je odvodnění a stabilizace prováděna pomocí kalových polí, nadále je kal nakládán a odvážen ke kompostování. Součástí ceny je tedy také nakládání a odvoz, čímž je částka zkreslena. Pro přepočítání ceny za rok, byla uvažována objemová hmotnost kalu 1 100 kg/m³ [55].

V následující tabulce je zpracována sumarizace provozních nákladů za odvodnění, stabilizaci, dopravu a zpracování kalů u čistíren, u kterých byl poskytnut kompletní přehled dat. Bilanci bylo možno provést u pěti čistíren z patnácti porovnávaných. Jedná se o ČOV 3, ČOV 5, ČOV 8, ČOV 9 a ČOV 15.

Tabulka 6.19: Celkové roční provozní náklady vybraných porovnávaných ČOV

ČOV	EO	cena za odvodnění	cena flokulantu	cena za stabilizaci bez DPH	cena odvozu kalu bez DPH	cena zpracování kalu bez DPH	cena hygienizace kalů bez DPH	roční provozní náklady
[-]	[-]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[Kč/rok]
3	1 208	-	-	12 000	122 304	4 268	-	138 572
5	1 302	-	-	-	3 510		-	3 510
8	1 900	1 440	19 500	30 000	28 380	10 223	-	89 543
9	1 192	7 630	41 000	5 320	16 128	4 451	4 000	78 529
15	1 000	-	-	-	1 200	18 213	-	19 413

Nevyplněná pole jsou procesy, které dané čistírny nevykonávají, a proto mohou být zařazeny do celkového porovnání ročních provozních nákladů. Konečná čísla nejsou určitě kompletní, ale pro základní přehled a ekonomické porovnání dostačují. Jako nejlevnější varianta se ukázalo využívání gravitačního odvodnění v kombinaci s kalovými poli (ČOV 5). Z ekonomického hlediska má tento způsob velký náskok, druhou stránkou je trvání procesu a zábor ploch, v tomto případě je využíváno 440 m². ČOV 15, která

obsadila pomyslné druhé místo, co se týká ekonomické náročnosti, je čistírna bez procesu odvodnění a stabilizace. Ekonomickou náročnost kalové koncovky tvoří pouze odvoz kalů a poplatky související s uložením na skládku. I když, dle mého názoru, je cena za odvoz kalu velmi nízká. Čistírny odpadních vod ČOV 8 a ČOV 9 mají velmi podobné roční provozní náklady. Pro ČOV 8 je však více nákladnější stabilizace kalu, oproti tomu u ČOV 9 je ekonomicky náročnější odvodňování kalů. ČOV 9 jako jediná z porovnávaných čistíren kaly také hygienizuje. Jako ekonomicky nejvíce zatížena se dle výsledků jeví ČOV 3. Součástí čistírenských procesů není odvodnění kalu, dochází k aerobní stabilizaci a hygienizaci provádí externí firma. Většinu provozních nákladů však tvoří odvoz neodvodněných kalů, téměř 90 %.

Součástí dotazníku byl také dotaz, zda je plánována změna v kalovém hospodářství dané ČOV v následujících pěti letech. Z patnácti dotazovaných provozovatelů je u třech plánováno doplnit technologickou linku o odvodňovací zařízení. Provozovatelé ČOV 3 a ČOV 5 plánují do pěti let instalaci stacionárního šnekového odvodnění. Provozovatel ČOV 15 plánuje investovat do kalolisu.

6.2.2.2 Porovnání provozních nákladů odvodňovacích zařízení podle programu společnosti ASIO, spol. s r. o. s určením doby návratnosti

Návrh je proveden na porovnávaných čistírnách odpadních vod, kde jsem vybral čtyři zástupce. Snahou je vystihnout návrh pro čistírny blížící se počtem ekvivalentních obyvatel hodnotám 500, 1 000, 1 500 a 2 000 EO. K tomuto účelu jsou vybrány ČOV 4, ČOV 6, ČOV 8 a ČOV 14. Návrh je vypracován na gravitační zahuštění, spirálový dehydrátor, odstředivku s gravitačním zahuštěním, pásový lis se zahušťovačem a pásový lis s gravitačním zahuštěním.

Jako vstupní hodnoty byly uvažovány hodnoty navržené od firmy ASIO, spol. s r. o., kde byla upravena cena za dopravu a vzdálenost odvozu podle průměru z dat porovnávaných čistíren odpadních vod. Měněny byly také hodnoty počtu ekvivalentních obyvatel a produkce kalu na jednoho ekvivalentního obyvatele.

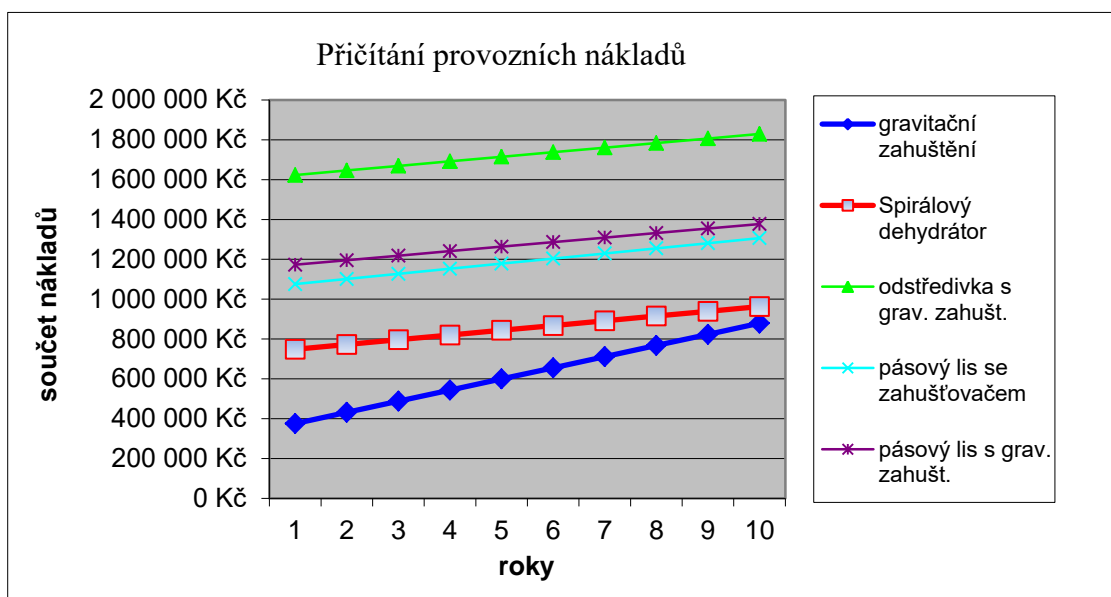
Tabulka 6.20: Vstupní hodnoty pro porovnávání způsobů odvodnění čistírenských kalů dle společnosti ASIO, zdroj: [56]

IN na stavební část	5 000 Kč/ m ³
obsluha	300 Kč/ hod
likvidace kalu - zahuštěný	240 Kč/ m ³
přístavení vozu a čerpání	250 Kč
likvidace kalu - odvodněný	550 Kč/ t
Doprava	33 Kč/ km
Vzdálenost likvidace kalu	17 km
flokulant	120 Kč/ kg
voda	1 Kč/ m ³
elektrická energie	4,5 Kč/ kWh

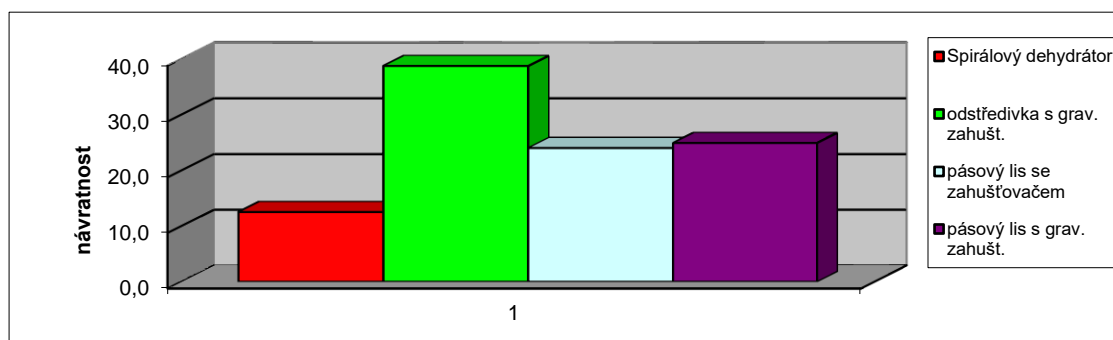
• ČOV 4 – 531 EO

Tabulka 6.21: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 4, zdroj: [56]

zařízení	celkové provozní náklady [Kč/rok]	návratnost [roky]
gravitační zahuštění	55 935	–
spirálový dehydrátor	23 774	12,6
odstředivka s grav. zahuštěním	22 934	38,8
pásový lis se zahušťovačem	25 664	24,1
pásový lis s grav. zahuštěním	22 748	25,0



Obrázek 6.15: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 4, zdroj: [56]

