

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování**



**Bakalářská práce**

**Problematika kalů z čistíren odpadních vod a jejich  
následného zpracování**

**Adam Kuneš**

© 2021 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Adam Kuneš

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Problematika kalů z čistíren odpadních vod a jejich následného zpracování

Název anglicky

Problems of sludge from wastewater treatment plants and their subsequent processing

---

**Cíle práce**

Cílem bakalářské práce je shrnutí problematiky kalových koncovek na čistírnách odpadních vod se zaměřením na zpracování odvodněných kalů, jejich následnou stabilizaci a hygienizaci nízkoteplotním sušením.

**Metodika**

V literární rešerši je řešena problematika nakládání s čistírenskými kaly, a to jak z pohledu platné legislativy, tak z pohledu jednotlivých technologií pro jejich zpracování. Dále jsou zde shrnuty dosavadní poznatky o čistírenských kálech a příklad jejich zpracování na konkrétní čistírně odpadních vod (ČOV Karlovy Vary).

V praktické části je řešeno sušení čistírenských kalů, konkrétní aplikace nízkoteplotní sušárny pro sušení kalů na ČOV Karlovy Vary se zaměřením na provozní zkušenosti.

V závěru práce jsou shrnuty možnosti zpracování, využití a vlastnosti takto vysušeného čistírenského kalu

**Doporučený rozsah práce**

30 až 50 stran

**Klíčová slova**

Čistírna odpadních vod, odvodněný kal, hygienizovaný kal, proces sušení čistírenských kalů

**Doporučené zdroje informací**

- GOPINATH, Ashitha, G. DIVYAPRIYA, Vartika SRIVASTAVA, A.R. LAJU, P.V. NIDHEESH a M. Suresh KUMAR. Conversion of sewage sludge into biochar: A potential resource in water and wastewater treatment. Environmental Research [online]. 2021, 194 [cit. 2021-02-01]. ISSN 00139351. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2020.110656
- 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
- HALL, J. E. Sewage Sludge Production, Treatment and Disposal in the European Union. Water and Environment Journal. 1995, 9(4), 335-343 [cit. 2020-05-15]. DOI: 10.1111/j.1747-6593.1995.tb00950.x. ISSN 1747-6585
- HARTIG, Karel. Problematika kalového hospodářství. Vodnihospodarstvi.cz [online]. 2017 [cit. 2020]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi/>
- KUTIL, Josef a Michal DOHÁNYOS. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. Biom.cz [online]. 2005 [cit. 1. 4. 2020]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborneclanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>
- Metcalf & Eddy. Wastewater engineering: treatment and reuse (4th International Edition). McGraw-Hill, New York. 2003. ISBN 0-07-041690-7
- SHI, Cao Ye. Mass flow and energy efficiency of municipal sewage treatment plant. London: Intl Water Assn, 2011, ISBN 978-184-3393-825

**Předběžný termín obhajoby**

2020/21 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Martin Heřmanovský, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2021

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Problematika kalů z čistíren odpadních vod a jejich následného zpracování" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor vedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 29.3.2021

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Martinu Heřmanovskému, Ph.D. za systematické vedení při zpracování práce. Dále děkuji pracovníkům z firmy Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a.s. za poskytnutí potřebných informací.

# Problematika kalů z čistíren odpadních vod a jejich následného zpracování

## Abstrakt

Nakládání s čistírenským kalem jako s biologicky rozložitelným odpadem je s ohledem na obsah cenných složek, ale i obsah polutantů řešeno evropskou i českou legislativou. Tato řešení respektují principy oběhového hospodářství a pomáhají připravit čistírenský kal pro jeho případnou materiálovou transformaci z odpadu do podoby dále využitelného produktu. Pro většinu středně velkých a velkých čistíren odpadních vod se stává i z hlediska bezpečnosti provozu řešením aplikace pásových sušáren kalu, které může poskytnout dílčí řešení v podobě redukce hmotnosti i objemu produkovaného kalu a zlepšení jeho vlastností pro další zpracování.

Hlavním cílem teoretické části této bakalářské práce je shrnutí problematiky kalových koncovek na čistírnách odpadních vod se zaměřením na legislativní předpisy, přehled způsobů s jejich zpracováním a nakládáním. Dále jsou zde shrnuty poznatky o sušení čistírenských kalů a popsány jednotlivé druhy sušáren. Cílem praktické části práce je popis technologie konkrétní čistírny odpadních vod (Karlovy Vary), včetně kalové koncovky, která je zakončena aplikací technologie nízkoteplotního sušení kalů. Výsledkem práce jsou vyhodnocení provozu této technologie na základě provozních zkušeností a návrhy na možnou optimalizaci některých procesů.

**Klíčová slova:** čistírna odpadních vod, odvodněný kal, hygienizovaný kal, proces sušení čistírenských kalů

# **Problems of sewage sludge and their treatment**

## **Abstract**

The treatment of sewage sludge as biodegradable waste is addressed by European and Czech legislation concerning the content of valuable components and pollutants. These solutions respect the circular economy principles and help prepare sewage sludge for its eventual material transformation from waste into a reusable product. For most medium and large wastewater treatment plants, the solution is, also in terms of operational safety, the application of belt sludge dryers, which can provide a partial solution to reduce the weight and volume of sludge produced, improving its properties for its further processing safe operation.

The main goal of the theoretical part of this bachelor's thesis is to summarize the issue of sludge terminals in wastewater treatment plants with a focus on legislation, an overview of methods with their processing and disposal. Furthermore, the knowledge about the drying of sewage sludge is summarized and the individual types of dryers are described. The aim of the practical part of the work is to describe the technology of a specific wastewater treatment plant (Karlovy Vary), including the sludge terminal, which is completed by the application of low-temperature sludge drying technology. The result of the work are evaluations of the operation of this technology based on operational experience and suggestions for possible optimization of some processes.

**Keywords:** wastewater treatment plant, dewatered sludge, sanitized sludge, sewage sludge drying process

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>2</b>
<b>3 Teoretický rozbor problematiky</b> .....	<b>3</b>
3.1 Nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod.....	3
3.1.1 Přehled související legislativy .....	3
3.1.2 Vlastnosti ovlivňující výběr technologie a způsobu nakládání .....	6
3.1.3 Přehled způsobů a technologií nakládání s čistírenskými kaly.....	7
3.1.3.1 Skládkování, jinak .....	8
3.1.3.2 Přímá aplikace (rekultivace).....	8
3.1.3.3 Kompostování.....	9
3.1.3.4 Spalování a spoluspalování .....	9
3.2 Úprava čistírenských kalů sušením.....	10
3.2.1 Kondukční sušárny .....	12
3.2.2 Konvekční sušárny.....	12
3.2.3 Rotační bubnová sušárna .....	12
3.2.4 Fluidní sušárna .....	12
3.2.5 Solární sušárny.....	13
3.2.6 Pásové sušárny .....	13
<b>4 Praktická část</b> .....	<b>15</b>
4.1 ČOV Karlovy Vary .....	15
4.1.1 Základní údaje a popis technologie .....	15
4.1.1.1 Základní parametry a schéma ČOV .....	15
4.1.1.2 Popis technologie ČOV .....	16
4.1.2 Kalová koncovka .....	17
4.1.2.1 Flotační zařízení .....	17
4.1.2.2 Zahušťovací odstředivka .....	18
4.1.2.3 Vyhnívací nádrže.....	18
4.1.2.4 Kotelna a kogenerační jednotka .....	19
4.1.2.5 Odvodnění kalu .....	19
4.1.2.6 Sušárna kalu.....	20
4.1.3 Dovážené kaly z ostatních ČOV.....	20
4.2 Popis technologie nízkoteplotní sušárny.....	21
4.2.1 Strojní část .....	21
4.2.2 Periferie.....	26
4.3 Provozní zkušenosti z období let 2016-2020 .....	27
4.3.1 Zásobník odvodněného kalu .....	27
4.3.2 Podávací čerpadlo Seepex .....	27
4.3.3 Extrudér .....	28



4.3.4	Dopravník vysušeného kalu.....	28
4.3.5	Automatický řídicí systém.....	30
4.3.6	Provozní/chladící voda.....	30
4.4	Možnosti využití vysušeného kalu.....	31
4.5	Vyhodnocení provozu.....	32
<b>5</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy.....</b>	<b>41</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>41</b>

## **Seznam obrázků**

## **Seznam tabulek**

## **Seznam použitých zkratk**

# 1 Úvod

Problematika nakládání s čistírenským kalem, jako s biologicky rozložitelným odpadem, který je nejen zdrojem organických látek a nutrientů (např. dusíku, fosforu stopových prvků), ale obsahuje mnoho různých mikropolutantů (těžké kovy, xenobiotika, mikroplasty, rezidua léčiv atd.), je stále velmi diskutovaným tématem v Evropské unii i v České republice.

Důvodů ke změně všeobecnému přístupu k čistírenským kalům v České republice bylo a je několik. Jedním z nich je blížící se termín úplného zákazu ukládání využitelného odpadu na skládky. Tento termín byl posunut z roku 2020 na rok 2024, a to i vzhledem ke skutečnosti, že většina provozovatelů čistíren odpadních vod neměla vyřešené potřebné změny v technologii pro zpracování kalů. K dalším zásadním změnám v legislativě došlo v roce 2017, kdy byla významně zpřísněna kritéria pro použití upravených kalů na zemědělskou půdu. Přičemž většina dostupných technologií pro zabezpečení hygienizace kalu neřeší otázku odstraňování mikropolutantů. Současná situace je dále ovlivněna tím, že fosfor byl v roce 2017 zařazen na seznam kritických surovin pro EU z důvodu obavy o jeho dostupnost, resp. cenu způsobenou cenovými spekulacemi.

Jedním ze způsobů zabezpečení hygienizace a materiálové přeměny čistírenského kalu na surovinu, kterou lze využít jak pro aplikaci v zemědělství, tak pro energetické účely, je proces sušení. V souvislosti s jakýmkoliv způsobem dalšího nakládání přináší redukce obsahu vody prostřednictvím sušení nemalou úsporu. Z pohledu energetického využití je tento krok úpravy nevyhnutelný a volba výsledné sušiny kalu je klíčová z toho důvodu, aby následné procesy nebyly energeticky ztrátové.

Společnost Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a.s. (dále jen Vodakva), která provozuje čistírnu odpadních vod v Karlových Varech a dalších 89 čistíren, zvolila na základě technicko-ekonomické studie zpracování kalů pomocí nízkoteplotního sušení. Provoz této technologie byl zahájen v roce 2016. Hlavním způsobem likvidace odvodněných kalů v tomto regionu dosud bylo vzhledem k obsahu některých kovů využití na rekultivaci skládek (jako technická vrstva) a v kompostárnách.

## **2 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je shrnutí problematiky kalových koncovek na čistírnách odpadních vod se zaměřením na zpracování odvodněných kalů, jejich následnou stabilizaci a hygienizaci nízkoteplotním sušením.

Teoretická část je zaměřena na přehled legislativních předpisů, přehled způsobů s jejich zpracováním a nakládáním. Dále jsou zde shrnuty dosavadní poznatky o sušení čistírenských kalů včetně popisu jednotlivých druhů sušáren.

Cílem praktické části práce je popis konkrétní čistírny odpadních vod (Karlovy Vary), včetně kalové koncovky, která je zakončena aplikací technologie nízkoteplotního sušení kalů. Výsledkem práce je vyhodnocení provozu této technologie na základě poznatků získaných během jejího provozování společností Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a.s.

## 3 Teoretický rozbor problematiky

### 3.1 Nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod

Čištění komunálních i průmyslových odpadních vod je doprovázeno produkcí různých druhů odpadů, se kterými musí každý provozovatel čistírny odpadních vod nakládat, a to podle platné legislativy. Základní princip biologického čištění odpadních vod, který se během tohoto procesu využívá, je prakticky shodný s procesem samočištění, které probíhá v přírodě v povrchových vodách. Hlavní rozdíl je především v rychlosti odstraňování znečištění, které je závislé na koncentraci mikroorganismů neboli aktivovaného kalu. Tato koncentrace je v případě biologického čištění odpadních vod na čistírnách odpadních vod daleko vyšší. Procesem biologického čištění odpadních vod vzniká tzv. přebytečný biologický kal, který lze definovat jako směs přiváděných inertních nerozpuštěných látek přiváděných v odpadní vodě do biologického stupně a vyprodukované biomasy [1]. Samotný proces čištění odpadních vod lze rozdělit na několik na sebe navazujících procesů, během nichž vznikají tyto druhy odpadů: shrabky, písek, kaly, tuky, atd. Kaly představují přibližně 1-2 % objemu čištěných vod a je v nich transformováno 50-80 % původního znečištění, přičemž náklady na zpracování kalů, které je po všech stránkách akceptovatelné, neustále rostou a tvoří cca 50 % provozních nákladů na čištění odpadních vod [2].