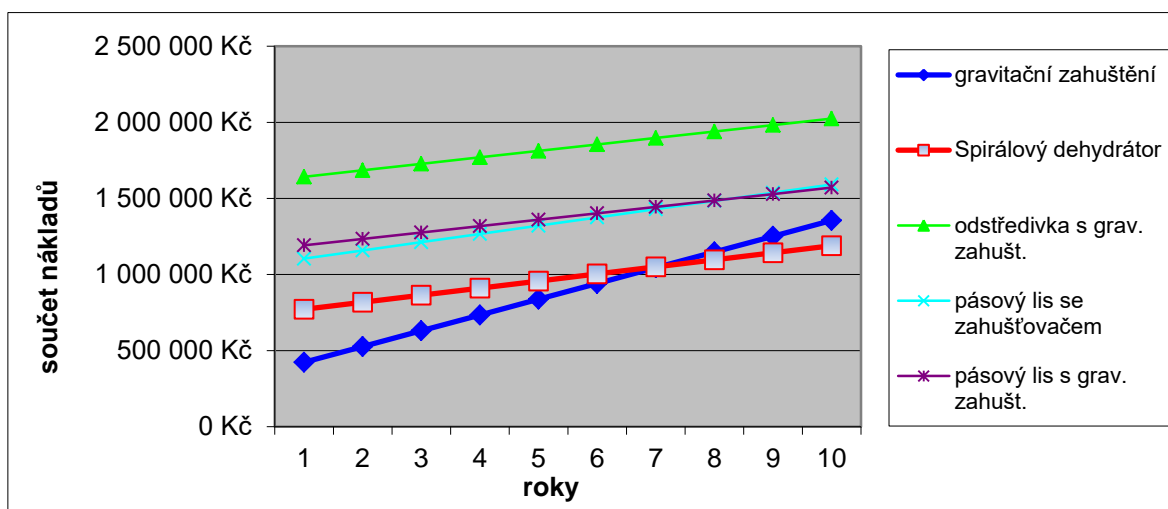


Obrázek 6.16: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 4, zdroj: [56]

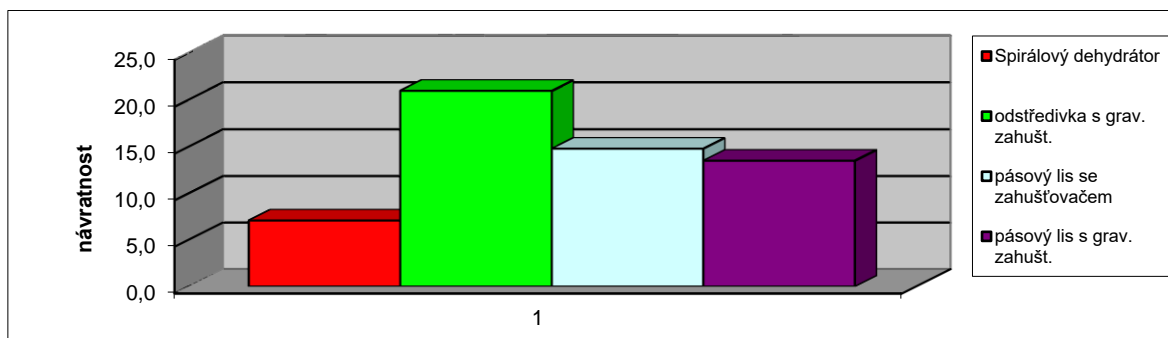
• ČOV 16 – 937 EO

Tabulka 6.22: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 16, zdroj: [56]

zařízení	celkové provozní náklady [Kč/rok]	návratnost [roky]
gravitační zahuštění	103 518	–
spirálový dehydrátor	46 451	7,1
odstředivka s grav. zahuštěním	42 444	21,0
pásový lis se zahušťovačem	54 189	14,8
pásový lis s grav. zahuštěním	42 099	13,5



Obrázek 6.17: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 16, zdroj: [56]

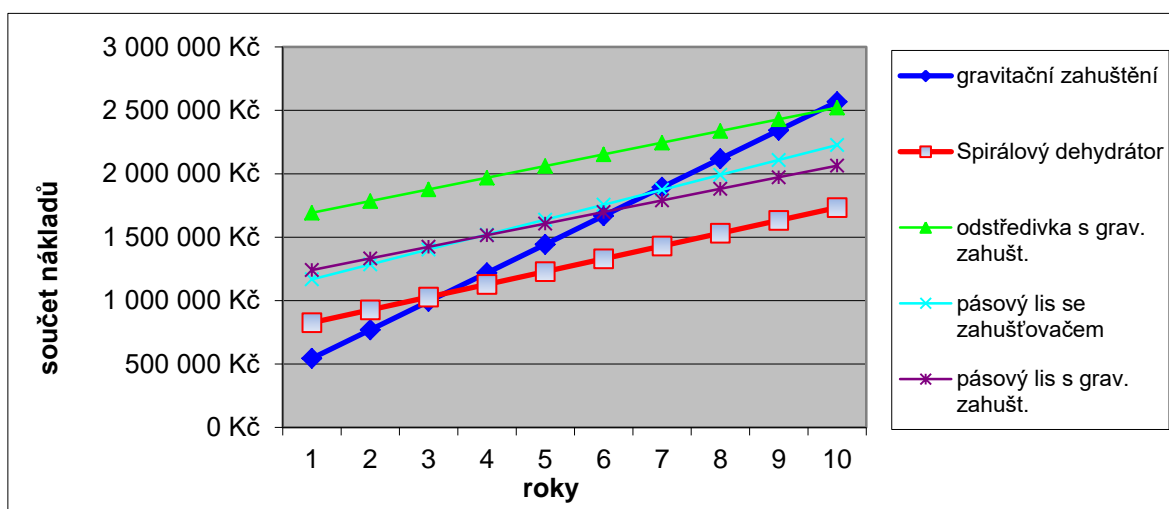


Obrázek 6.18: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 16, zdroj: [56]

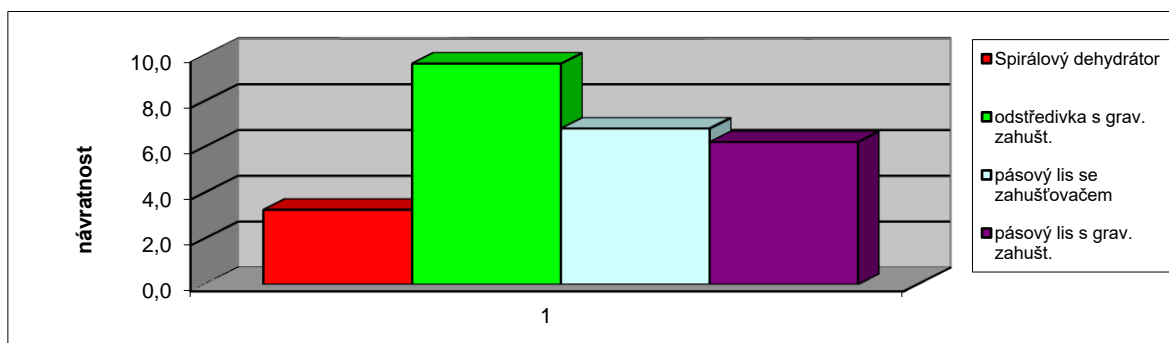
• ČOV 6 – 1 400 EO

Tabulka 6.23: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 6, zdroj: [56]

zařízení	celkové provozní náklady [Kč/rok]	návratnost [roky]
gravitační zahuštění	224 810	–
spirálový dehydrátor	100 878	3,3
odstředivka s grav. zahuštěním	92 175	9,7
pásový lis se zahušťovačem	117 683	6,8
pásový lis s grav. zahuštěním	91 425	6,2



Obrázek 6.19: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 6, zdroj: [56]

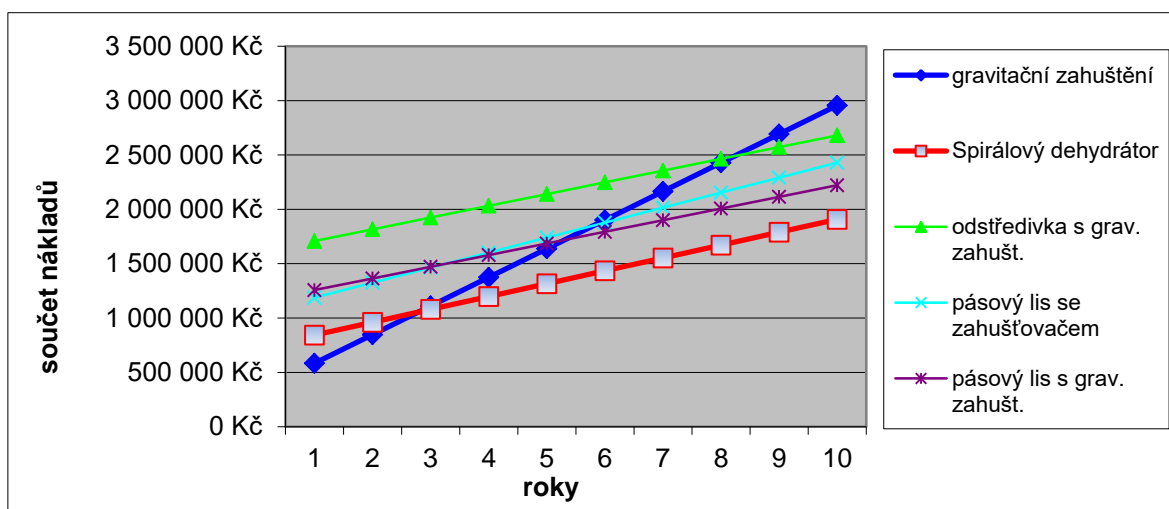


Obrázek 6.20: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 6, zdroj [56]

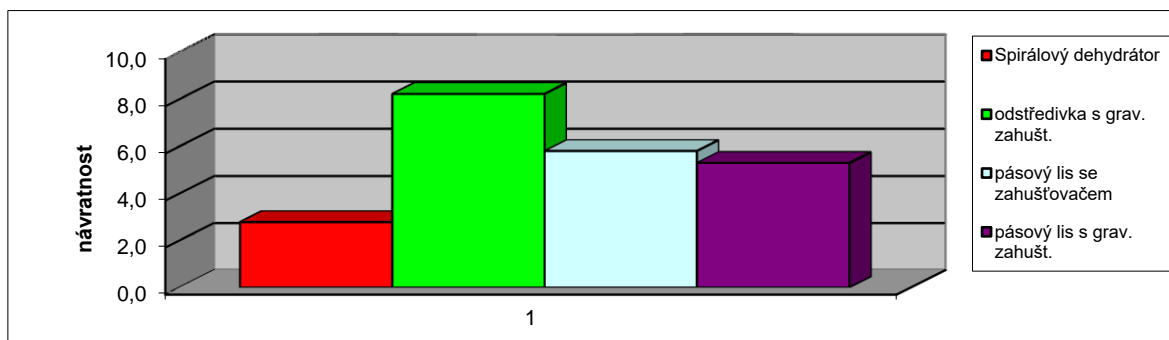
• ČOV 8 – 1 900 EO

Tabulka 6.24: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 8, zdroj: [56]

zařízení	celkové provozní náklady [Kč/rok]	návratnost [roky]
gravitační zahuštění	263 606	–
spirálový dehydrátor	118 287	2,8
odstředivka s grav. zahuštěním	108 082	8,2
pásový lis se zahušťovačem	137 991	5,8
pásový lis s grav. zahuštěním	107 203	5,3

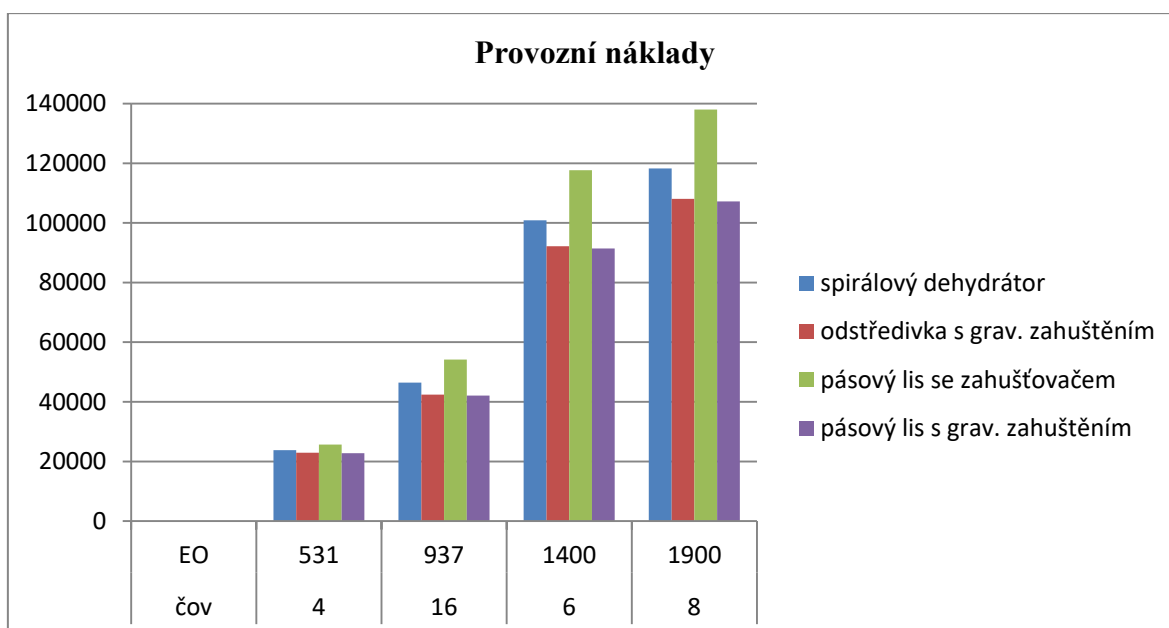


Obrázek 6.21: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 8, zdroj: [56]

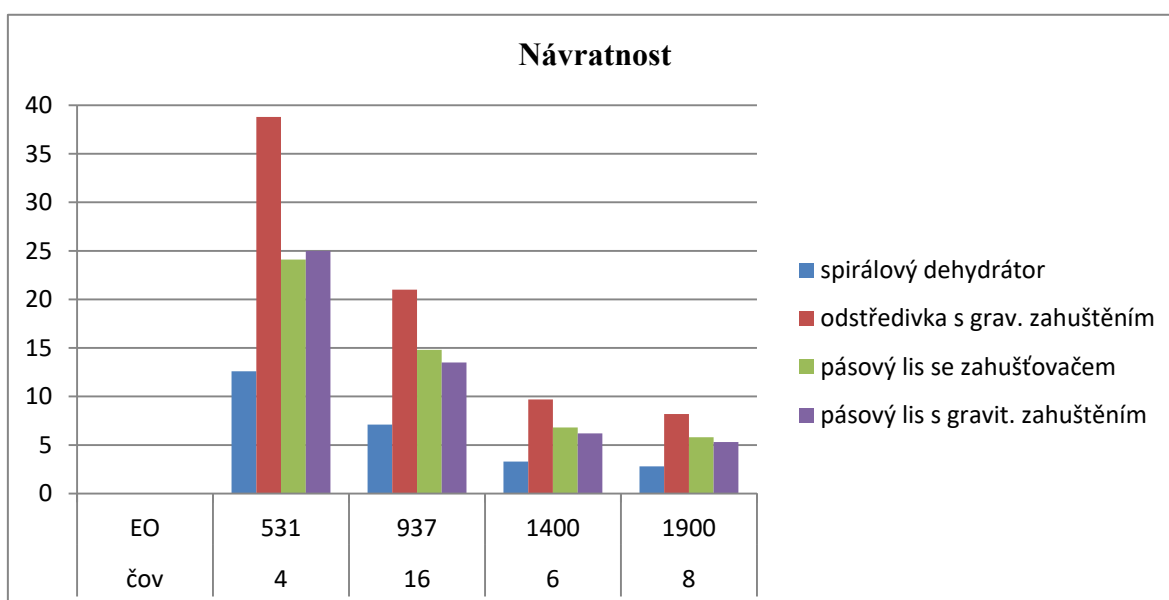


Obrázek 6.22: Obrázek 6.20: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 8, zdroj: [56]

Informace vycházející z programu od společnosti ASIO, spol. s r. o. jsou shrnuty v následujících grafech. Jedná se o nepřímou úměru mezi rostoucími provozními náklady při zvyšování počtu připojených ekvivalentních obyvatel a klesáním doby návratnosti. Pro ČOV porovnávané kategorie, tedy 500 EO až 2 000 EO, se jedná o velmi účinnou technologii s dlouhou dobou bezporuchového provozu (podle informací od výrobců). Pořizovací cenu a provozní náklady je nutné brát s ohledem na to, že investice v provozu čistírny odpadních vod nejsou nutné jen v kalovém hospodářství, a pokud se podíváme na dobu návratnosti, není to pro takto malé čistírny snadný krok.



Obrázek 6.23: Graf provozních nákladů pro všechna odvodňovací zařízení



Obrázek 6.24: Graf návratnosti pro všechna odvodňovací zařízení

6.2.3 Ekonomické posouzení odvodnění kalů společností SmVaK a. s.

Společnost Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a. s. provedla v roce 2010 studii o odvodnění čistírenských kalů z čistíren odpadních vod v kategorii 500–10 000 EO. Jedná se o studii zaměřenou na čistírny, které společnost provozuje. Celkem provozuje 67 čistíren, z toho 40 spadá do této kategorie a 33 ČOV bylo podrobena posouzení. Působíště společnosti tvoří celý Moravskoslezský kraj, výjimkou je samotné město Ostrava, kde působí Ostravské vodárny a kanalizace a. s. [57]

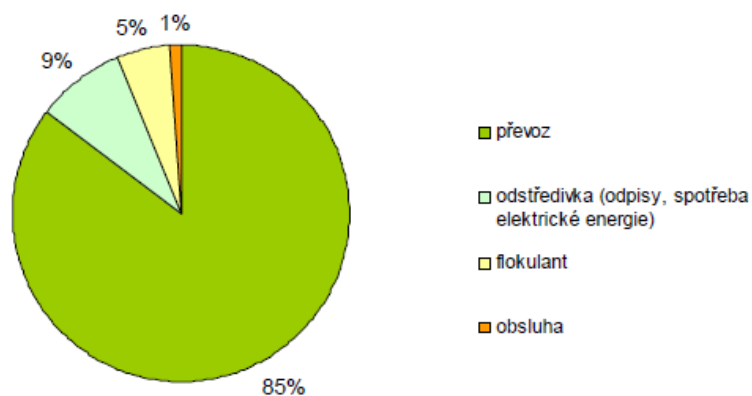


Obrázek 6.25: Působíště společnosti SmVaK a. s. [57]

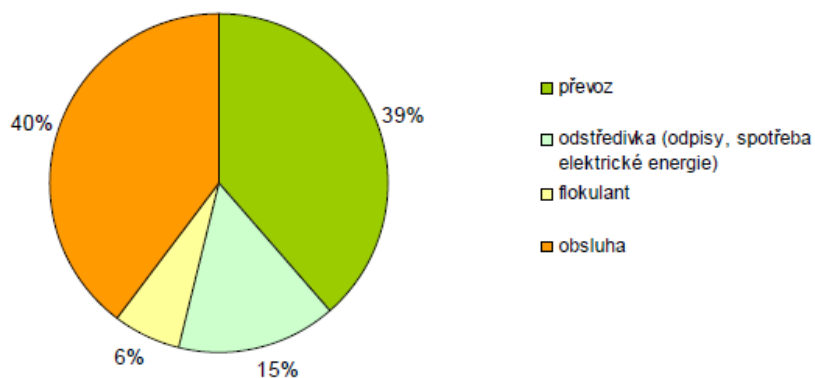
V rámci společnosti se vyskytují následující způsoby odvodňování kalů:

- převoz tekutého kalu na větší ČOV se stacionárním odvodňovacím zařízením;
- mobilní odvodňovací zařízení;
- malé stacionární odvodňovací zařízení;
- pytlovací zařízení;
- kalová pole. [57]

Součástí studie, jsou také dva grafy rozděluující náklady u využívání mobilního a stacionárního odvodňovacího zařízení.