Všeobecně je cílem úpravy čistírenských kalů zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. Odpadová politika (česká i evropská) směřuje obecně k omezení ukládání všech odpadů, tedy i biologicky rozložitelných odpadů, včetně čistírenských kalů a podporuje zabránění vzniku odpadů, jejich minimalizaci a energetické a materiálové využití [2].

#### 3.1.1 Přehled související legislativy

V České republice se nakládání s čistírenskými kaly řídí následujícími právními předpisy:

- **Zákon č. 185/2001 Sb.**, o odpadech – zabývá se mimo jiné také zpracováním kalů čistírenských procesů, čistírenské kaly jsou zde definovány jako biologicky rozložitelný odpad (BRO) [3].

- **Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech** – novelizovaný zákon, platnost od 1. 1. 2021, změny se týkají mimo jiné evidence a označování odpadů, vč. čistírenských kalů (upravených) [4].
- **Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd** – stanovuje použití upravených kalů na zemědělskou či lesní půdu [5].
- **Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů.**
- **Vyhláška č. 477/2016 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv.**
- **Vyhláška č. 237/2017 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb.**
- **Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů** – tento právní předpis zpracovává údaje dle směrnic Evropské unie.
- **Vyhláška č. 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)** – tato vyhláška vymezuje použití kalů na zemědělských půdách od programu použití kalů až po metody odběrů vzorků, součástí jsou i mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků pro jejich použití [6].
- **Nářízení 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.**

Problematikou čistírenských kalů se také zabývá odvětvová technická norma – **TNV 75 8090** „Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod“ – tento dokument obsahuje zásady

pro navrhování a provozování hygienizace kalů z čistíren odpadních vod ve vztahu k různým způsobům jejich využití [7].

Česká legislativa byla upravena v souladu s Evropskou unií. Hlavním předpisem, který se týká problematiky odpadních vod je:

- **Směrnice Rady 91/271/EHS** o čištění městských odpadních vod, ze dne 21. května 1991, v důsledku jejího zavedení došlo k výraznému zvýšení produkce kalů ve všech členských státech EU z důvodu nastavených kvalitativních limitů vypouštěných vod, ale také nárůstem počtu připojených obyvatel na kanalizační sítě [8]. Kalovou problematiku řeší článek 14, který nařizuje, že kdykoli je to vhodné, měl by být kal vznikající při čištění odpadních vod znovu použit, tzn., že by měl být recyklován [9]. Využívání kalů v zemědělství všude tam, kde jsou k tomu vhodné podmínky, zvláště z hlediska kvality kalu, je zde z tohoto důvodu jasnou prioritou [9].

Směrnicemi, které upravují využívání kalů z čistíren městských odpadních vod v členských státech evropské unie, jsou:

- **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 – stanovuje použití čistírenských kalů tak, aby nedošlo k působení škodlivých účinků na půdu, rostliny, zvířata a člověka [9]. Evropská komise zahájila v srpnu 2020 veřejnou konzultaci v rámci „roadmap“ pro přehodnocení směrnice. Tato první konzultace umožňuje vstup týkající se cílů tohoto přehodnocení, na ní bude navazovat druhá rozsáhlá konzultace o využívání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství [10]. Plán navržený Komisí zdůrazňuje, že cílem směrnice je podpořit využívání čistírenských kalů v zemědělství za bezpečných podmínek, přičemž hlavním cílem je dosažení souladu s akčním plánem oběhového hospodářství EU, Green Deal, strategií biohospodářství a strategií „Farm-to-Fork“, kdy hlavním cílem je opětovné získávání živin (citován fosfor). Je třeba vzít v úvahu kontaminanty vzbuzující obavy (např. organické chemikálie, jako jsou léčiva a jejich zbytky, PAH a PFAS, prostředky personální péče a mikroplasty) [11].
- **Směrnice 91/676/EHS** ze dne 12. prosince 1991 o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů – je implementována do zákona o vodách,

nařízení vlády č. 262/2012 a zákona o hnojivech. Tato směrnice nařizuje nevyužívat kaly jako hnojiva v nevhodném období, na velmi strmých pozemcích, na zmrzlé, podmáčené nebo sněhem pokryté půdě [12].

- **Směrnice Rady 1999/31/ES** ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů – podporuje zpětné využití odpadů a omezuje ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky, které není považováno za udržitelný přístup [13].
- **Směrnice EP a Rady 2000/60/ES** ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky a kterou se výrazně omezuje množství dusíku a fosforu ve vypouštěných odpadních vodách, čímž došlo ke zvýšení těchto složek, zejména fosforu, v čistírenských kalech [14].

### **3.1.2 Vlastnosti ovlivňující výběr technologie a způsobu nakládání**

Zpracování a likvidace čistírenského kalu, jako jednoho z konečných produktů procesu čištění odpadních vod, se pro provozovatele stává jedním z nejdůležitějších a nejkritičtějších problémů čištění odpadních vod [15]. Změny v oblasti kalového hospodářství dosud byli a stále jsou zaměřeny především na snižování množství konečného produktu (odvodněním) a na získávání stabilizovaného a hygienicky zabezpečeného materiálu. Tyto postupy jsou založeny na maximálním využití energetického potenciálu organických látek zachycených v kalech za současné minimalizace zpětného ovlivňování biologického stupně produkty kalového hospodářství a možného využití i anorganické složky kalu [16].

Kaly jsou složeny ze suspenze pevných látek a koloidních látek, které se vyskytovaly v původní odpadní vodě a také vznikly během čistících procesů. Obecným cílem kalových koncovek na čistírnách odpadních vod je zredukovat obsah organických látek v kalu, což ve výsledku vede ke zmenšení objemu kalu díky jeho snadnějšímu odvodnění a k hygienizaci [2]. Zabránění a regulace tvorby kalů už během biologického stupně čištění je možno dosáhnout mnoha postupy, které nejsou pro jejich obsáhlost součástí této bakalářské práce.

Jak už bylo zmíněno, zpracování kalů je značně ekonomicky náročně, a proto se nevyplatí provozovat kalovou koncovku na každé čistírně. Z některých čistíren je odvážen

kal na ČOV s kalovou koncovkou v tekutém stavu, jiné čistírny kaly odvodňují a následně je odvodněný kal odvezen ke zpracování na jinou větší ČOV. Snižováním množství vody v kalu se redukuje nejen jeho objem, ale umožňuje jeho další zpracování. Tím je např. anaerobní vyhnívání a následné odvodnění. Maximální vytěsnění vody z kalu má zásadní ekonomický význam vedoucí ke snížení nákladů na manipulaci, transport a likvidaci [17].

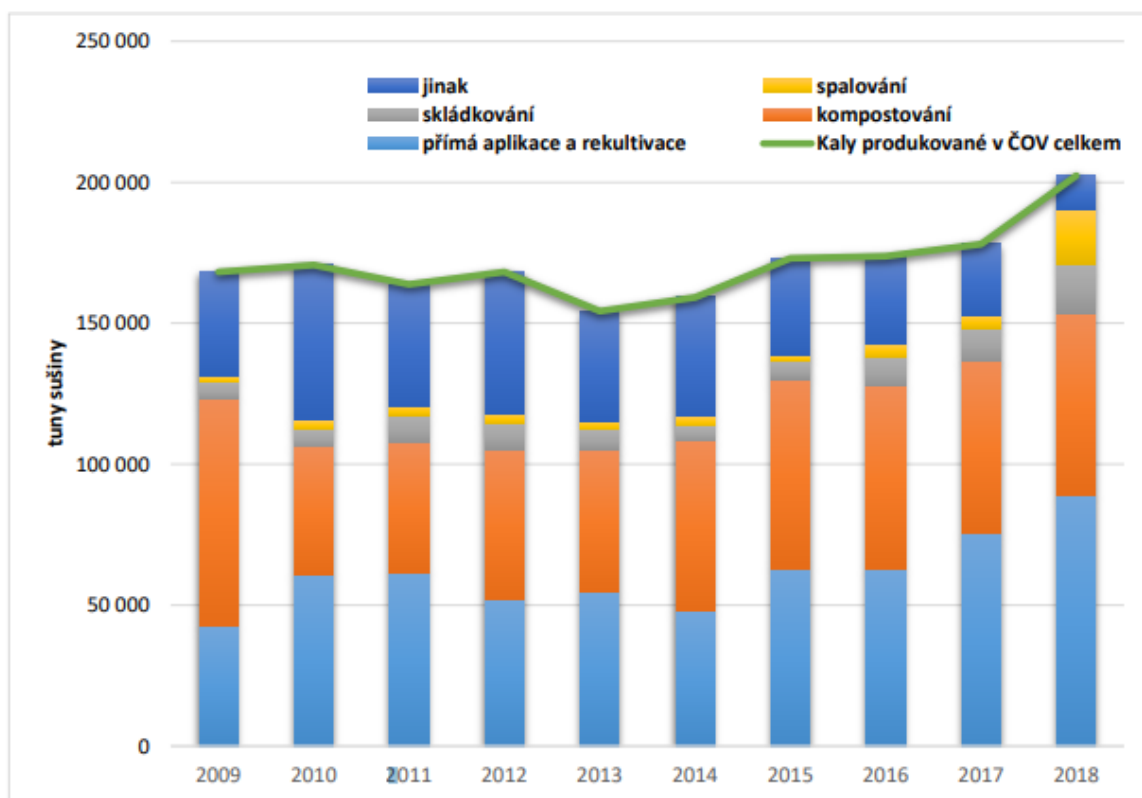
Volba technologie pro zpracování kalů je do značné míry také ovlivněna obsahem různých kontaminantů (zbytků léčiv, těžkých kovů, biocidů, genů antibiotické rezistence, zbytků prostředků používaných v domácnostech) a jejich následným způsobem nakládání [18].

Čistírenské kaly obsahují organické látky, nutrienty a také stopové prvky, které přispívají ke kvalitnější půdě a zvyšují její úrodnost. Organická hmota je schopna vázat částice půdy společně v agregáty, mezi kterými se vytvářejí póry, jimiž pak mnohem lépe proniká vzduch ke kořenům [19]. Naopak přebytečná volná voda přes ně může odtéct. Pokud je organické hmoty v půdě nedostatek, půdní vrstvy se stávají nestabilními a dochází k erozi, půda houstne, vzduch se eliminuje a kořeny nemají dobré podmínky pro růst a čerpání živin. Mezi tyto látky patří mimo jiné sacharidy, tuky, bílkoviny, a tzv. huminové látky, což jsou přírodní organické látky, které vznikají při rozkládání rostlinných zbytků [19]. Patří mezi ně také sloučeniny dusíku a fosforu [20]. Je obecně známo, že jejich nadbytek je podobně nevhodný, jako jejich nedostatek, a proto jsou omezovány na přijatelné množství, ve kterém jsou pro půdu prospěšné. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že je možno čistírenské kaly označit za organická hnojiva, která vhodně nahrazují ta anorganická [19]. Na druhou stranu však může současně obsahovat i různé další prvky a sloučeniny, které ale mohou být toxické při vstupu do lidského potravinového řetězce [17].

### **3.1.3 Přehled způsobů a technologií nakládání s čistírenskými kaly**

Na základě platných právních předpisů je možné rozdělit kaly do 5 základních kategorií nakládání s čistírenskými kaly, jejich podíl je znázorněn na obr.č.1 [21]. Z obr. č. 1 je zřejmé, že přestože v jednotlivých letech dochází k variaci celkové produkce, rozložení mezi jednotlivými způsoby nakládání je v průběhu posledních let až na výjimky neměnné. Je zde také patrný meziroční nárůst spalování čistírenských kalů, ke kterému došlo v roce 2018.





Obr. č.1 - Produkce (tuny sušiny) a způsob nakládání s čistírenskými kaly v ČR v letech 2009-2018 [21].

### 3.1.3.1 Skládování, jinak

Skládování veškerého recyklovatelného odpadu by se mělo zcela eliminovat do roku 2025, do roku 2030 by pak jednotlivé členské státy evropské unie měly skládování zcela opustit [21]. Nový zákon o odpadech, který byl přijat, představuje jednoznačně odklon od skládování směrem k recyklaci. Pro provozovatele čistíren odpadních vod znamená omezení nakládání s čistírenskými kaly, tedy na rekultivaci či skládku [21].

### 3.1.3.2 Přímá aplikace (rekultivace)

Vyhláškou č. 437/2016 Sb., o použití kalů na zemědělské půdě byly zpřísněny podmínky úpravy kalů před jejich použitím jak v zemědělství, tak i ve skladování a aplikace upravených kalů. Jedná se stanovení požadavků na provozovatele zařízení pro úpravu kalů, resp. úpravu kalu přímo u provozovatele nebo mimo ni například anaerobním vyhníváním, hygienizací vápnem nebo sušením tak, aby docházelo ke snížení počtu patogenních

mikroorganismů [21]. Provozovatel zařízení na úpravu kalů je povinen ověřovat technologii na základě odebrání vzorků na vstupu a výstupu technologie následného porovnání kontaminace, která nesmí překročit stanovený počet KTJ [6]. Všechna tato opatření představují, zejména pro provozovatele menších ČOV, jednoznačně změnu stávajícího způsobu ukládání čistírenských kalů na zemědělskou půdu [21].