Obrázek 6.26: Rozdělení nákladů při využití stacionárního odvodňovacího zařízení, zdroj: [57]



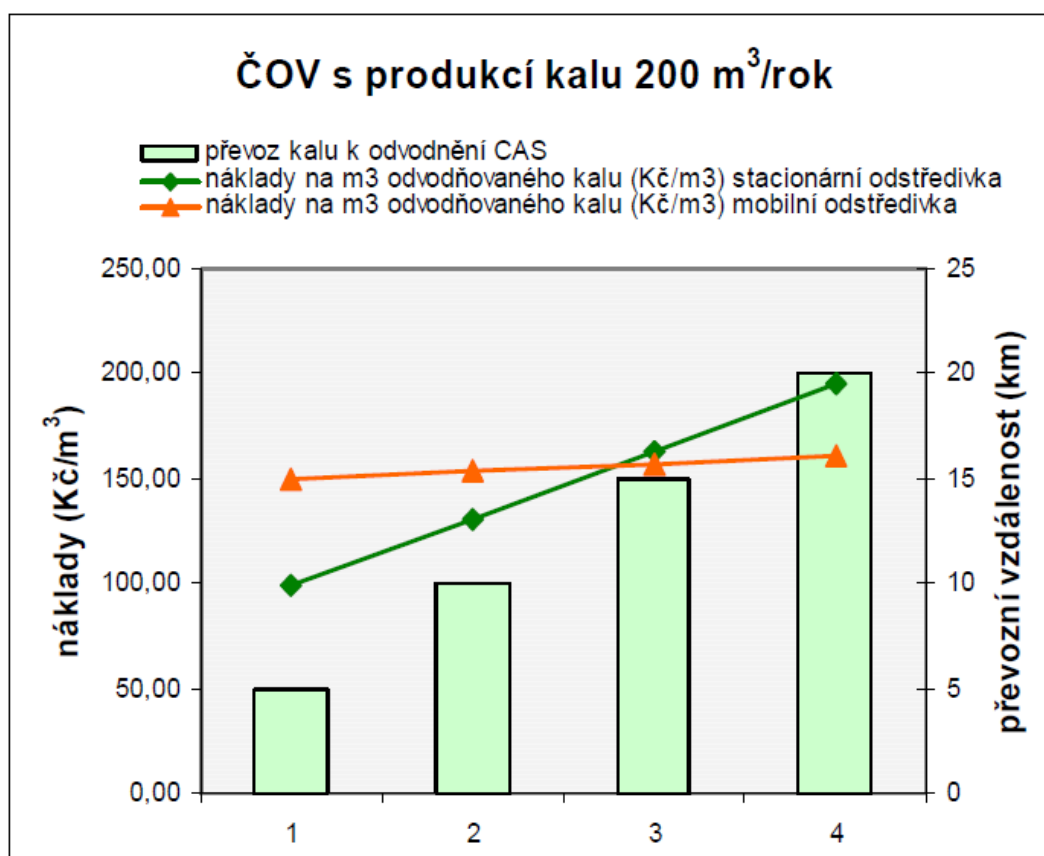
Obrázek 6.27: Rozdělení nákladů při využití mobilního odvodňovacího zařízení, zdroj: [57]

Při porovnání obou grafů je zřejmé, že hlavní roli v nákladech hrají převoz a obsluha.

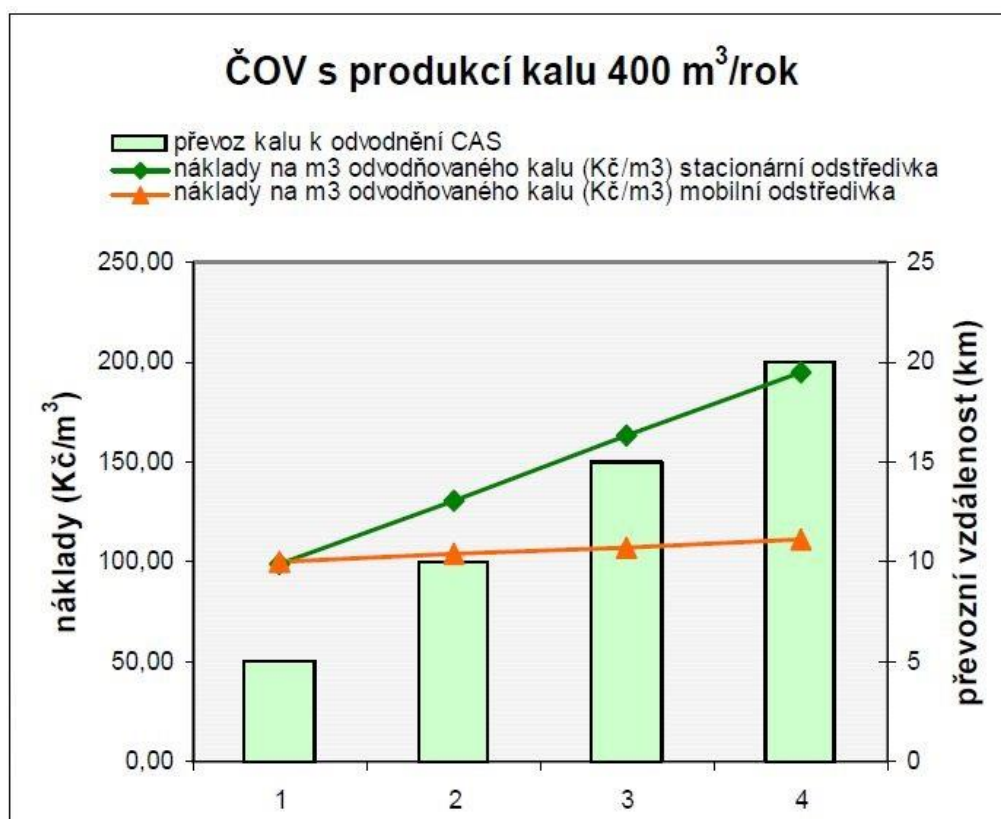
Čistírny byly rozděleny do kategorií podle produkce kalu za rok. Jednotlivé kategorie jsou rozděleny na 200 m³/rok, 400 m³/rok, 600 m³/rok, 800 m³/rok, 1 000 m³/rok a 2 000 m³/rok. Pro účely této diplomové práce lze využít posouzení ČOV s roční produkcí 200–1 000 m³. Při posouzení jsou uvažovány stacionární odstředivka s výkonem 20–25 m³/hod a mobilní odstředivka s výkonem 8–12 m³/hod. U sušiny kalu na vstupu je uvažována hodnota 2 % a objem uskladňovací nádrže je navržen jako čtvrtina roční produkce kalu. [57]

Pro použití mobilního odvodňovacího zařízení je podle této studie důležitá dostatečná kapacita uskladňovacích nádrží, možnost řízeného vypouštění fugátu, dostatečná kapacita aeračního zařízení na ČOV pro čištění fugátu, zajištění výše limitů ve vyčištěné vodě a to především u ukazatele N-NH₄⁺, dostatečný příkon elektrické energie, a také dostatečná plocha pro manipulaci a umístění mobilního odvodňovacího zařízení a kontejner na odvodněný kal. [57]

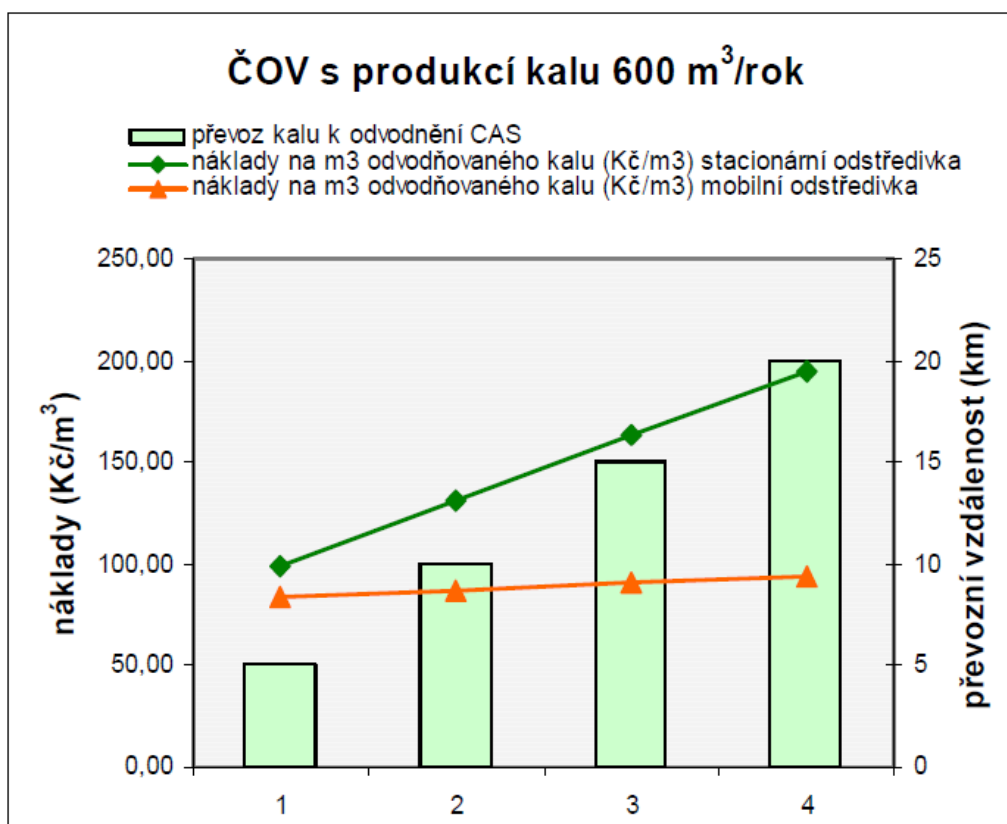
Následující grafy vyjadřují vztahy mezi odvozem kalu na větší čistírny a odvodnění pomocí stacionárního nebo mobilního odvodňovacího zařízení. Ze studie jsou vybrány pouze grafy související s vybranou kategorií ČOV. [57]



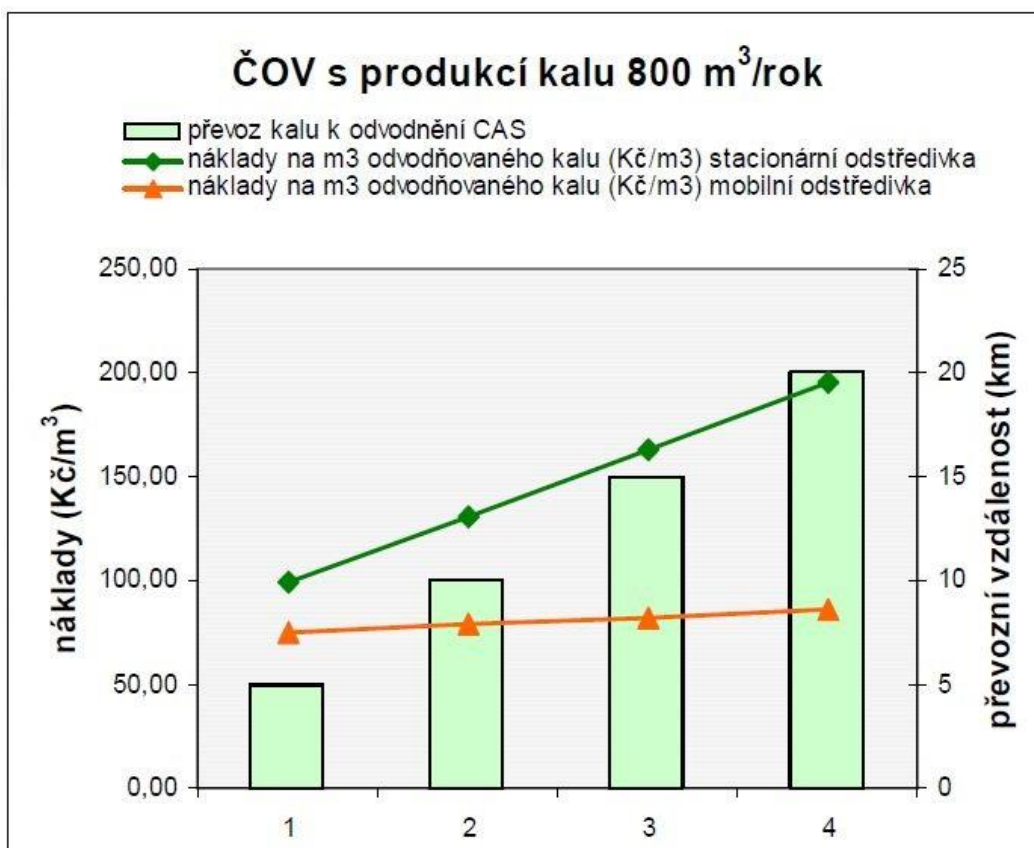
Obrázek 6.28: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 200 m³ za rok, zdroj: [57]



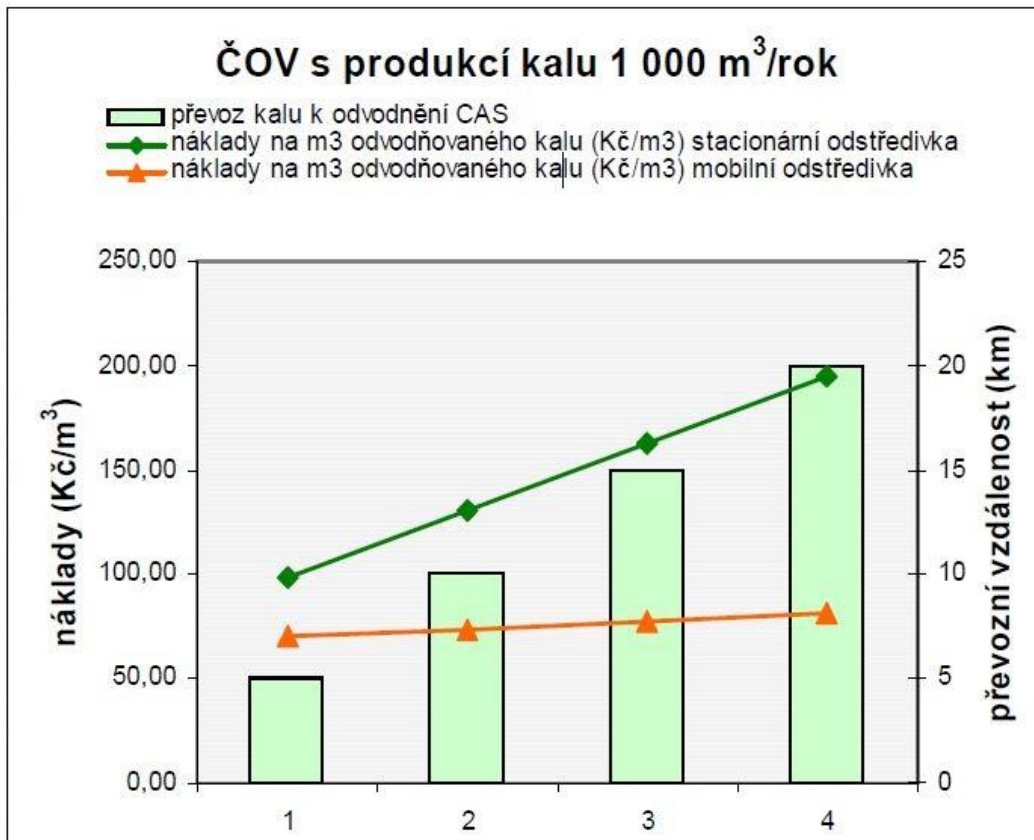
Obrázek 6.29: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 400 m³ za rok, zdroj: [57]



Obrázek 6.30: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 600 m³ za rok, zdroj: [57]



Obrázek 6.31: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 800 m³ za rok, zdroj: [57]



Obrázek 6.32: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 1 000 m³ za rok, zdroj: [57]

Z grafů je odvozeno, že u ČOV s produkcí čistírenských kalů do 200 m³ za rok, je ekonomicky výhodnější odvoz kalů k odvodnění, na větší čistírny odpadních vod pokud jsou vzdálené do 15 km. Pokud je vzdálenost větší, je vhodné využívat mobilního odvodňovacího zařízení. Náklady je také možné snížit zahuštěním kalu. Zahuštění o 1 % podle studie sníží náklady o 30–40 %. Při využívání v praxi nastává často problém s nedostatečnou kapacitou aeračního zařízení a s omezenou plochou pro manipulaci. [57]

Čistírny, které produkují za rok do 400 m³ kalů, sníží své náklady na odvodnění odvozem na jinou ČOV pouze pokud se nachází do vzdálenosti 5 km. Nad 5 km je výhodnější využití mobilního odvodňovacího zařízení. [57]

Pokud je produkce kalu na čistírně větší než 600 m³ za rok, je vždy výhodnější využít mobilní odstředivku. V praxi se vyskytují problémy s nedostatečnou kapacitou kalojemů. [57]

7 ZÁVĚR

Kalové hospodářství čistíren odpadních vod je velmi důležitou částí celého procesu čištění odpadních vod. Z ekonomického hlediska tvoří nakládání s kaly téměř 50 % celkových nákladů čistírny. Z hlediska znečištění kaly obsahují až 80 % z přiváděné odpadní vody, přičemž tvoří přibližně 2 % celkového objemu přitékajících odpadních vod na ČOV. Právě obsah znečištění je důsledkem nátlaku národní legislativy i legislativy Evropské unie. Současným trendem je snižování produkce čistírenských kalů navzdory zpřísnujícím se limitním hodnotám pro další využívání kalů. Technologie kalového hospodářství, které se v současné době využívají, jsou, dalo by se říci provizorním řešením oproti tomu, jaké technologie se do procesu budou muset zapojovat v budoucnu. Současné řešení kalové koncovky na jednotlivých čistírnách vychází především z technicko-ekonomických možností každého provozovatele a je nutné počítat s její přestavbou a modernizací. Nově využívané technologie zpracování čistírenských kalů budou také úzce spjaty s produkcí i spotřebou elektrické a tepelné energie. Kromě ekonomického pohledu je tedy také zásadní sestavovat pro budoucí projekty energetické bilance pro konkrétní ČOV.

Na trhu je velmi široké zastoupení zařízení, která pomáhají snížit objem kalů a dodávají mu takové vlastnosti, aby bylo možné co nejširší využití. Opět je to ale otázka peněz, která určí, v jaké míře budou využívány, třeba i inovativní technologie, v procesech kalového hospodářství. Dalo by se říci, že novinkou této problematiky je zákaz ukládání kalů na skládky. V České republice měl tento způsob nakládání s kaly stále nemalé zastoupení a tímto rozhodnutím vzroste množství kalů, které se budou muset zpracovávat jiným způsobem. Hned dalším v pořadí bude významné omezení zpracování kalů v zemědělství s ohledem na životní prostředí a lidské zdraví. Třeba právě tyto kroky povedou k rychlejšímu vývoji a větší dostupnosti lepších technologií, které nám umožní jednak snížit produkci kalů a jednak rozšíří možnosti využití.

V této diplomové práci jsem chtěl nastínit současnou situaci této problematiky, sestavit základní přehled možného složení technologické linky kalového hospodářství a uvést možnosti, jak s kaly nakládat a využívat je. V rešeršní části práce jsou uvedeny legislativní ustanovení jak na republikové, tak na mezinárodní úrovni, dále jsou uvedeny základní charakteristiky čistírenských kalů, metody jejich zahušťování a následného odvodnění. Obsahem je také téma stabilizace a hygienizace kalů, zde jsou uvedeny i faktory, které tyto procesy ovlivňují. Důležitou kapitolou jsou možnosti využití, kde jsou popsány metody využívané v současné době i metody, které jsou teprve ve fázi laboratorních testů. Zmiňuji také, do budoucna nezbytné, procesy zpětného získávání potřebných prvků z čistírenských kalů jako je například fosfor. Celkově je kalové hospodářství velmi obsáhlé téma, ve kterém je podstatný výzkum, rozšiřování stávajících i nových poznatků a hlavně vývoj nových procesů a technologií.