### *3.1.3.3 Kompostování*

Vydáním vyhlášky č. 237/2017 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva došlo ke zpřísnění mikrobiologických požadavků na organická hnojiva a substráty, při jejichž výrobě byly použity čistírenské kaly ve shodě s vyhláškou č. 437/2016 Sb., o využití čistírenských kalů na zemědělské půdě [21]. Na rozdíl od přímé aplikace bez přechodného období. To přináší nová opatření, kdy řada provozovatelů ČOV nemůže spolupracovat s lokálními kompostárnami. I přes splnění nových hygienických požadavků na kvalitu čistírenských kalů je tato možnost založena především na ochotě provozovatelů kompostáren čistírenský kal vůbec přijímat [21].

### *3.1.3.4 Spalování a spoluspalování*

Spalování je termický proces, ve kterém dochází kromě výroby tepla a elektrické energie také ke snížení výsledné hmotnosti kalu v podobě popele. Může spočívat ve spoluspalování jako příměs ostatních odpadů či jako preferovanější monospalování. Popel obsahuje různé nutrienty, jedná se např. o alternativu zdroje fosforu, i když běžně těžžený fosfor má dvojnásobnou koncentraci [21].

Výstavba takového zařízení je podmíněna získáním kladného stanoviska EIA [17]. Na zařízení na spalování odpadu je také potřeba zajistit kontinuální měření emisí, což znamená extrémně vysoké provozní a investiční náklady [17]. V případě realizace spaloven přímo na čistírnách odpadních vod lze využít produkované teplo k sušení kalů a částečně tak snížit provozní náklady. Za velký problém je považován i nejednotný přístup krajských úřadů k této problematice [17].

Zvláštním případem spalování je pyrolýza, kdy při tomto procesu také dochází k termochemickému rozkladu organických látek v anaerobních podmínkách. Výsledným produktem je biouhel (neboli biochar), jehož využití je problematické, protože nesplňuje

požadavky na hnojiva [21]. Uplatnění biocharu je velmi široké, lze ho použít např. jako adsorbent pro odstraňování kontaminantů přítomných v odpadních vodách [22]. I v tomto případě je problematické získat kladné posouzení EIA [21].

Rostoucí zaměření na hygienickou nezávadnost kalu, ochranu půdy a nejnověji na regeneraci fosforu v kombinaci s právními změnami, které s tím souvisejí, vede ke zvýšenému významu procesů tepelného zpracování, např. v Německu je dnes většina kalů spalována [23]. Přibližně polovina produkce je v Německu spalována ve fluidních sušárnách, a druhá polovina při spoluspalování, zejména v uhelných elektrárnách, cementárnách nebo v menší míře ve spalovnách odpadu [23]. Některé alternativní tepelné procesy, zejména pyrolýza a zplyňování jsou testovány v laboratorním nebo pilotním měřítku [23]. Nedávné změny německého nařízení o kalcích z čistíren odpadních vod v budoucnu omezí způsob spoluspalování [23]. V důsledku toho se očekává výrazné zvýšení kapacity monospalování [23]. Tyto procesy by měly umožňovat kombinaci ekologické likvidace a využití fosforu [23].

### **3.2 Úprava čistírenských kalů sušením**

Sušení čistírenského kalu se jeví z pohledu energetického využití nebo požadavku jiných technologií jako nevyhnutelný krok jejich předúpravy. Kombinace sušení kalů s procesy spalování, zplyňování nebo pyrolýzy je vhodná u velkých a středně velkých čistíren odpadních vod [24]. Proces sušení je sám o sobě značně energeticky náročný.

Sušení je proces, při kterém dochází k vypařování vody či jiné těkavé kapaliny z materiálu a přestup vypařené páry se nazývá sušení [24]. Sušícím médiem je obvykle vzduch o určité teplotě a relativní vlhkosti nebo to mohou být přímo spaliny. Z fyzikálního hlediska je sušení difúzní proces, jelikož vlhkost obsažená uvnitř materiálu difunduje na jeho povrch ve formě kapaliny nebo páry a dále přechází do sušícího média [24]. Důležitý je i přenos tepla uvnitř sušené látky. Rychlost procesu sušení je pak dána nejpomalejším procesem a závisí na mnoha dalších faktorech [24].

Předpokladem pro ekonomickou akceptovatelnost sušení kalů je co nejúčinnější mechanické odvodnění tekutých čistírenských kalů. Tento faktor zásadně ovlivňuje energetickou náročnost celého procesu a hraje důležitou roli pro začlenění sušárny do kalového hospodářství [25].

Vysušený kal obvykle obsahuje 85 – 95 % sušiny, konzistence je prachovitá až po jemný granulát bez prachových podílů. Některé sušárny mohou být vybaveny peletovacím zařízením, tedy výsledný produkt je ve formě pelet/granulí. Skladování a manipulace vysušeného kalu sebou nese některá rizika, může dojít k zahoření nebo k výbuchu prachu, proto by měly být skladovací prostory vybaveny odsávacím zařízením a výměnou vzduchu, případně se provádí inertizace (dusíkem) [26]. Pro minimalizaci vzniku doutnání se usušené granule okamžitě chladí na teplotu pod 40 °C [26].

V průběhu sušení se z kalu uvolňují do sušícího média – vzduchu všechny těkavé látky, např. amoniak, nižší mastné kyseliny a ostatní těkavé látky [26]. V případě zahnívajícího kalu to může být i sulfan, merkaptany a mnohé další látky [26]. Větší část těchto látek je zachycena v kondenzátu, který vzniká při ochlazení vzduchu v kondenzátoru, a obsahuje rovněž prachové podíly vznikající jako úlet prachových částic ze sušeného kalu [26]. Ochlazený a přebytečné vlhkosti zbavený vzduch se buď vrací zpět do procesu, nebo vypouští mimo sušárnu do biofiltrů. Při použití kondenzace se u pásové sušárny dosahuje až 90% recyklace vzduchu, u fluidní sušárny se procento recirkulace přibližuje 100 % [26]. Malé množství vypouštěného vzduchu slouží především k udržení podtlakového režimu v sušárně. Kondenzát může být naředěn různým množstvím chladicí vody [26].

Existuje mnoho typů sušáren, v současnosti jsou nejčastěji používané fluidní a pásové sušárny. Alternativou pro strojní sušení kalů jsou solární sušárny kalů. Při výběru vhodného typu sušárny se posuzují technické a ekonomické parametry daného typu sušárny. Z ekonomického hlediska a snížení provozních nákladů je vhodné použít systém s co nejvyšším procentem rekuperace tepla [26]. Pro pásové sušárny se používá topné médium o rozsahu teplot cca 70–145 °C [26]. Obvyklým zdrojem tepla je teplo vyprodukované kogeneračními jednotkami, teplo získané spalováním bioplynu či zemního plynu, teplovod nebo zbytkové teplo z teplárny nebo elektrárny [26]. Z hlediska komplexnosti řešení se doporučuje kvantifikovat ovlivnění biologického stupně ČOV znečištěním obsaženým v kondenzátu [26].

Předpokladem pro zpracování kalů sušením je požadavek, aby odvodněný kal byl bez cizích částic, jako např. kamenů nebo kovových předmětů, větších než 10 mm. Tyto cizí částice mají za následek poruchy při čerpání kalu a celkově snižují provozní pohotovost sušícího zařízení [26].

### **3.2.1 Kondukční sušárny**

Tento typ sušárny je založen na principu převodu tepla na kal z vyhřívaného povrchu zařízení, jsou mezi ně řazeny např. diskové sušárny, lopatkové sušárny, tenkovrstvé sušárny [26].

### **3.2.2 Konvekční sušárny**

Nejrozšířenější v praxi je konvekční sušení, které je založené v proudění sušícího plynu (horký vzduch) po povrchu sušeného materiálu. Sušící plyn zahřívá vlhký materiál a z jeho povrchu odnáší odpařující se vodu. Pro dobrou účinnost tohoto sušení je třeba zajistit, aby sušený materiál měl co největší povrch, který je obtékán sušícím plynem [26].

### **3.2.3 Rotační bubnová sušárna**

Rotační bubnová sušárna je kontinuálně pracující zařízení, jehož hlavní část – otáčející se válec je umístěn v mírném sklonu směrem k výhozu [26]. Sušený materiál postupuje bubnem a přesypává se, a přitom přichází do kontaktu se sušícím vzduchem, a na konci bubnu vypadává do výsypky. Sušící plyn proudí protiproudě a je tvořen spaliny vzniklými ve spalovací komoře před vstupem do sušárny [26]. Vystupující vlhké spaliny jsou následně zbaveny stržených jemných částic, například v cyklónu nebo rukávovém filtru [26].

### **3.2.4 Fluidní sušárna**

Sušárny s fluidním ložem jsou nepřímo vyhřívané sušárny a používají se pro úplné vysoušení kalů. Jsou to jediná zařízení, která nemají otočné části uvnitř sušárny [26]. Ventilátory na cirkulaci vzduchu jsou umístěny mimo vlastní těleso sušárny [26]. Princip sušáren s fluidním ložem je založen na přivádění turbulentně proudícího vzduchu/plynu, dokud se nevytvoří fluidní lože [26]. Granule kalu jsou drženy ve vznosu, čímž jsou intenzivně promíchávány [26]. Plyny poháněné silným ventilátorem procházejí vrstvou kalu, která expanduje do fluidní vrstvy kalu [26]. Průtok plynu zajišťuje odvod odpařené vody. Energie potřebná k odpaření vody se dodává topnými trubkami umístěnými uvnitř

fluidního lože kalu. Pracovní teplota topného média bývá větší, než je obvyklé u pásové sušárny. Médium na přenos tepla bývá termoolej [26].

### **3.2.5 Solární sušárny**

Solární sušárny využívají k sušení kalu sluneční energii, což je obnovitelný zdroj energie a byly vyvinuty z kalových polí. Odvodněný kal je dopraven do skleníku a je rozprostřen po jeho dně. Rychlost sušení závisí na intenzitě slunečního záření, kolísání sušící kapacity je minimalizováno pomocí řízené ventilace a systému promíchávání kalu na dně skleníku. Intenzita ventilace je řízena na základě kontinuálního měření teploty a vlhkosti vzduchu venku a uvnitř skleníku [26]. V zimních měsících může být provoz solární sušárny intenzifikován pomocí podlahového topení. Provoz solární sušárny je ekonomický, ale výkon sušárny je přímo úměrný úhrnu slunečního záření a energeticky není soběstačná. Proto plocha solární sušárny nesmí být zastíněna. Vzhledem k požadované ploše sušárny je nezbytné při plánovaném použití solární sušárny počítat s mnohonásobně větší plochou na sušárnu v porovnání s ostatními metodami sušení kalů [26]. Další nevýhodou je stoprocentní závislost na klimatických podmínkách a relativně dlouhá doba sušení [26].

### **3.2.6 Pásové sušárny**

Pásová sušárna je praxi často označována jako nízkoteplotní sušárna a v současné době převládá jejich použití. Toto označení souvisí s tím, že je často využívána energie z kogeneračních jednotek [27]. Některé pásové sušárny však dokážou využívat i vyšších procesních teplot. Pásová sušárna s dostatečnou konstantní procesní teplotou (min. 85 - 90°C) může na výstupu produkovat stabilizovaný a dezinfikovaný sušený kal granulované struktury, díky čemuž je další manipulace se sušeným produktem snadnější a bezpečnější, než v případě prachovité struktury vycházející z jiných sušáren čistírenského kalu. Nominální hodnota uvnitř sušárny měla být kolem 80° C. Pásová sušárna využívá sušení prouděním vzduchu skrz kal rozmístěný po perforovaném sušícím pásu. Odvodněný kal, který musí mít minimálně 20 % sušiny, je ve formě kalových nudlí s velkým kontaktním povrchem rozprostírán na perforovaný pás. V případě kvalitně navržené pásové sušárny nedochází k tvorbě prachu a tím i nebezpečného výbušného prostředí [27]. Zbytková

tepelná energie použitého vlhkostí nasyceného vzduchu je často rekuperována pomocí výměníku. Tepelný výměník odebere část zbývající tepelné energie a zároveň v něm dojde ke kondenzaci a odvodu vlhkosti ze systému. Ohřátý vzduch je pak nuceně protahován přes pásy s kalem pomocí sacích ventilátorů, které jsou často umístěny nad pásem [27].