Pro praktickou část práce jsem si vybral technicko-ekonomické posouzení čistíren odpadních vod v kategorii 500–2 000 EO. Původní záměr byl ohraničen pouze vrchním limitem, tedy 2 000 EO. Pro zpracování této části jsem vytvořil dotazníky na provozovatele čistíren odpadních vod, které mi poskytly konkrétní informace o stavu kalové koncovky v této kategorii. Všechny dotazníky, které mi byly zpět doručeny, se pojily s čistírnami nad 500 připojených ekvivalentních obyvatel, a tak jsem se rozhodl původní rozpětí snížit, aby byly eliminovány odchylky poskytnutých dat. Zaměření na menší čistírny jsem si vybral, protože v posledních letech, kvůli nařízení Evropské unie, došlo k velkému zvýšení počtu čistíren do 2 000 EO a v České republice je jich, dle údajů VÚME, téměř 2 000. Dalším důvodem je můj osobní zájem a také bych řekl, že souhrnných informací je v této kategorii nedostatek. Porovnávalo bylo 15 ČOV z pohledu energetické náročnosti, způsobu zahušťování, odvodňování, stabilizace, hygienizace a dalšího zpracování čistírenských kalů. Procesy jsou porovnány z hlediska spotřeby elektrické energie, investičních a provozních nákladů. Výsledky jsou pro přehlednost zpracovány v tabulkách a jím odpovídajících grafech. Součástí dotazníků byla také otázka na plánované změny v následujících pěti letech. Z informací poskytnutých od provozovatelů, bych řekl, že i v této kategorii je snaha o vytvoření kalového hospodářství.

Závěrem bych velmi rád poděkoval za informace zástupcům společností působících v oboru vodního hospodářství, kteří mi poskytli potřebná data pro porovnání investičních nákladů na technologie spojené s kalovým hospodářstvím a především provozovatelům čistíren odpadních vod Blížkovice, Bohdalov, Golčův Jeníkov, Hrubá Vrbka, Koberice u Brna, Kosice, Křelov, Loučovice, Meziměstí, Milešovice, Roztoky u Křivokláta, Rusava, Těšany a Vladislav, za poskytnuté informace, díky kterým jsem mohl zpracovat praktickou část diplomové práce.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Legislativní podklady

- [4] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 185/2001 Sb.: Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů*. In: . Praha, 2001, 71/2001, 185/2001 Sb. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- [5] ČSN EN 1085. *Čištění odpadních vod - Slovník*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [7] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 93/2016 Sb.: Vyhláška o Katalogu odpadů*. In: . Praha, 2016, 38/2016, 93/2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93>
- [8] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 437/2016 Sb.: Vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)*. In: . Praha, 2016, 178/2016, 437/2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-437>
- [11] *Směrnice rady 91/271/EHS: o čištění městských odpadních vod*. In: . 1991, 271/1991. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=CS>
- [12] *Směrnice rady 86/278/EHS: o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství*. In: . 1986, 278/1986. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/3F871B1F214B6899C1256DDA003D8942/\\$file/31986L0278fin.pdf](https://www.mzp.cz/ris/ais-risdb-ec-table.nsf/3F871B1F214B6899C1256DDA003D8942/$file/31986L0278fin.pdf)
- [13] *Směrnice rady 91/676/EHS: o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů*. In: . 1991. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0676&from=CS>
- [46] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 156/1998 Sb.: Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)*. In: . Praha, 1998, 54/1998, 156/1998. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-156>

Odborná literatura

- [1] HARTIG, Karel. *Problematika kalového hospodářství. Vodní hospodářství* [online]. Bohumilice, Čkyně, 2017, únor [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi/>

- [3] *Optimalizace nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod: Oddíl I, Analytická část* [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OODP-Oddil_I_1_Analyticka%20cast-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-Oddil_I_1_Analyticka%20cast-20160810.pdf)
- [6] *Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel: Metodická příručka* [online]. Praha, 2009 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/14/4345-20090406_metodicka_prirucka_zneskodnovani_odpadnich_vod.pdf
- [10] Bc. Miloslav Kříž *Technicko-ekonomické vyhodnocení vybraných technologií ČOV do 2.000 EO*. Brno, 2017. 108 s., 6 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
- [14] DOHÁNYOS, Michal: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2006-05-09 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655
- [16] *Zpracování kalů: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/>
- [18] MOUČKA, Přemysl. *Využití flotace ve vodním hospodářství* [online]. Zlín, 2008 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/7765/mou%C4%8Dka_2008_bp.pdf?sequence=1. bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Prof. Ing. Jan Kupec, CSc.
- [23] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *Stokování a čištění odpadních vod: Čištění odpadních vod Modul 2*. Brno, 2006. Studijní opora. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [25] *Bioprofit: Anaerobní technologie* [online]. Lišov, 2007 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [26] HARTIG, Karel. Problematika kalového hospodářství: sušení kalů. *Vodní hospodářství* [online]. Bohumilice, Čkyně, 2017 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi-2/>
- [27] PETŘÍČKOVÁ, A. Nakládání s kaly z čistíren odpadních vod v souvislosti s dopravou a termickým zpracováním kalů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Frýba. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104174
- [29] *HUBER TECHNOLOGY: HUBER solární sušička SRT* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.huberco.cz/cz/produkty/zpracovani-kalu/suseni/huber-solarni-susicka-srt.html>
- [30] HARTIG, Karel. Problematika kalového hospodářství: aplikace kalů na zemědělské půdě a k rekultivacím. *Vodní hospodářství*. Bohumilice, Čkyně, 2017, s. 4.

- [31] STRÁNSKÝ, Václav. Kaly a sedimenty. *Vodní hospodářství* [online]. Bohumilice, Čkyně, 2017 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/kaly-a%E2%80%AFsedimenty/>
- [32] HRDINA, Pavel. Výroba rekultivačních materiálů z kalů. *Odpady-online.cz* [online]. 15.7.2003 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/vyroba-rekultivacnich-materialu-z-kalu/>
- [33] HUBÁLEK, Tomáš. Kompostování kalů z ČOV a využití kompostů pro bioremediace. *Odpady-online.cz*[online]. 2007, 13.11.2007 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/kompostovani-kalu-z-cov-a-vyuziti-kompostu-pro-bioremediace/>
- [35] BEDNAŘÍK, Vrastislav. Co s čistírenským odpadem? *Odpady-online.cz* [online]. 2001, 12.6.2001 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/co-s-cistirenskym-odpadem/>
- [36] HARTIG, Karel. Problematika kalového hospodářství: termická destrukce kalů. *Vodní hospodářství*. Bohumilice, Čkyně, 2017, s. 5.
- [37] ŠŤASTA, P. Využití čistírenských kalů jako alternativního paliva. Brno, 2009. 147 s. Disertační práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, Ústavu procesního a ekologického inženýrství. Vedoucí disertační práce Prof. Ing. Petr Stehlík, CSc. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/4303/DIZERTACNI%20PRACE%20P.Stasta.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- [38] BAGÁROVÁ GRZYWA, Martina. Energetické využívání surových čistírenských kalů. *Odpady-online.cz* [online]. 2002, 25.6.2002 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/energeticke-vyuzivani-surovych-cistirenskych-kalu/>
- [39] KOS, Miroslav. *POUŽITÍ PYROLÝZY K PRODUKCI HNOJIVA Z ČISTÍRENSKÝCH KALŮ*. In: . Praha, 2016, s. 8. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: http://www.cpga.cz/files/prednasky/1603_Kos_Pyrolyza_hnojiva_fulltext.pdf
- [40] Hlavínek, P. Mikrovlnná pyrolýza čistírenského kalu. *Vodovod.info - vodárenský informační portál*[online]. 16.11.2015, 11/2015, [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://vodovod.info>. ISSN 1804-7157.
- [41] ŠMARDA, M. Mikrovlnná pyrolýza substrátů odpadní povahy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 45 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/60090/Mikrovlmn%C3%A1%20pyrol%C3%BDza_Smarda.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [42] INECO: Fluidní zplyňování kalů. *INECO* [online]. Praha, 2011 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.inecosro.cz/cs/7/doplnkove-sluzby/fluidni-zplynovani-kalu>
- [43] ŠYC, Michal, Petra KAMENÍKOVÁ, Matěj KRUML, Jiří SOBEK, Michael POHOŘELÝ, Karel SVOBODA a Miroslav PUNČOCHÁŘ. *Možnosti recyklace fosforu z čistírenských kalů* [online]. 2015 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://invenio.nusl.cz/record/181127/files/content.csg.pdf>

- [47] WANNER, Jiří. Čištění odpadních vod v ČR: vývoj a současná situace. *Vodní hospodářství* [online]. Bohumilice, Čkyně, 2017, 4.4.2017 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/cisteni-odpadnich-vod-cr/>
- [55] PĚČEK, J. Úprava kalů z čistíren odpadních vod před jejich dalším využitím. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 86 s. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/3214/DDP%20Pecek.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- [57] TLOLKA, Jan a Marcela Zrubková. *Odvodňování čistírenských kalů z čistíren odpadních vod v kategorii 500 – 10 000 EO u společnosti: SmVaK Ostrava a.s.* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/20320675-Odvodnovani-cistirenskych-kalu-z-cistiren-odpadnich-vod-v-kategorii-500-10-000-eo-u-spolecnosti-smvak-ostlava-a-s.html>
- [58] HLAVÍNEK, Petr. *Čištění průmyslových odpadních vod: Technologie zpracování kalů - prezentace*. Brno, 2017.
- [59] BENEŠ, J. *Syntetické polymerické flokulanty zlepšují účinnost separačního procesu* [online]. 2000, 12/2000 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/bf9d25beb0550570c1256c370072c962?OpenDocument>
- [60] JENÍČEK, Pavel. *Spalování kalů* [online]. Praha, 2010 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~jenicekp/Kalov%C3%A9%20hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD/KH%2011%20-%20spalov%C3%A1n%C3%AD.pdf>
- [61] Věříme, že akciová společnost Vodárna Plzeň se nemusí bát o budoucnost.. *SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací* [online]. Praha, 2010, **19**(10), 31 [cit. 2018-01-07]. ISSN 1210-3039. Dostupné z: www.sovak.cz/cfs/files/files/nGcW7jueSadN8YMW7/Sovak1010opt72.pdf?download..
- [65] POLLERT, Jaroslav, Jaroslav POLLERT ML., Miroslav KOS, Vojtěch DOLEŽAL a Jakub DOLEŽAL. *Smart Regions – Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development: Příloha k průběžné zprávě za rok 2016*. 2017.
- [66] HLAVÍNEK, Petr. *Čistota vod: Možnosti snížení produkce kalů - prezentace*. Brno, 2016.
- [67] *Sdělení odboru odpadů Ministerstva životního prostředí k čištění městských odpadních vod ve smyslu zákona č. 223/2015 Sb.* [online]. Praha, 2016 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/sdeleni_odboru_odpadu_223_2015/\\$FILE/OODP-sdeleni-20160120.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/sdeleni_odboru_odpadu_223_2015/$FILE/OODP-sdeleni-20160120.pdf)