Nepostradatelnou součástí většiny pásových sušáren kalu je systém čištění odpadního vzduchu [27]. Použitý odpadní vzduch je většinou prán dvoustupňovým systémem (kyselinový a alkalický) [27]. Alternativně může být zapáchající použitý vzduch použit pro hoření v peci pro spalování sušeného kalu, čímž je omezen provoz pračky vzduchu, pokud je zohledněna zbytková saturace vzduchu vlhkostí [27]. Každá sušárna má tedy svůj vlastní specifický soubor návrhových parametrů. Lze však říci, že doba zdržení čistírenského kalu v takovém zařízení se pohybuje řádově v hodinách [27].

Pásové sušárny je možné řídit na základě množství přiváděného kalu, dopravní rychlosti pásu a dodávané tepelné energie. Výsledný produkt pak obsahuje 90 – 95 % sušiny.

Detailnějšímu popisu konkrétní nízkoteplotní sušárny bude věnována kapitola v praktické části této bakalářské práce.

Výhodami nízkoteplotních sušáren je cenová dostupnost oproti ostatním druhům sušáren a snadná údržba, dále pak možnost využití odpadního tepla, nastavitelný výkon (dle požadované výstupní sušiny), ale také jednoduchý a bezpečný provoz [27].

## 4 Praktická část

### 4.1 ČOV Karlovy Vary

Uspořádáním technologie (viz obr.č.2) je tato čistírna D-N systém, to znamená denitrifikace – nitrifikace se zařazením obou aktivačních linek do série, kdy vratný kal a mechanicky předčištěná voda je přiváděna do denitrifikační části, která je vybavená míchadlem pro zajištění homogenizaci aktivní směsi. Aktivační směs je dále vedená do dvou nitrifikačních nádrží. Vyčištěná voda a aktivovaný kal jsou poté separovány v soustavě 6 kruhových dosazovací nádrží. V roce 2006 byla zahájena rekonstrukce, která měla za cíl vyřešit kalové hospodářství, rozšíření denitrifikační zóny a doplnění technologie o interní recirkulaci. V roce 2015 byla vzhledem k legislativním změnám v oblasti odpadů vybudována nízkoteplotní sušárna kalů. Zpracovává odvodněný kal z odstředivek, na kterých je odvodňován kal nejen z ČOV Karlovy Vary, ale i z dalších čistíren odpadních vod provozovaných společnostmi Vodakva. [28]

#### 4.1.1 Základní údaje a popis technologie

##### 4.1.1.1 Základní parametry a schéma ČOV

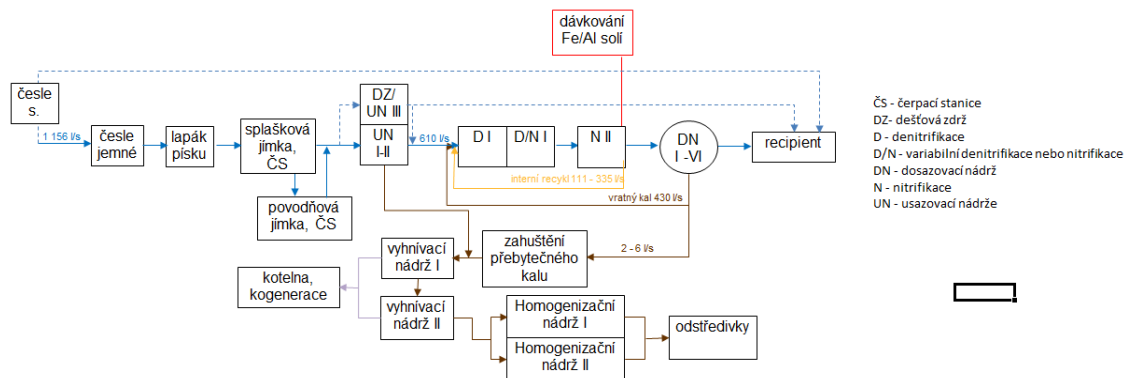
Projektovaná kapacita ČOV Karlovy Vary je 80 000 EO. V roce 2020 byl průměrný denní přítok  $Q_{24}$  228 l/s a zatížení 66 800 EO. [28]

Další projektované parametry jsou shrnuty v tab.č. 1.

Tab.č.1 - Projektované parametry zatížení ČOV Karlovy Vary (kde  $k_d$  je koeficient denní nerovnoměrnosti) [28].

	SYMBOL	JEDNOTKA	HODNOTA
Průměrný denní přítok	$Q_{24}$	$m^3/d$	24 806
		l/s	287
Denní (výpočtový) přítok ( $k_d= 1,25$ )	$Q_d$	$m^3/d$	31 008
		l/s	359
Maximální dešťový přítok na ČOV	$Q_{dešť\ ČOV}$	$m^3/h$	4 162
		l/s	1 156
		l/s	610





Obr.č.2 - Zjednodušené blokové schéma ČOV Karlovy Vary [28].

#### 4.1.1.2 Popis technologie ČOV

Odpadní voda je přiváděna na hrubé předčištění, které je tvořeno dvěma žlaby se strojními česlemi, které zachytávají hrubé nečistoty o velikosti nad 6 mm a lapákem písku. Zachycené shrabky jsou dopravovány lisem do kontejneru. Písky jsou zachycovány v lapáku písku, který se nachází za česlemi. Jedná se o podélnou nádrž, kde se písek usazuje na dně nádrže a následně se těží drapákem. Shrabky a písky jsou odváženy na mezideponii. Odpadní voda je následně odváděna do splaškové, příp. povodňové jímky. Splašková jímka je vybavená třemi čerpadly pro stav bez deště, dále se v povodňové jímce nacházejí ještě dvě čerpadla, která slouží jako rezerva při přivalových deštích. Odpadní voda z obou nádrží je čerpána do uklidňovací a rozdělovací komory. [28]

Dále je surová odpadní voda přiváděna na mechanický stupeň čištění, kde jsou zachycovány usaditelné a plovoucí látky do podélných usazovacích nádrží. Tyto nádrže jsou vybaveny pojízdnými mosty, na kterých je naistalováno shrabovací zařízení v horní části na plovoucí nečistoty, ve spodní části na surový kal (primární kal). Primární kal je čerpán do vyhňovacích nádrží. Primární kal, ještě předtím než se dostane do vyhňovací nádrže, je zaústěn do cirkulačního okruhu, kde probíhá ohřev kalu na 36 – 38 °C. Plovoucí nečistoty jsou z hladiny stírány a zavedeny do jímky primárního kalu. Mechanicky předčištěná voda odtéká potrubím do denitrifikační/nitrifikační nádrže A1 na biologický stupeň čištění. [28]

Biologické čištění probíhá ve dvou aktivačních nádržích. Aktivační nádrž A1 je rozdělena na denitrifikační a nitrifikační část. Z této nádrže odtéká aktivační směs do nádrže A2, na konci této nádrže je dávkován koagulant na srážení fosforu. Takto upravená aktivační směs je svedena do rozdělovacího objektu a poté natéká do 6 dosazovacích nádrží, kde dochází k oddělení vloček kalu a vyčištěné vody. Část aktivační směsi z poslední sekce aktivační nádrže A2 je jako interní recirkulace přivedena zpět před denitrifikační nádrž. Z dosazovacích nádrží je část kalu odtahována zpět do denitrifikační nádrže a část je odtahován ze systému jako přebytečný kal. Vyčištěná voda je kanálem odváděná z areálu čistírny do recipientu. [28]

Přebytečný kal, který je odtahován ze dna dosazovacích nádrží, se zahušťuje na flotačním zařízení nebo na zahušťovací odstředivce, a poté je čerpán do jímky, kde je smísen s primárním kalem a následně je čerpán do vyhnívací nádrže 1, resp. 2. [28]

Přebytečný kal z flotace, zahušťovací odstředivky je ještě před vstupem do vyhnívací nádrže 1 přiváděn do výměníku voda-kal a do rekuperačního výměníku kal-kal. Teplota směsného kalu během roku kolísá v rozmezí 8-16 °C. Vzhledem k tomu, že se na ČOV používá mezofilní vyhnívání je kal ohříván na teplotu 38°C v toleranci +/-1 °C. Pro ohřev kalu je používána voda z kotelny a vyhníly kal odcházející z vyhnívací nádrže 2. [28]

## **4.1.2 Kalová koncovka**

### *4.1.2.1 Flotační zařízení*

Princip flotace spočívá v separaci tuhých částic z kapaliny. Do flotační nádrže se přivádí přebytečný kal o průtoku max. 6,0 l/s a zároveň nasycená voda vzduchem. Nasycená voda je svedena potrubím do středu nádrže, na jehož konci se nachází tryska, která pod tlakem uvolňuje velké množství malých bublinek vzduchu. Bublinka na sebe váže částice (nerozpuštěné látky), čímž vytvoří aglomeráty s hustotou nižší než kapalina, výsledný aglomerát potom stoupá na hladinu odkud je shrabován ve formě zahuštěného kalu s obsahem sušiny 2 – 4 %. [28]

#### 4.1.2.2 Zahušťovací odstředivka

Přebytečný kal s obsahem vstupní sušiny 10 g/l je dopravován do strojovny vyhnívání, kde se nachází zahušťovací odstředivka, jejíž kapacita je 15-20 m<sup>3</sup>/h. Odstředivka pracuje s odstředivou silou, kdy zahuštěný kal s výstupní sušinou 4-6 %, je vytlačován výpadkovými pouzdry směrem k čerpadlu, a následně je dopravován do vyhnívací nádrže. [28]

#### 4.1.2.3 Vyhnívací nádrže

Vyhnívací nádrže jsou zapojeny jako první a druhý stupeň, tj. za sebou (viz obr.č. 3). Před vstupem zahuštěného přebytečného kalu do vyhnívací nádrže 1 jsou osazeny macerátory, které slouží k mělnění zbytků hrubých nečistot. Následuje ohřev a čerpání do vyhnívací nádrže 1. V nádrži probíhá míchání hydraulicky pomocí čerpadla (velká cirkulace), nebo pneumaticky pomocí stlačeného bioplynu (malá cirkulace). Míchání kalu v nádrži zabraňuje tvoření kalového stropu. Přidávaný surový kal je ihned rozmíchán s obsahem nádrže, netvoří se tak místa kyselého kvašení kalu a dochází k rovnoměrnému rozdělení teploty kalu v celém obsahu nádrže. Míchání dále zabraňuje rychlému usazování kalu, kal je v pohybu a nádrž je rovnoměrně zatěžována, podporuje se tím vyšší vývin plynu. [28]



Obr. č.3 - Vyhnívací nádrže na ČOV Karlovy Vary [zdroj: vlastní].

Stabilizovaný kal je z vyhnívací nádrže 1 do vyhnívací nádrže 2 gravitačně. Vyhnívací nádrž 2 slouží jako skladovací prostor vyhnílého kalu. Kal v nádrži sedimentuje ve dvou vrstvách. V první vrstvě u dna sedimentuje kal a v druhé vrstvě se nachází kalová voda. Kalová voda je přiváděna před česle. Vyhnílý kal je čerpán do homogenizačních nádrží. Bioplyn je jímán v nasazeném membránovém plynojemu na vyhnívací nádrži 2 a dále je spalován v kotelně a v kogenerační jednotce. [28]

#### *4.1.2.4 Kotelna a kogenerační jednotka*

Pro zabezpečení technologického i netechnologického tepla v provozu je kotelna. Zvýšená produkce bioplynu, vyplývající z množství kalů přiváděných do vyhnívací nádrže, je využita plně pro potřeby čistírny. Vyprodukovaný bioplyn je spalován v plynových kotlích a kogenerační jednotce. V případě nedostatku bioplynu je deficit tepla pokryt spalováním zemního plynu. [28]

#### *4.1.2.5 Odvodnění kalu*

Vyhnílý kal je odvodňován na třech odvodňovacích odstředivkách. Princip odstředivky je znázorněn na obrázku č.4. V hale jsou dále umístěny dvě automatické stanice na přípravu flokulantu, což je vločkovací činidlo (většinou polymery na bázi akrylamidu a jeho derivátů), které váže nejmenší částice do vloček, a tím urychlí proces oddělování od kapaliny. Kal o vstupní sušině 2-3 % je sveden k dávkovacímu čerpadlu, kde je přidáván flokulant. Odvodněný kal o výstupní sušině 22 – 25 % je pomocí dopravníku dopravován do zásobníku, odkud je pak dále čerpán do sušárny kalu. [28]



Obr.č.4 - Princip odstředivky - 1) vstup kalu s flokulantem do odstředivky (v bubnu se oddělí pevné částice od vody). 2) oddělená voda (fugát) 3) odvodněný kal [zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=OqEODWcJwnY>]

#### 4.1.2.6 Sušárna kalu

Jedná se o dvou pásovou nízkoteplotní sušárnu. Zpracovává odvodněný kal z odstředivek. Výstupní kal má průměrnou sušinu 90 % a více, a tento kal již stabilizovaný a hygienizovaný. [28]

#### 4.1.3 Dovážené kaly z ostatních ČOV

Čistírna odpadních vod v Drahovicích slouží také jako linka pro zpracování neodvodněných kalů z ostatních ČOV provozovaných Vodakvou (celkem 46). Jedná se o čistírny: Ostrov, Podlesí, Radošov, Jáchymov, Hroznětín Kyselka, Merklín, Velichov, Vojkovice, Měděnec, Kovářská, Loučná, Vysoká Pec, Boží dar, Mariánská, Nové Hamry, Pernink, Horní Slavkov, Nová Role, Teplička, Bečov, Krásné Údolí, Útvina, Toužim, Nová Farma, Kosmová, Kladská, Štědrá, Novosedly, Albeřice, Vrbice, Verušičky, Valeč, Chýše, Dlouhá Lomnice, Bochov, Stružná, Stanovice, Lišany, Lužná, Hřebečnický, Krakov, Panoší Újezd, Slabce, Všetaty a Krivoklát. Tyto čistírny místo odvodňovací linky mají kalová sila, slouží jako deponie pro přebytečný kal. Kaly se sváží pomocí nákladních automobilů a jsou vybaveny cisternami o objemu 15 – 28 m<sup>3</sup> (viz obr. č. 5). Pro příjem kalu má čistírna dvě místa, první je jímka fekálií pro příjem zahuštěných přebytečných

kalů. Pokud kal nemá parametry pro odvodňovací linku, je přivážen na přítok do čistírny. [28]



Obr.č. 5 - Cisterna pro převážení kalů z čistíren odpadních vod [zdroj: vlastní]

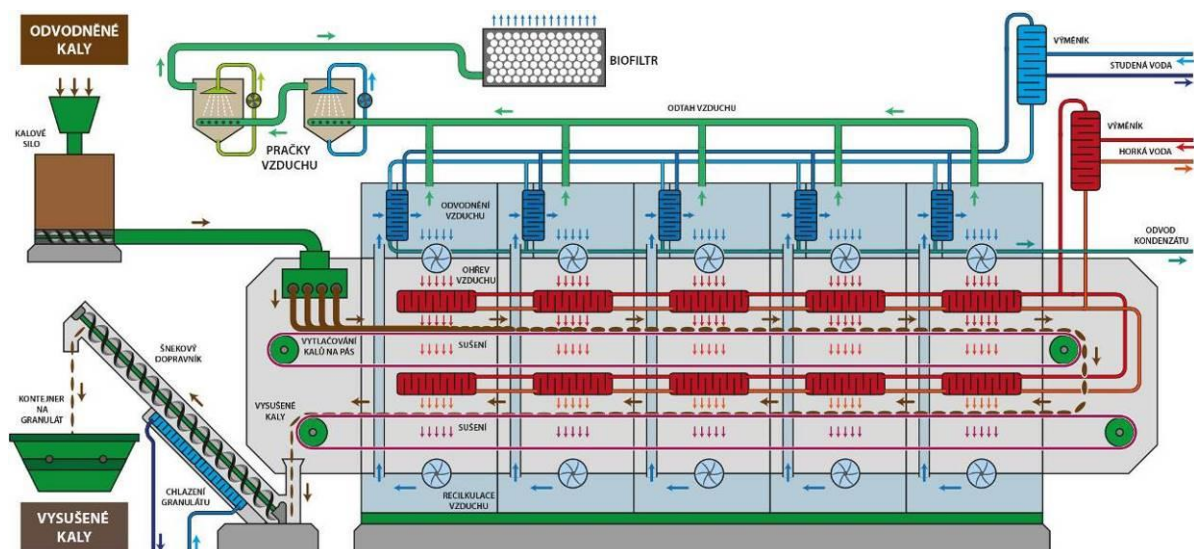
## 4.2 Popis technologie nízkoteplotní sušárny

### 4.2.1 Strojní část

Pásová sušárna byla dodána španělskou firmou STC - Aquatec, která patří do skupiny SUEZ, v níž se nachází i firma Vodakva. Bunkr (zásobník odvodněného kalu) o objemu 25 m<sup>3</sup> byl dodán firmou K&K Technology, a.s. ve spolupráci s firmou Hydrocom s. r.o., který dodal hydraulické periferie zásobníku a kalové šnekové čerpadlo Seepex. Firma STC - Aquatec dále dodala chlazené dopravníky pro přepravu vysušeného kalu a také pračku vzduchu s biofiltrem. Do periferií sušárny patří také výměníky Tranter a čerpadla Grundfos, jak na studenou, tak na teplou vodu. A v neposlední řadě také kotle Viadrus pro ohřev vody, které jsou umístěny mimo objekt sušárny a nachází se v kotelně čistírny. [29]

Proces průchodu kalu sušárnou je schematicky znázorněn na obr.č. 6.

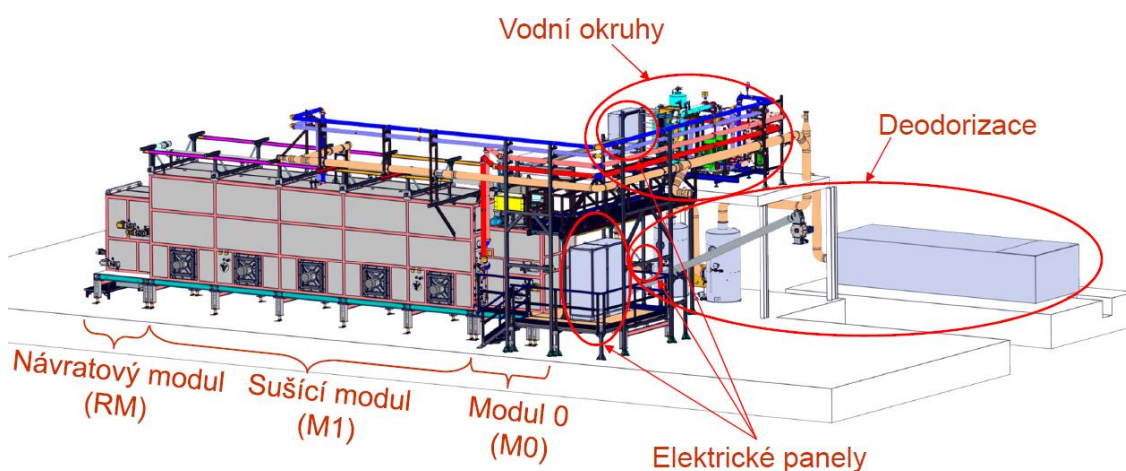




Obr. č.6 – Schéma nízkoteplotní pásové sušárny [29].

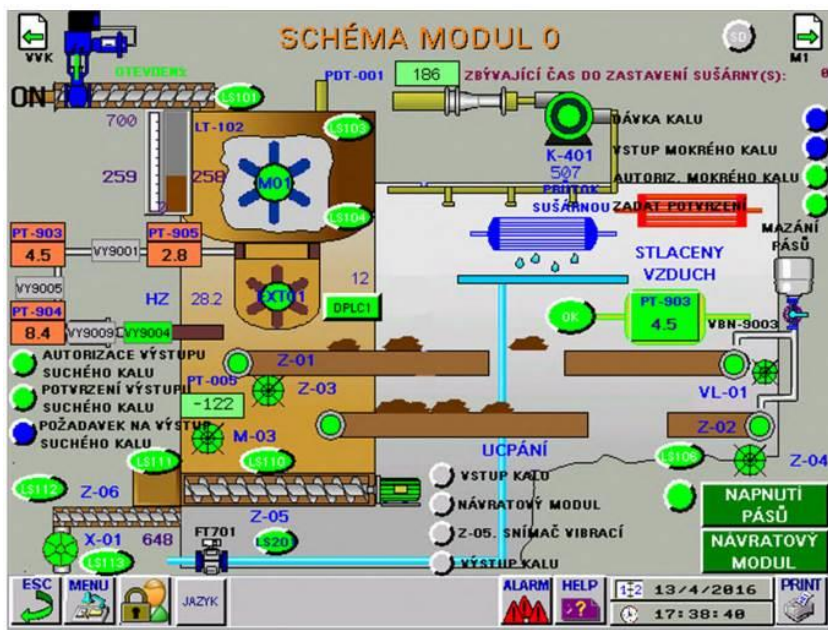
Kal uložený zásobníku odvodněného kalu je dopravován na vstup do sušárny podávacím čerpadlem Seepex, Nejdříve prochází tzv. extrudérem. Účelem tohoto speciálního systému je rozprostřít kal rovnoměrně na horní pás. Tento systém má dva pásy pro dopravu kalů uvnitř sušicího tunelu, které se pohybují v opačném směru. Když procházejí sušárnou, přivádí se horký vzduch s maximální teplotou 80 °C kolmo k pásům. Tento vzduch, který je poháněn ventilačním systémem, prochází kalem a odvádí z něj vodu. [29]

Zařízení sušárny je složeno z jednotlivých modulů viz obr. č. 7.



Obr.č.7 – Rozdělení sušárny na jednotlivé moduly [29].

V modulu 0 se provádí nakládání odvodněného kalu a vykládání vysušeného kalu. Tento modul obsahuje násypku, extrudér, systém odběru vysušeného produktu a hnací systém spodního pásu. Na horní pás se nakládá odvodněný kal a spodní pás se vrací zpět do modulu 0 s naloženým vysušeným produktem. Jednotlivé procesy jsou řízeny z ovládacího panelu, ve kterém jsou znázorněny jednotlivé veličiny (viz obr.č.8).

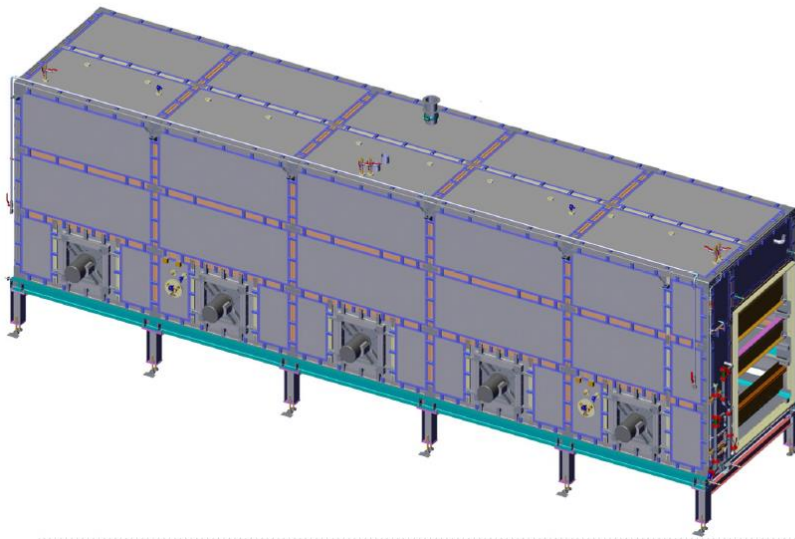


Obr.č.8 – Schéma modulu 0 v řídicím systému [29].

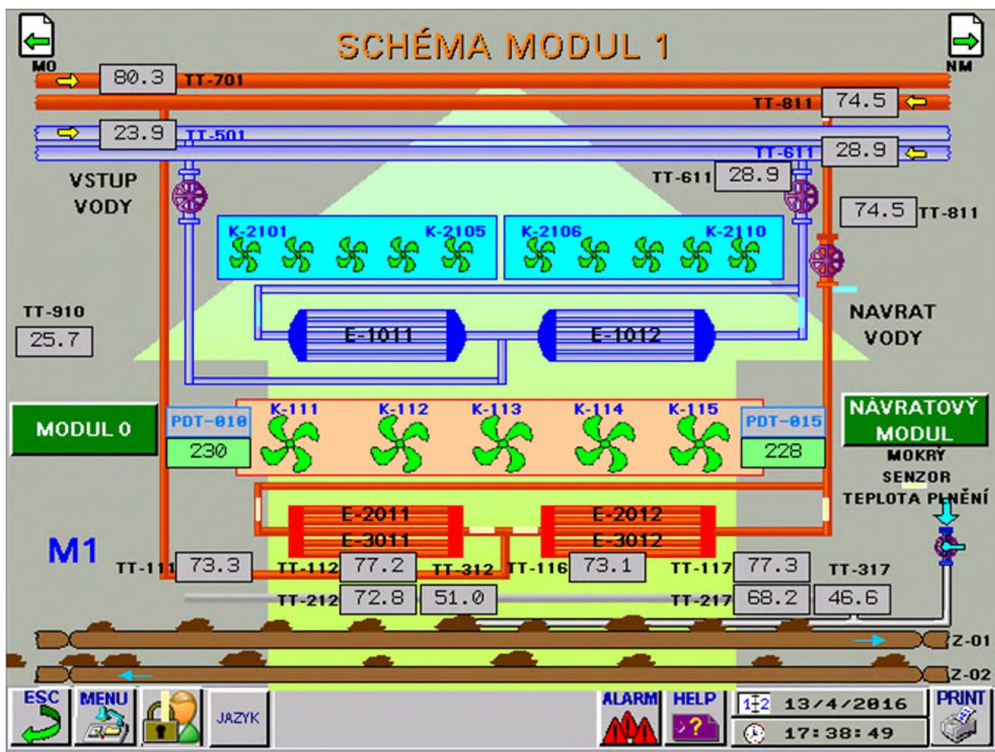
Sušicí moduly (M1) jsou zařízení, která tvoří sušicí tunel, kde probíhá proces sušení (viz obr. č.9). Jejich počet určuje výslednou kapacitu sušárny a je tedy možné ji rozšířit dle potřeby instalací dalších modulů. Ty fungují jako samostatné jednotky a mají oba pásy, které přepravují produkt celým sušicím tunelem. Do jednotlivých sušicích modulů se rozvádí horký vzduch (80 °C) ohřátý pomocí tepelných výměníků. Vzduch se nasytí vypařenou vodou z kalu a poté proudí k vodním chladičům, kde se zchladí a voda zkonduzuje. Tento kondenzát je odveden mimo sušárnu a dále se vrací do technologického procesu čistírny. Všechny prvky tvořící zařízení jsou přístupné z vnější strany a díky odnímatelným panelům umožňují snadnou údržbu. [29]

Na obr.č.10 je znázorněno schéma sušicího modulu v řídicím systému.