Ostatní zdroje

- [2] *Český statistický úřad: Vodovody, kanalizace a vodní toky* [online]. Praha [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2016>
- [9] Nová legislativa: Vyhláška o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. *Tretiruka.cz* [online]. 2016, 22.12.2016 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/nova-legisaltiva-vyhlaska-o-podminkach-pouziti-upravenych-kalu-na-zemedelske-pude/>
- [15] JENÍČEK, Pavel a Michal DOHÁNYOS. *Kalové hospodářství čistíren odpadních vod* [online]. Praha, 2009 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~jenicekp/Kalov%C3%A9%20hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD/KH%201%20-%20p%C5%AFvod%20a%20bilance%20kal%C5%AF.pdf>
- [17] *TenCate Geotube: Kalové hospodářství v čistírnách odpadních vod* [online]. Třeboň [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.geotube.cz/a-13-kalove-hospodarstvi-v-cistirnach-odpadnich-vod.html>
- [19] STAŇKOVÁ, Michala. *Způsoby nakládání s kaly z čistíren odpadních vod* [online]. Brno, 2006 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=16243;..prace.. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Vítěz.
- [20] *E-cerpadla.cz: Odvodňování kalů* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://www.e-cerpadla.cz/dehydratacni-jednotka-p-6013.html>
- [21] *PBS Velká Bíteš: Odvodňovací vaky* [online]. Velká Bíteš [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://odstredivky.pbsvb.cz/comparison-of-technologies/dewatering-bags>
- [22] *TenCate Geotube: Pracovní postup při instalaci odvodňovacích vaků* [online]. Třeboň [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.geotube.cz/c-13-pracovni-postup.html#manipulace>
- [24] JENÍČEK, Pavel. *Stabilizace kalů* [online]. 2009 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~jenicekp/Kalov%C3%A9%20hospod%C3%A1%C5%99stv%C3%AD/KH%205,6%20-%20stabilizace.pdf>
- [28] *JZN Nara: Nara Paddle Dryer (NPD)* [online]. Tokyo, Japan [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.nara-m.co.jp/english/product/dryer/npd.html>
- [34] *IVRAtech komunální technika: Nakládání s bioodpady. IVRAtech komunální technika* [online]. Ostrava-Poruba [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.ivratech.cz/produkty/nakladani-s-bioodpady>
- [44] *Ministerstvo životního prostředí: Informační Systém Odpadového Hospodářství* [online]. Praha [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://isoh.mzp.cz/>
- [45] *Kalové hospodářství: minimalizace produkce kalu* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2751806/>

- [48] Vybrané údaje majetkové evidence: VÚME. *EAGRI: Voda* [online]. Praha, 2016, 25.8.2017 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/338880/VUME___cistirny_odpadnich_vod.pdf
- [49] Vybrané údaje provozní evidence: VÚPE. *EAGRI: Voda* [online]. Praha, 2017, 25.8.2017 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/338888/VUPE___cistirny_odpadnich_vod.pdf
- [50] *Asio: čištění a úprava vody* [online]. Brno [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/>
- [51] *HUBER TECHNOLOGY: WASTE WATER Solutions* [online]. Brno [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.hubercs.cz/cz.html>
- [52] *KAPLAN spol.s.r.o.: výroba pásových lisů* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.kaplan-eko.cz/kontakt.htm>
- [53] *Metal-Management, spol. s r. o.* [online]. Petřvald [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.metalsman.cz/>
- [54] *PBS Velká Bíteš* [online]. Velká Bíteš [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.pbsvb.cz/>
- [56] *Výpočet návratnosti strojního odvodnění kalu oproti gravitačnímu zahuštění: Asio, spol. s r.o.* [online]. Brno [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: www.asio.cz/?download=/_volute/navratnost_odvodneni_as-dehydrator.xls
- [62] EWAC s.r.o.: Odvodňovací kontejnery EB. *EWAC s.r.o.: ecologie.water.air.colours* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://www.ewac.cz/technologicka-zarizeni/odvodnovaci-kontejnery-eb.html>
- [63] PLASTICO: Odvodňovací kontejnery. *PLASTICO* [online]. Domažlice u Přerova [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.plastico-kontejnery.cz/cs/odvodnovaci-kontejnery>
- [64] MIVALT: Odvodňovací šroubové kalolisy, dehydrátor kalu. *MIVALT: obchodní činnost* [online]. Brno [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.mivalt.cz/cs/odvodnovaci-sroubove-kalolisy-dehydrator-kalu>

Konzultace

- [68] Ministerstvo životního prostředí, Vršovická 1442/65, Praha 10, 100 10, komunikace: 11. 12. 2017 a 5. 1. 2018
- [69] Ing. Jan Ševčík, HUBER CS spol. s r.o., Cihlářská 19, 602 00 Brno, komunikace: 20. 12. 2017, 22. 12. 2017 a 28. 12. 2017
- [70] Ing. Josef Klíma, První brněnská strojírna Velká Bíteš, a. s., Vlkovská 279, 595 01 Velká Bíteš, komunikace: 21. 12. 2017
- [71] Ing. Milan Mašín, Kaplan spol. s r.o., Náměstí 11 Plaňany, 281 04 Plaňany, komunikace: 20. 12. 2017
- [72] Ing. Michal Schindler, Metal-Management, spol. s r.o., Ráčkova 1736, 735 41 Petřvald, komunikace 20. 12. 2017

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1: Přehled produkce a zpracování kalů v ČR za rok 2016, zdroj: [2]	10
Tabulka 2.1: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů), [8].....	19
Tabulka 2.2: Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě, zdroj: [8]	19
Tabulka 3.1: Orientační hodnoty střední doby zdržení pro přerušovaně provozované zahušťovací nádrže podle ČSN 75 6401, zdroj: [16]	27
Tabulka 4.1: Přehled kritérií a metod stanovení stabilizovanosti kalů, zdroj: [16].....	36
Tabulka 4.2: Návrhové parametry ATAD, zdroj: [24].....	37
Tabulka 4.3: Technologické parametry nízkozatížené a vysokozatížené metanizace, zdroj: [23]	40
Tabulka 4.4: Porovnání metod hygienizace kalů, zdroj: [30].....	55
Tabulka 5.1: Výhody a nevýhody užití kalů na zemědělskou půdu, zdroj: [16].....	58
Tabulka 5.2: Příklad materiálového složení	67
Tabulka 5.3: Požadované koncentrace těžkých kovů v sušině.....	73
Tabulka 5.4: Srovnání procesů separace fosforu z odpadní vody a čistírenských kalů, zdroj: [39]	76
Tabulka 5.5: Parametry metodiky Energetické hodnocení ČOV včetně hodnot BAT, zdroj: [65]	78
Tabulka 6.1: Přehled typů ČOV pro čištění komunálních vod v obcích ČR, zdroj: [47]....	80
Tabulka 6.2: Produkce kalů a sušiny pro jednotlivé ČOV	82
Tabulka 6.3: Roční spotřeba elektrické energie porovnávaných ČOV	84
Tabulka 6.4: Způsob odvodnění kalů a energetická náročnost	85
Tabulka 6.5: Způsob stabilizace kalů a energetická náročnost	86
Tabulka 6.6: Spotřeba elektrické energie při odvodňování na 1 m ³	88
Tabulka 6.7: Spotřeba elektrické energie při stabilizaci na 1 m ³	88
Tabulka 6.8: Ceny odvodňovacích zařízení společnosti ASIO, spol. s r. o.: zdroj: [56]	91
Tabulka 6.9: Ceny odvodňovacích zařízení společnosti HUBER CS spol. s r. o., zdroj:[69]	92
Tabulka 6.10: Cenová nabídka pásových lisů firmy KAPLAN, zdroj: [71].....	93
Tabulka 6.11: Cenová nabídka pásových zahušťovačů firmy KAPLAN, zdroj: [71]	93
Tabulka 6.12: Cenová nabídka dávkování flokulantů firmy KAPLAN, zdroj: [71].....	93
Tabulka 6.13: Ceny sítopásových lisů společnosti.....	94
Tabulka 6.14: Provozní náklady na odvodnění kalu porovnávaných ČOV	96
Tabulka 6.15: Roční náklady na flokulanty porovnávaných ČOV	97
Tabulka 6.16: Provozní náklady za stabilizaci porovnávaných ČOV	98

Tabulka 6.17: Náklady za dopravu kalů porovnávaných ČOV	99
Tabulka 6.18: Náklady na zpracování kalů porovnávaných ČOV	100
Tabulka 6.19: Celkové roční provozní náklady vybraných porovnávaných ČOV.....	100
Tabulka 6.20: Vstupní hodnoty pro porovnávání způsobů	101
Tabulka 6.21: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 4, zdroj: [56].....	102
Tabulka 6.22: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 16, zdroj: [56].....	103
Tabulka 6.23: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 6, zdroj: [56].....	104
Tabulka 6.24: Provozní náklady a návratnost pro ČOV 8, zdroj: [56].....	105