Obr.č.9 – Sušící moduly - hlavní ventilátory, pomocné ventilátory, výměníky tepla pro topnou vodu, výměníky tepla pro chladicí vodu, vodní okruhy, deodorizační potrubí [29].



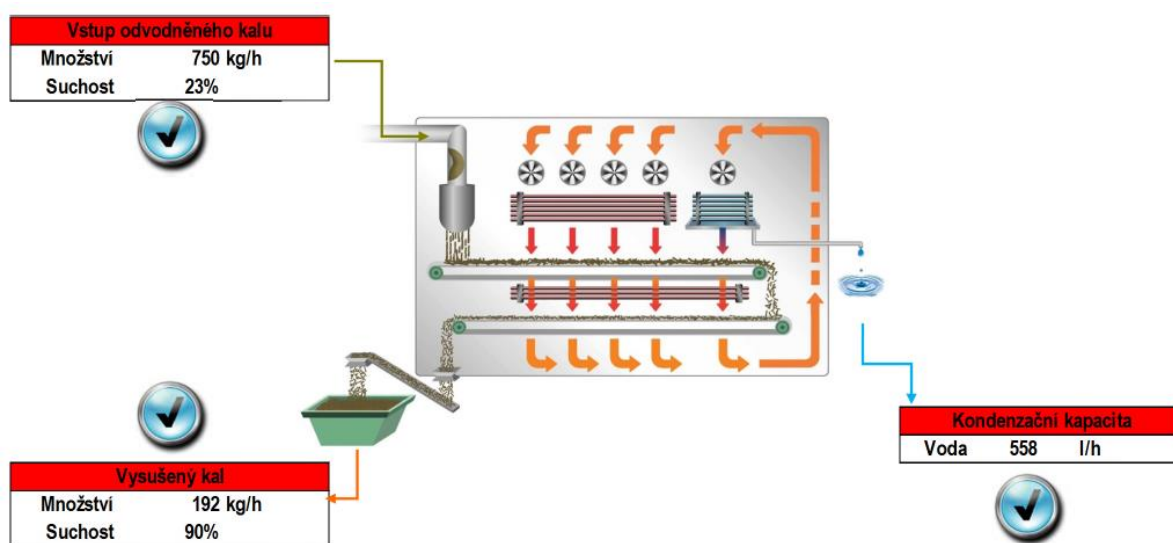
Obr. č. 10 – Schéma sušícího modulu v řídicím systému [29].

Návratový modul (modul V) se nachází na opačné straně modulu 0. Na tomto místě je také umístěn hnací systém horního pásu. V tomto modulu produkt padá z horního pásu na spodní pás a vrací se zpět do přední části sušícího tunelu. K dispozici je zde podélný otočný systém, který napomáhá nakládání kalu a rovnoměrnému rozložení materiálu na spodní pás. [29]

Vysušený kal ze zařízení odchází otáčením sušícího pásu a s pomocí kartáčů. Účelem těchto výstupních kartáčů je napomáhat oddělování produktu od sušícího pásu a zároveň zajišťovat čištění pásu. Tím se zabrání zanášení, které by mohlo ovlivnit proudění vzduchu přes pás. Kal je po sušení ukládán do malého zásobníku vybaveného šnekem, který produkt vytlačuje ze sušárny na jedné její straně. Tyčový mlýn pak umožňuje volbu konečné granulace produktu pomocí frekvenčního měniče. [29]

Sušárna je dimenzována na provoz 24 hodin denně s provozuschopností více než 8000 hod/rok. Množství zpracovaného odvodněného kalu je až 6 000 t/rok. Zastavení a spuštění procesů nevyžaduje žádné čištění ani vykládání. Spuštění je provedeno okamžitě, jakmile je dosaženo provozní teploty po uplynutí cca 15 minut. Obsluha tak může vybrat provozní režim zařízení, aniž by byla omezována provozem jiných systémů. Předpokladem je sušina vstupního kalu min. 23 %. [29]

Další parametry sušárny jsou uvedeny na obr. č. 11.



Obr.č.11 – Další parametry sušárny [29].

#### 4.2.2 Periferie

Aby se v sušárně udržel podtlak a nedocházelo v systému k hromadění nekondenzovatelných látek, je menší část sušicího vzduchu ( $500 \text{ m}^3/\text{h}$ ) přesměrována potrubím do deodorizačního systému. Deodorizační systém je tvořen dvoufázovou úpravou: chemickým praním (pomocí kyseliny sírové) a biofiltrací, takže je množství nejčastějších aromatických sloučenin ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  a těkavých organických sloučenin) sníženo pod přípustné limity. Mezi tyto dvě fáze je nainstalována vodní pračka, která odstraní obsah kyselin unášený vzduchem a zvlhčí proud vzduchu před vstupem do biofiltru. [29]

Pro chlazení nasyceného vlhkého vzduchu byla zvolena provozní voda z odtoku ČOV (vyčištěná odpadní voda z ČOV), využila se stávající jímka, kam se umístilo hrubé předčištění a sací koš s filtrem o selektivitě 1 mm. Součástí je suchá jímka (čerpací stanice), byla vystrojena dvěma čerpadly s ochrannými prvky a tlakovým senzorem pro dopravu vody před automatický filtr se selektivitou do 0,1 mm. Voda je čerpána do výměníku Tranter. [29]

Na výstupu z výměníku je odbočka na potrubí a užitkovou vodu lze používat i pro proplach odstředivek tedy takzvané mycí sekvence.

Pro ohřev vody jsou použity dva kotle z kotelny ČOV, jeden na zemní plyn, druhý je kombinovaný zemní plyn/ bioplyn. Topná voda je cirkulována čerpadlem s regulací výkonu.

### **4.3 Provozní zkušenosti z období let 2016-2020**

V této kapitole jsou popsány hlavní problémy, které byly během provozu sušárny zjištěny, a které bylo potřeba vyřešit, resp. odstranit. Vzhledem ke skutečnosti, že tato pásová sušárna byla v době svého uvedení do zkušebního provozu jediná v České republice a každé takové zařízení se navrhuje na míru provozovateli, bylo získávání zkušeností velmi náročné. Na provoz sušárny dálkově dohlíží výrobce (STC- Aquatec) a veškeré změny a úpravy na zařízení a závažné poruchy s ním byly konzultovány.

#### **4.3.1 Zásobník odvodněného kalu**

V zásobníku se nachází pohyblivé dno, které posouvá kal směrem k podávacímu čerpadlu, a jeho pohyb zajišťuje hydraulická jednotka. Jednotka se skládá s olejové nádrže tlakových hadic a samotných pístnic, které posouvají dno dopředu a dozadu. Nicméně první uložení nebylo dostačující, jelikož se dno zkřížilo a pístnice i s uložení byla vytržena. Reklamace u dodavatele byla uznána a bylo navrženo nové uložení pístnic. V podstatě se jednalo o zpevnění spodní části pod pístnicí, navaření nových patek a celá konstrukce byla vyztužena pásovinou.

#### **4.3.2 Podávací čerpadlo Seepex**

Podávací čerpadlo na kal je klasické šnekové čerpadlo rotor/stator. Tyto čerpadla jsou velice citlivá na vstupní materiál. Během provozu došlo k utržení některých šroubů na dopravníku odvodněného kalu do zásobníku a ty se dostaly až do samotného čerpadla. Při následném rozboru bylo zjištěno, že šrouby jsou zaseknuté ve statoru a byla provedena nutná výměna statoru a rotoru. Dále bylo zjištěno, že čerpadlo je velmi náchylné na abrazivní materiál a dochází k obrušování rotoru (viz obr. č. 12). Pokud dojde k takovéto situaci, čerpadlo ztrácí výkon a pak je nutno provést výměnu rotoru. Toto čerpadlo pracuje v rozmezí od 14 – 22 bar a je hlídáno frekvenčním měničem a teplotním čidlem. Přesto došlo k utržení samotné hřídele čerpadla v uložení z důvodu přetlaku na potrubí. Veškeré opravy na tomto čerpadle jsou velice nákladné a časově velmi náročné, protože náhradní

díly nejsou většinou skladem a cena jednoho statoru je cca 40 000 Kč, rotoru cca 80 000 Kč, cena samotné spojovací hřídele je cca 130 000 Kč.



Obr. č. 12 - Opatřebovaný rotor podávacího čerpadla Seepex [zdroj: vlastní].

#### 4.3.3 Extrudér

Toto zařízení se nachází pod násypkou odvodněného kalu a je spojeno pneumatickým límcem. Skládá se z ocelové vany, dno vany tvoří dva děrované plechy, které jsou pohyblivé a to z toho důvodu, aby bylo možné nastavit tloušťku špagety kalu. Vytlačovač, který je podélně umístěn ve vaně extrudéru, vytlačuje skrz dno odvodněný kal. Během provozu sušárny došlo i k poruchám vlivem průniku cizích těles, např. k zanesení airsoftovými kuličkami, které děrované plechy ucпали. Jak se ukázalo, takový banální problém odstavil sušárnu na jeden týden. Jelikož kal neprocházel skrz dno, musel být extrudér demontován plný. Manipulace s tímto břemenem je velice nebezpečná a je potřeba několika lidí. Samotné čištění probíhalo oplachem tlakovou vodou a zároveň se za pomoci kladiva a šroubováku opatrně vytloukaly zaseknuté kuličky a uvolňovaly se ucpané cesty.

#### 4.3.4 Dopravník vysušeného kalu

Navržený dopravník vysušeného kalu dodaný firmou STC-Aquatec se skládal z jednoho kusu dopravníku. Během zkušebního provozu došlo však k prohnutí nosné hřídele, a z tohoto důvodu byl dopravník rozdělen na dva samostatné dopravníky. Původní dopravník se skládal z hlavní hřídele a plastových segmentů šnekovnice (viz obr.č.13). Ukázalo se, že vzhledem k abrazivním vlastnostem kalu se plastové segmenty začaly velmi rychle obroušovat, a to až do takové míry, že začal kal propadávat zpět. Následovala

reklamace u výrobce dopravníku a bylo navrženo nové řešení, kdy byly plastové segmenty nahrazeny za nerezové (viz obr.č.14). Toto řešení výrazně prodloužilo životnost dopravníku, avšak stále dochází k obrušování šnekovnice. Obsluha sušárny z tohoto důvodu jednou do měsíce provádí kontrolní měření šnekovnice.



Obr.č. 13 – Původní dopravník vysušeného kalu [zdroj: vlastní].



Obr. č. 14 – Nový dopravník vysušeného kalu [zdroj: vlastní].



#### **4.3.5 Automatický řídicí systém**

Zařízení sušárny je plně automatizované. Řídicí systém se skládá z několika samostatných systémů. Systémy jsou vzájemně propojeny komunikační signalizací. Přípravenost systému je definována dvěma hlavními signály (systém STC- Aquatec, systém K&K Technology), které se skládají z jednotlivých signálů připravenosti. Během provozování sušárny bylo zjištěno, že komplikovanost vyhodnocování těchto signálů zvyšuje náročnost nejen na praktické zkušenosti obsluhy, ale také na jejich teoretické znalosti. Stále však dochází k situacím, kdy je pro obsluhu obtížné zjistit příčinu dané poruchy a tím i zajistit její včasné odstranění.

#### **4.3.6 Provozní/chladicí voda**

Vzhledem k tomu, že se pro chlazení sušícího media používá vyčištěná odpadní voda, která vždy obsahuje určité množství nerozpuštěných látek, dochází kontinuálně k zanášení síta v zásobní jímce (viz obr.č.15), a to i přes jeho pravidelné čištění. V takovém případě musí obsluha zavřít přívod vody do jímky a ručně síto vyjmout a následně tlakovou vodou vyčistit. Další krok na trase je automatický filtr. Tento filtr má samočisticí funkci, pokud praní tohoto filtru přesáhne více jak deset čistících cyklů za hodinu, je nutno, aby obsluha filtr odstavila a následně vyčistila (demontáž motoru, víka filtru, nakonec samotná vložka filtru). Vše se proplachuje tlakovou vodou. Nerozpuštěné látky se přesto dostávají až do výměníku, v takovém případě je nutno provést demontáž samotného výměníku pro kondenzaci a následné vyčištění. Výměník Tranter je klasický deskový výměník (viz obr.č.16), avšak manipulace s ním je velmi náročná. Samotná demontáž vyžaduje obsluhu tří lidí, jednotlivé desky jsou popsány a musí být složeny přesně v tom pořadí, jak byly demontovány. Každá deska je označena písmeny, tyto písmena určují pořadí skládaných desek. Desky jsou vzájemně propojeny těsněním a jejich oddělováním kvůli čištění dochází k jeho opotřebení. Vzhledem k netradiční konstrukci výměníku je celková výměna na míru vyráběného těsnění finančně nákladná.



Obr.č. 15 – Zanesené síto (1 mm) z jímky na provozní/chladicí vodu [zdroj: vlastní].



Obr. č. 16 – Desky výměníku Tranter zanesené kalem [zdroj: vlastní].

#### 4.4 Možnosti využití vysušeného kalu

Vzhledem k vysokému obsahu některých kovů ve vysušeném kalu z ČOV Karlovy Vary není využití bez další úpravy v zemědělství vhodné. Vzhledem ke skutečnosti, že šlo o první sušárnu v České republice, měl být vysušený kal poskytnut firmě SWECO pro provozní zkoušky na zpracování pomocí pyrolýzy. Tento projekt nebyl z finančních



důvodů zatím uskutečněn. Další zkoušky byly provedeny institutem Millenium Technologies za účelem zplyňování a výroby syntézního plynu z vysušeného kalu. Dále proběhla zkouška uplatnění při výrobě stavebního materiálu firmou Lias Vintířov, lehký stavební materiál k.s.

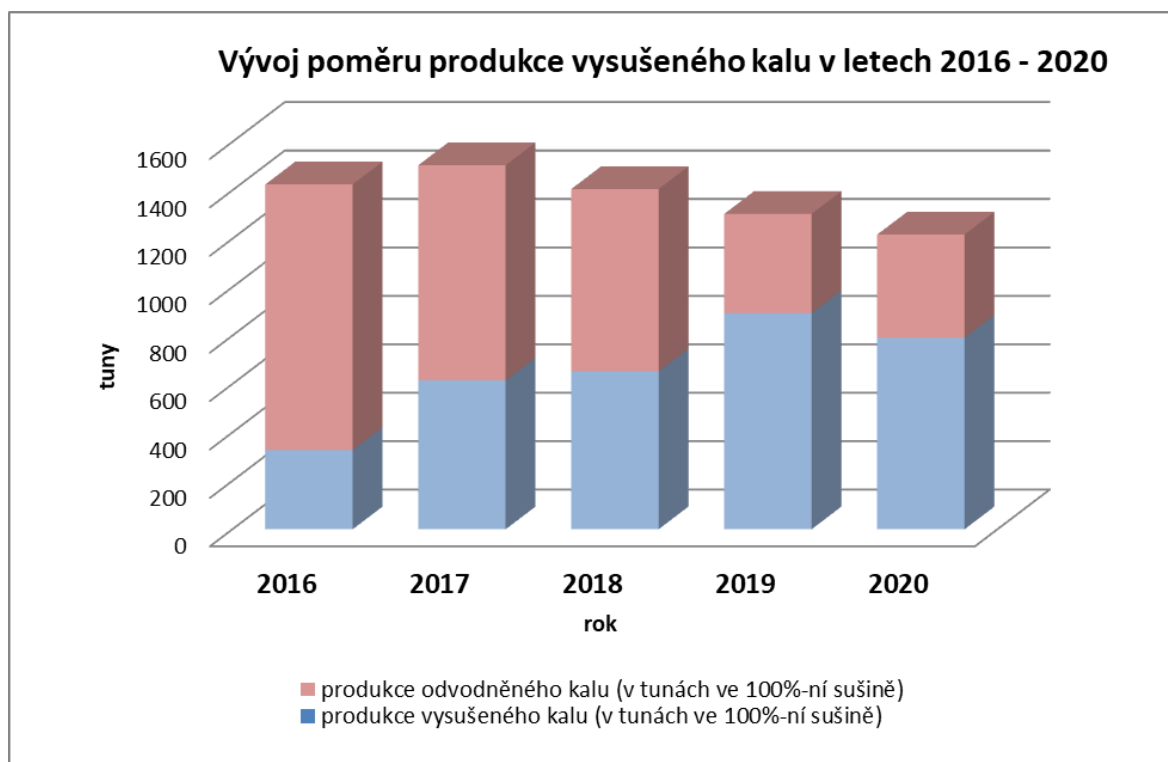
#### 4.5 Vyhodnocení provozu

Podíl vysušeného kalu z celkového množství odvezeného kalu se postupně zvyšuje (viz tab.č.2 a graf č.1). V roce 2020 došlo k celkovému poklesu produkce kalu vlivem omezení pohybu osob, tedy i cestovního ruchu na provozovaném území.

Tabulka č. 2 – Vývoj produkce vysušeného a odvodněného kalu v letech 2016-2020 [zdroj: provozní evidence Vodakvy].

parametr	2016	2017	2018	2019	2020
produkce vysuš.kalu (v tunách ve 100%-ní sušině) - odvezený	328	615	652	892	792
celková produkce odvodněného kalu (v tunách ve 100%-ní sušině)	1424	1504	1405	1302	1217
produkce odvodněného kalu (v tunách ve 100%-ní sušině) - odvezený	1096	889	753	410	425
produkce odvodněného kalu (v tunách po přepočtu na sušinu)	6247	6317	6386	6230	5608
sušina odvodněného kalu (%)	22,8	23,8	22,0	20,9	21,7
sušina vysušeného kalu (%)	91,2	92,4	91,3	92,6	93,0
provozní hodiny			4819	5906	5341

Z tab. č. 2 je dále patrné, že je dosahováno projektované hodnoty výstupní sušiny vysušeného kalu, přestože vstupní odvodněný kal nedosahuje výrobcem požadované sušiny 23 %. Nižší vstupní sušina úměrně snižuje množství zpracovaného odvodněného kalu z projektovaných 6 000 t/rok. Od konce roku 2017 jsou sledovány provozní hodiny sušárny. Nižší produkce vysušeného kalu a s tím související provozní hodiny v roce 2020 jsou způsobeny odstávkami sušárny v důsledku řešení poruch.



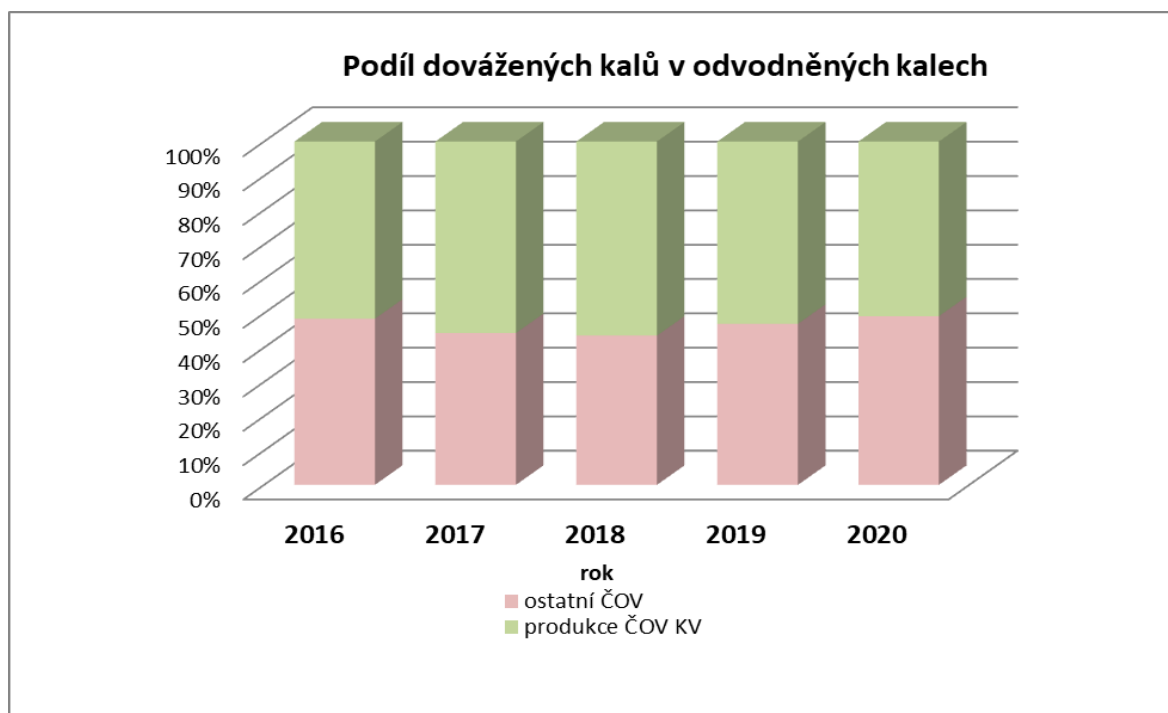
Graf č.1 – Vývoj poměru produkce vysušeného a odvodněného kalu (odvezeného) v letech 2016-2020 [zdroj: provozní evidence Vodakvy].

Během provozování nízkoteplotní pásové sušárny na ČOV Karlovy Vary bylo zjištěno, že jedním z hlavních limitujících faktorů je charakter zpracovávaného materiálu. Přestože se jedná o zařízení, které je navrhováno pro tento typ materiálu, dochází ke značnému opotřebení některých částí vlivem abrazivních vlastností čistírenského kalu. Přičemž je třeba vzít v úvahu, že každý čistírenský kal má specifické složení a množství anorganických (inertních) částic (viz tab.č.3). Z tohoto důvodu může docházet k opotřebení šnekovnic, potrubí a některých dalších částí poměrně rychle. Vzhledem k tomu, že sušárna v tomto případě zpracovává i kaly z ostatních ČOV (viz graf č.2), které jsou vybudovány převážně na jednotné kanalizaci a nemají třeba dostatečnou účinnost lapáků písku (štěrků), je podíl anorganických částic vysoký. Z tohoto důvodu je třeba při návrhu sušárny počítat s vyššími provozními náklady na výměnu těchto částí i s poměrně dlouhou dobou dodání.

Tab.č. 3 – Parametry odvodněného kalu – základní statistika z 63 hodnot z období 2016-2020 [zdroj: provozní evidence Vodakvy].

Název parametru	Jednotka	Průměr	Minimum	Maximum
Veškeré látky sušené při 105°C	g/kg	<b>224</b>	150	275
Veškeré látky žíhané při 550° C	g/kg	<b>90,2</b>	41,3	151
Veškeré látky - ztráta žiháním	g/kg	<b>133</b>	106	163
Sušina anorganická	%	<b>39,7</b>	22,1	54,9
Sušina organická - ztráta žiháním	%	<b>60,4</b>	45,1	77,9
Sušina celková	%	<b>22,2</b>	17	27,5

Parametr veškeré látky žíhané při 550 °C reprezentuje množství anorganických částic v kalu a rozptyl mezi minimem a maximum je dán podílem ostatních ČOV v odvodněném kalu.



Graf č.2 – Podíl dovážených kalů z ostatních ČOV v odvodněných kalech [zdroj: provozní evidence Vodakvy].

Dalším limitujícím faktorem je čistota provozní/chladicí vody, jejíž nepřetržitá dodávka je nezbytná pro trvalý provoz sušárny. Kontrola její kvality je však závislá pouze na obsluze ČOV. Při náhlém zvýšeném úniku kalových vloček z dosazovacích nádrží dochází k ucpávání filtrů a následně k automatickému odstavení sušárny. Před těmito případy není zařízení nijak chráněno, resp. není vyřešena případná signalizace zvýšeného množství nerozpuštěných látek v odtoku z ČOV.

Z dosavadních zkušeností je patrné, že sušárna není chráněna před vniknutím cizích těles, kovových úlomků, atd., které zřejmě buď projdou celým systémem ČOV, přes česle, lapák písku, macerátory, mělníci čerpadla, atd., až do odstředivky nebo dojde ke kontaminaci až odvodněného kalu a následně projdou až do sušárny. Tato cizí tělesa pravděpodobně způsobují i jiná poškození jako např. podávacího čerpadla kalu, poškození potrubí, extrudéru. Přesná příčina nebyla vždy identifikována.