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1: Přehled produkce a zpracování kalů v ČR za rok 2016, zdroj: [2]	11
Obrázek 1.2: Přehled vypouštěných a čištěných odpadních vod v ČR za rok 2016, zdroj: [2]	12
Obrázek 3.1: Schéma kalového hospodářství, zdroj: [14].....	23
Obrázek 3.2: Produkce kalu v ČR za období 2009–2016 dle údajů ČSÚ, zdroj: [2].....	24
Obrázek 3.3: Produkce kalu v ČR za období 2009–2016 dle údajů ISOH, zdroj: [44]	25
Obrázek 3.4: Schéma zařízení pro zahušťování kalu flotací, zdroj: [16]	28
Obrázek 3.5: Schéma pásového lisu, zdroj: [16]	29
Obrázek 3.6: Dehydratační jednotka, zdroj: [20]	30
Obrázek 3.7: Výklopný odvodňovací kontejner o objemu 600 litrů, zdroj: [62]	31
Obrázek 4.1: Schéma procesu ATAD, zdroj: [24]	38
Obrázek 4.2: Způsoby míchání a vytápění metanizačních nádrží, zdroj: [24]	43
Obrázek 4.3: Schéma termické kondicionace biomasy, zdroj: [14]	45
Obrázek 4.4: Schéma diskové sušárny, zdroj: [16]	48
Obrázek 4.5: Schéma lopatkové sušárny, zdroj: [28]	49
Obrázek 4.6: Schéma bubnové sušárny, zdroj: [16]	50
Obrázek 4.7: Schéma pásové sušárny, zdroj: [16].....	51
Obrázek 4.8: Fluidní sušárna, zdroj: [16]	52
Obrázek 4.9: Příklad solární sušárny, zdroj: [29].....	52
Obrázek 5.1: Množství kalů použitých pro přímou aplikaci na půdu a k rekultivaci v ČR za období 2012–2016, zdroj: [2]	56
Obrázek 5.2: Množství kalu určeného ke kompostování v ČR za období 2012–2016, zdroj: [2]	59
Obrázek 5.3: Obracení kompostu, zdroj: [34]	60
Obrázek 5.4: Množství ukládaného kalu na skládky v ČR za období 2012–2016, zdroj: [2]	61
Obrázek 5.5: Množství ukládaného kalu na skládky v ČR za rok 2016, zdroj: [2].....	61
Obrázek 5.6: Množství kalu určeného ke spalování v ČR za období 2012–2016, zdroj [2].....	62
Obrázek 5.7: Způsoby termického zpracování kalů, zdroj [37]	63
Obrázek 5.8: Schéma topenišť pro spalování kalů, zdroj [16]	65
Obrázek 5.9: Schéma spolu-spalování čistírenských kalů v elektrárnách, zdroj: [37].....	66
Obrázek 5.10: Schéma spolu-spalování kalů ve spalovnách TKO, zdroj: [37].....	66
Obrázek 5.11: Znázornění produktů pyrolýzy čistírenských kalů, zdroj [39].....	70
Obrázek 5.12: Pohled na pyrolýzní jednotku ve výzkumném centru AdMaS, zdroj [40] ..	70

Obrázek 5.13: Schéma pilotní jednotky pyrolýzy umístěné ve výzkumné centru AdMaS, zdroj: [41]	71
Obrázek 5.14: Příklad zplyňovacího zařízení, zdroj [42].....	74
Obrázek 5.15: Příklad energetického štítku ČOV, zdroj: [65]	79
Obrázek 6.1: Podíl obyvatel napojených na ČOV v kategorii do 2 000 EO, zdroj: [47]	80
Obrázek 6.2: Produkce kalů a sušiny na jednotlivých ČOV	82
Obrázek 6.3: Zastoupení konečného zpracování kalů porovnávaných ČOV	83
Obrázek 6.4: Celková spotřeba energie v MWh za rok porovnávaných ČOV.....	84
Obrázek 6.5: Poměr spotřeby elektrické energie u vybraných ČOV	87
Obrázek 6.6: Spirálový dehydrátor společnosti ASIO, spol. s r. o., zdroj [50].....	91
Obrázek 6.7: Dekantační odstředivka společnosti ASIO, spol. s r. o., zdroj [50].....	91
Obrázek 6.8: Zařízení pro odvodňování kalů HUBER Q-PRESS, zdroj: [51]	92
Obrázek 6.9: Sítopasový lis společnosti KAPLAN, spol. s r. o., zdroj: [71]	93
Obrázek 6.10: Sítopasový lis Compacteron společnosti Metal-Managemet, pol. s r. o. [53]	94
Obrázek 6.11: Dekanatační odstředivka společnosti PBS Velká Bíteš, zdroj [54].....	95
Obrázek 6.12: Provozní náklady za odvodnění porovnávaných ČOV	96
Obrázek 6.13: Celkové roční náklady na odvodnění kalů porovnávaných ČOV.....	97
Obrázek 6.14: Provozní náklady na stabilizaci kalů porovnávaných ČOV	98
Obrázek 6.15: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 4, zdroj: [56]	102
Obrázek 6.16: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 4, zdroj: [56].....	102
Obrázek 6.17: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 16, zdroj: [56]	103
Obrázek 6.18: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 16, zdroj: [56].....	103
Obrázek 6.19: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 6, zdroj: [56]	104
Obrázek 6.20: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 6, zdroj [56].....	104
Obrázek 6.21: Graf sčítání provozních nákladů pro ČOV 8, zdroj: [56]	105
Obrázek 6.22: Obrázek 6.20: Graf návratnosti odvodňovacích zařízení pro ČOV 8, zdroj: [56]	105
Obrázek 6.23: Graf provozních nákladů pro všechna odvodňovací zařízení.....	106
Obrázek 6.24: Graf návratnosti pro všechna odvodňovací zařízení.....	106
Obrázek 6.25: Působíště společnosti SmVaK a. s. [57]	107
Obrázek 6.26: Rozdělení nákladů při využití stacionárního odvodňovacího zařízení, zdroj: [57]	107
Obrázek 6.27: Rozdělení nákladů při využití mobilního odvodňovacího zařízení, zdroj: [57]	107
Obrázek 6.28: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 200 m ³ za rok, zdroj: [57]	108

Obrázek 6.29: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 400 m ³ za rok, zdroj: [57]	109
Obrázek 6.30: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 600 m ³ za rok, zdroj: [57]	109
Obrázek 6.31: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 800 m ³ za rok, zdroj: [57]	110
Obrázek 6.32: Porovnání způsobu odvodnění pro ČOV s produkcí kalu 1 000 m ³ za rok, zdroj: [57]	110

SEZNAM POUITÝCH ZKRATEK

AOX	Adsorpce na aktivní uhlí
ATAD	Autotrofní termofilní aerobní stabilizace
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
ČSÚ	Český statistický úřad
DO	Dekantační odstředivka
EO	Ekvivalentní obyvatel
EU	Evropská unie
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
ISOH	Informační systém odpadového hospodářství
Kč	Korun českých
MAP	Mokrý proces srážení fosforu z odpadní vody
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NL	Nerozpuštěné látky
OV	Odpadní voda
PAU	Polyaromatické uhlovodíky
PCB	Polychlorované bifenyly
SOVAK	Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR
TAP	Tuhé alternativní palivo
TKO	Tuhý komunální odpad
TNV	Odvětvová technická norma vodního hospodářství
TOC	Celkový organický uhlík
USA	United States of America (Spojené státy americké)
VÚME	Vybrané údaje majetkové evidence
VÚPE	Vybrané údaje provozní evidence

SEZAM VELIČIN

A	Přestupní plocha	[m ²]
B _x	Látkové zatížení kalu	[kg/kg.den]
C _p	Specifické teplo	[°C]
n	počet ČOV dle typu (stabilizace/odvodnění)	[ks]
N _C	Celková koncentrace dusíku	[mg/l]
P _C	Celková koncentrace fosforu	[mg/l]
Q _i	množství vody přitékající na ČOV	[tis. m ³ /rok]
Q _m	Hmotnostní tok	[kg/hod]
T ₁ , T ₂	Teplota	[°C]
U	Koeficient přestupu tepla	[W/m ² .K]
W _j	spotřeba elektrické energie na ČOV celkem	[MWh/rok]
W _{prům}	průměrná spotřeba el. energie na 1 m ³ čištěné OV	[kWh/, ³]
X	Koncentrace sušiny aktivovaného kalu	[kg/m ³]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Vzorový dotazník zaslaný provozovatelům čistíren odpadních vod kategorie do 2 000 EO

SUMMARY

The sludge treatment is a very important part of the entire wastewater treatment process. From an economic point of view, sludge forms up to 50% of the operating costs of the treatment plant. Sludge contain up to 80% of pollution from waste water, accounting making up 2 % of the total waste water volume entering the WWTP. The Czech Republic and the European Union tighten up the limits for the use of sewage sludge, at the same time, there is an effort to reduce the production of sewage sludge through legislation. Technologies that are currently used in WTTPs are result of economic possibilities and it is needed to seek financial resources to purchase modern technologies. The important point for the proper functioning of the wastewater treatment plant is also the composition of the energy balance.

There is a very wide range of technologies available on the market to reduce the production of sewage sludge and to achieve high quality sludge. Again, it is a matter of costs that will determine how will, these technologies spread. Possible expansion will help ban sludge deposition or reduce sludge application to farmland. In this case, the amount of sludge that will need to be used in another way will increase.

In this diploma thesis I focused in the first part on the current situation of this issue in the Czech Republic and compiled a basic overview of technologies and technical procedures that can be used in sludge treatment. In addition to the technologies themselves, I also mentioned the legislation that deals with this problem, the possibilities of stabilizing and sanitizing sewage sludge, or the procedures for recovering phosphorus from sludge.

Second part is devoted to the WWTP in the category from 500 EO to 2 000 EO. For these sewage treatment plants, I have carried out an assessment of electricity consumption, operating and investment costs. I obtained the documentation for this part using the questionnaires I sent to WWTP operators. The comparison was made at 15 wastewater treatment plants.

Overall, the sludge treatment is a very extensive topic in which is essential research, expansion of existing and new knowledge, and especially the development of new processes and technologies. Studies have shown that the sludge treatment has a future in larger sewage treatment plants, but also in small and small WWTPs. We will see what will come next years.

PŘÍLOHOVÁ ČÁST