Vzhledem ke skutečnosti, že řídicí systém sušárny je poměrně složitý a odhalení přesných příčin některých poruch je obtížné, je pro bezproblémový chod sušárny potřeba periodicky zaškolovaný a dostatečně kvalifikovaný personál.

Předpokladem bezproblémového chodu všech zařízení sušárny je dodržování plánů údržby s četností a rozsahu dle požadavků výrobce s ohledem na místní podmínky.

## 5 Diskuse

Aplikace nízkoteplotní sušárny pro řešení kalové koncovky na ČOV Karlovy Vary je celkově vyhodnocena jako vyhovující jak technicky, tak ekonomicky. Finální produkt je stabilizovaný a hygienizovaný, což je jeden z předpokladů pro případné další využití, zároveň splňuje požadovanou hodnotu pro výhřevnost i pro obsah sušiny, aby mohl být spalován či zpracován v procesu pyrolýzy. Dalším přínosem je výrazné snížení množství odváženého odpadu, který je stále ještě používán na rekultivaci (jako technická vrstva) skládky a v menší míře v kompostárně. V současné době jsou řešeny nabídky na odběr celé produkce vysušeného kalu na využití pro výrobu hnojiva, a to po smíchání s dalšími materiály, které umožní jeho zpracování. Získávání zkušeností s technologií sušárny a stejně tak nezbytný rozvoj projektů na zpracování vysušeného kalu vede k lepší připravenosti na úplný zákaz skládkování odpadů.

Výhodou nízkoteplotních sušáren je především jejich cenová dostupnost a bezpečný provoz oproti ostatním druhům sušáren. Snižování provozních nákladů se odvíjí např. od možnosti využití odpadního tepla z jiných zdrojů, než je nákladné přímé vytápění zemním plynem. Zde se nabízí možnost rozšířit kalovou koncovku o pyrolýzní jednotku pro další snížení vyprodukovaného odpadu a možnost využití tepla na vyhřívání sušárny. Dále jsou provozní náklady do značné míry závislé na vstupní sušině odvodněného kalu.

Přestože dochází během provozu zařízení k úniku prachových částic, zejména z prostoru uskladnění kontejnerů na vysušený kal, nedošlo během provozu k porušení bezpečnostních směrnic, ani nebyly řešeny stížnosti na případný zápach v okolí areálu ČOV, což bylo jednou z priorit vzhledem ke skutečnosti, že jsou Karlovy Vary významným lázeňským městem.

Výslednou sušinu vysušeného kalu lze regulovat dvěma způsoby. Prvním je úprava výšky vrstvy kalu umístěného na pás, čímž se změní množství vody, které bude odstraněno za jednotku času, nebo změnou rychlosti pásu, čímž se změní délka setrvání kalu v sušičce. Výsledný produkt se získá automaticky kombinací obou metod. Takový regulační postup je nezbytný pro zajištění řádného vysušení produktu, i když se původní vlastnosti kalu liší. Předpokladem správné funkce sušárny dle dodavatele technologie sušárny je sušina alespoň 23 %. Během provozu bylo zjištěno, že i sušina nad 18 % nezpůsobuje zalepení

pásů a s tím související problémy. Sušárna je takto provozována i s vědomím, že je tím snižována kapacita zpracovávaného odvodněného kalu a zvyšují se tím i provozní náklady. V rámci optimalizace provozu sušárny bude nutné se v blízké době zaměřit na kvalitu odvodněného kalu, neboť náklady na vysušení kalu významně stoupají s klesající vstupní sušinou odvodněného kalu.

Pro eliminaci problémů s odstáváním zařízení sušárny z důvodu nevyhovující kvality chladicí vody, lze navrhnout sledování množství nerozpuštěných látek na odtoku z ČOV, případně zajistit účinnější filtraci vody v zásobní jímce např. využitím membránových ultrafiltračních modulů.

Veškeré dlouhodobější odstávky sušárny nejsou v současné době takový problém, a to vzhledem ke skutečnosti, že legislativa stále ještě umožňuje likvidaci odvodněného kalu např. na rekultivaci skládek.

## 6 Závěr

Vzhledem k legislativním změnám v oblasti problematiky nakládání s odpady v důsledku implementace principů cirkulární ekonomiky jsou provozovatelé čistíren odpadních vod nuceni hledat řešení, které je technicky a ekonomicky přijatelné a dlouhodobě udržitelné. Přeměna odpadu na surovinu, která by byla využitelná v zemědělství, nebo pro energetické využití, nebo materiálové využití ve stavebnictví, případně jako suroviny pro výrobu nedostatkového fosforu, ještě není v České republice zcela vyřešena. Problémem je povolování těchto zařízení příslušnými státními orgány, zejména pokud se tyto zařízení navrhují v zastavěných městských oblastech, tedy v místě produkce odvodněného kalu, které je pro provozovatele samozřejmě výhodnější. Dalším limitem je energetická náročnost na provoz takového zařízení v případě, že na této ČOV nedochází k produkci bioplynu. Řešení v podobě spalovny/kotelny na vysušený kal, která by sloužila pro vytápění sušárny je zatím problematické jak finančně, tak legislativně. V současné době společnost Vodakva připravuje další projekt na výstavbu nízkoteplotní sušárny a v další etapě i spalovny v Tachově. Stavba této sušárny by měla vyřešit zpracování kalů z provozovaného území Tachovka a Stříbska a měla by být zahájena v roce 2021. Dodavatelem bude také firma STC - Aquatec.

## 7 Seznam použité literatury

1. Bindzar J., Ph.D. a kol., 2009. Základy úpravy a čištění vod. VŠCHT, Praha, s 251.
2. Jeníček P. 2019, Zpracování kalů v cirkulární ekonomice (online) [cit. 28. 12. 2020]. <<https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-05/8%20-%20Jen%C3%AD%C4%8Dek%20Kaly%20v%20CE.pdf>>
3. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění.
4. Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, v platném znění.
5. Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, v platném znění.
6. Vyhláška č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, v platném znění.
7. TNV 75 8090 (758090). 2015. Hygienizace kalů v čistírnách odpadních vod. Hydroprojekt, Praha.
8. Hall J. E., 1995. Sewage Sludge Production, Treatment and Disposal in the European Union. *Water and Environment Journal*. **9**(4): 335-343
9. Směrnice rady 91/271/EHS: o čištění městských odpadních vod.
10. Směrnice rady 86/278/EHS: o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství.
11. The Czech Water Association, CZWA: © 2019: Směrnice EU o čistírenských kalech (86/278), [cit. 28. 12. 2020]. <<https://www.czwa.cz/smernice-eu-o-cistirenskych-kalech-86-278-CZ387>>
12. Směrnice rady 91/676/EHS: o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů.
13. Směrnice Rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999
14. Směrnice EP a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000
15. Ministerstvo životního prostředí, MŽP: © 2008–2020: Optimalizace nakládání s kaly z komunálních čistíren odpadních vod: Oddíl I, Analytická část. Praha, 2015 [cit. 30. 12. 2020] <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty\\_po8\\_opzp\\_2007\\_2013/\\$FILE/OO-DP-Oddil\\_I\\_1\\_Analyticka%20cast-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OO-DP-Oddil_I_1_Analyticka%20cast-20160810.pdf)>
16. Shi C. Y., 2011: Mass flow and energy efficiency of municipal sewage treatment plant. Intl Water Assn, London.



17. Hartig K., 2017: Problematika kalového hospodářství. Vodnihospodarstvi.cz (online) [cit. 25. 12. 2020].  
<<http://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi/>>
18. Teoh S. K, Li L.Y., 2020. Feasibility of alternative sewage sludge treatment methods from a lifecycle assessment (LCA) perspective, *Journal of Cleaner Production*, **247**:119495
19. Metcalf & Eddy Inc., 2013. *Wastewater engineering: Treatment and Resource Recovery*. McGraw-Hill, USA. 2048 s.
20. Grady C.P.L, Daigger G.T., Love N. G.,Filipe C.D.M., 2011. *Biological Wastewater Treatment*. IWA Publishing, London. 991 s
21. Wanner F., 2019: Nakládání s čistírenskými kaly v České republice (online) [cit. 27.12.2020]  
<<https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-11/SOVAK%20C4%8CR%20Studie%20nakl%C3%A1d%C3%A1n%C3%AD%20s%20%C4%8Dist%C3%ADrensk%C3%BDmi%20v%20%C4%8CR%20FINAL.pdf>>
22. Gopinath A., Divyapriya G., Srivastava V., Laiju A.R., Nidheesh P.V., Kumar M.S., 2021: Conversion of sewage sludge into biochar: A potential resource in water and wastewater treatment. *Environmental Research*, **194**:110656.
23. Schnell M., Horst T., Quicker P., 2020: Thermal treatment of sewage sludge in Germany: A review, *Journal of Environmental Management*, **263**:110367
24. Kočí P., 2019. *Chemické inženýrství I, VŠCHT, Praha*, s 322
25. Raček J., Doskočil B., Ševčík J, Chorazy T., Hlavínek P., 2018: Sušení čistírenského kalu pro podmínky České republiky (online) [cit. 5. 3. 2021]  
<<https://www.vodovod.info/index.php/kanalizace-a-cov/388-suseni-cistirenskeho-kalu-pro-podminky-ceske-republiky#.YE5AVp1KhPY>>
26. Hartig K., 2017: Problematika kalového hospodářství – sušení kalů, Vodnihospodarstvi.cz (online) [cit. 1. 3. 2021]  
<<https://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi-2/>>
27. Hlavínek P., Zwettler O., Ševčík J., Raček J., Chorazy T., 2019> Koncepční přístup návrhu pásových sušáren čistírenského kalu pro středně velké zdroje znečištění. *Vodní hospodářství* (online) [cit 5. 3. 2021].  
<<https://www.vodovod.info/index.php/kanalizace-a-cov/417-koncepcni-pristup-navrhu-pasovych-susaren-cistirenskeho-kalu-pro-stredne-velke-zdroje-znecisteni#.YE5Cx51KhPY>>
28. Vodakva, 2020: Provozní řád ČOV Karlovy Vary. Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a.s.
29. Vodakva, 2016: Provozní řád – ČOV Karlovy Vary – sušárna kalu. Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a.s.

## **8 Přílohy**

### **Seznam obrázků**

- Obr. 1 Produkce (tuny sušiny) a způsob nakládání s čistírenskými kaly v ČR v letech 2009-2018
- Obr. 2 Zjednodušené blokové schéma ČOV Karlovy Vary
- Obr. 3 Vyhnivací nádrže na ČOV Karlovy Vary
- Obr. 4 Princip odstředivky - 1) vstup kalu s flokulantem do odstředivky (v bubnu se oddělí pevné částice od vody). 2) oddělená voda (fugát) 3) odvodněný kal
- Obr. 5 Cisterna pro převážení kalů z čistíren odpadních vod
- Obr. 6 Schéma nízkoteplotní pásové sušárny
- Obr. 7 Rozdělení sušárny na jednotlivé moduly
- Obr. 8 Schéma modulu O v řídicím systému PLC
- Obr. 9 Sušící moduly - hlavní ventilátory, pomocné ventilátory, výměníky tepla pro topnou vodu, výměníky tepla pro chladicí vodu, vodní okruhy, deodorizační potrubí
- Obr. 10 Schéma sušícího modulu v řídicím systému PLC
- Obr. 11 Další parametry sušárny
- Obr. 12 Opatřebovaný rotor podávacího čerpadla Seepex
- Obr. 13 Původní dopravník vysušeného kalu
- Obr. 14 Nový dopravník vysušeného kalu
- Obr. 15 Zanesené síto (1 mm) z jímky na provozní/chladicí vodu
- Obr. 16 Desky výměníku Tranter zanesené kalem

### **Seznam grafů**

- Graf č. 1 Vývoj poměru produkce vysušeného a odvodněného kalu (odvezeného) v letech 2016-2020
- Graf č. 2 – Podíl dovážených kalů z ostatních ČOV v odvodněných kalech

### **Seznam tabulek**

- Tab. 1 Projektované parametry zatížení ČOV Karlovy Vary
- Tab. 2 Vývoj produkce vysušeného a odvodněného kalu v letech 2016-2020
- Tab. 3 Parametry odvodněného kalu – základní statistika z 63 hodnot z období 2016-2020

### Seznam použitých zkratek

BRO	biologicky rozložitelný odpad
ČOV	čistírna odpadních vod
KTJ	kolonie tvořící jednotky
EIA	z ang. Environmental Impact Assessment (posuzování vlivu na životní prostředí)
D-N	system denitrifikace - nitrifikace
EO	Ekvivalentní obyvatel
$Q_d$	denní přítok
$k_d$	koefficient denní nerovnoměrnosti
DN	dosazovací nádrž
UN	usazovací nádrž
DZ	dešťová zdrž
ČS	čerpací stanice
VN	vyhnívací nádrž