

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**  
**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**  
**KATEDRA GEOENVIRONMENTÁLNÍCH VĚD**

**ENERGETICKÁ BILANCE ČISTÍRNY ODPADNÍCH**  
**VOD**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: prof. RNDr. Vladislav Chrastný, Ph.D.**

**Diplomant: Bc. Kamila Stibůrková**

**2020**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Kamila Stibůrková

Krajinné inženýrství

Regionální environmentální správa

Název práce

**Energetická bilance čistírny odpadních vod.**

Název anglicky

**Energy balance of waste water treatment plant**

---

### Cíle práce

Cílem práce je zjistit energetickou bilanci jednotlivých technologických kroků čistírny odpadních vod na příkladu lokality Vlašim a porovnat jí s naměřenou bilancí čistírny odpadních vod v Benešově.

### Metodika

Metodiky vychází z naměřených dat z čistírny odpadních vod ve Vlašimi a Benešově. Měřit se bude energetická náročnost jednotlivých technologických kroků.

## **Doporučený rozsah práce**

40 stran

## **Klíčová slova**

odpadní voda, energetická náročnost, čistírna odpadních vod

---

## **Doporučené zdroje informací**

Crawford, G., Sandino, J.: energy Efficiency in Waste Water Treatment in North America: A Compendium of Best Practices and Case Studies of Novel Approaches. IVA Publishing, London 2010, 122 pp.

Databáze Scopus

Datábáze Web of Science



---

## **Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FŽP

## **Vedoucí práce**

prof. RNDr. Vladislav Chrastný, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra geoenvironmentálních věd

## **Konzultant**

Doc. Mgr. Lukáš Trakal, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2018

**prof. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2018

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 31. 05. 2020

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Energetická bilance čistírny odpadních vod vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze 31.05.2020

.....  
Bc. Kamila Stibůrková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji především panu prof. RNDr. Vladislavu Chrastrnému, Ph. D., vedoucímu této práce za cenné informace při zpracování této diplomové práce, jeho čas a přístup k problematice.

Další poděkování patří Vodohospodářské společnosti Benešov, s.r.o. za poskytnutí materiálů, zpracování laboratorních analýz a cenné připomínky a společnosti ČEZ Distribuce, a. s. za zapůjčení přístrojů a softwarového vybavení pro zpracování dat.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je založena na analýze naměřených dat z čistírny odpadních vod ve Vlašimi z hlediska energetické bilance. Soustřeďuje se na energetickou náročnost jednotlivých procesů v čistírně odpadních vod. Vlastní experimentální část je zaměřena na měření spotřeby elektrické energie ČOV Vlašim jako celku a spotřeby elektrické energie pro vybrané technologické části – čerpadla čerpací stanice, kompresory, dmychadla pro regeneraci a pro zónu odplynění. Současně s měřením spotřeby elektrické energie probíhalo analytické měření kvality přiváděných odpadních vod a vyčištěné vody (tyto údaje poskytl provozovatel ČOV). Ze získaných údajů o spotřebě elektrické energie a z analytických údajů byly stanoveny specifické spotřeby elektrické energie pro odstranění přiváděného biochemicky odbouratelného znečištění. Byly také vyhodnoceny roční spotřeby elektrické energie (údaje společnosti ČEZ předávané provozovateli). Bylo provedeno vyhodnocení stávající dosahované sušiny odvodněného kalu v souvislosti s možnou energetickou úsporou při instalaci nového výkonnějšího odvodňovacího zařízení.

Výsledkem je porovnání specifických spotřeb elektrické energie pro odstranění biochemicky odbouratelného materiálu na ČOV Vlašim a na ČOV Benešov. Dalším výsledkem je doporučení pro obnovu odvodňovacího zařízení ČOV.

## **ABSTRACT**

The thesis is based on the analysis of measured data from the wastewater treatment plant in Vlašim in terms of energy balance. It focuses on the energy intensity of individual processes in a wastewater treatment plant. The actual experimental part is focused on measurement of electricity consumption of WWTP Vlašim as a whole and electricity consumption for selected technological parts – the pumps in pumping station, compressors, blowers for regeneration and for degassing zone. Simultaneously with the measurement of electricity consumption, analytical measurement of the quality of inlet waste water and treated water was carried out (these data were provided by the WWTP operator). Specific electricity consumption for the removal of the biochemically degradable contamination was determined from the obtained data on electricity consumption and from analytical data. Annual electricity consumption was also evaluated (data provided by ČEZ to operators). An evaluation of the existing achieved dry matter in dewatered sludge was carried out in connection with the possible energy savings when installing a new, more efficient dewatering equipment.

The result is a comparison of specific electricity consumption for removal of biochemically degradable material at the WWTP Vlašim and at the WWTP Benešov. Another result is the recommendation for the installation of a new dewatering equipment.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Čistírna odpadních vod, Energetická bilance, Odpadní vody, Spotřeba energie

## **KEY WORDS**

Waste water treatment plant, Energy balance, Waste water, Energy consumption



## OBSAH

1. ÚVOD .....	1
2. CÍLE PRÁCE .....	3
3. METODIKA.....	4
3.1. Stanovení energetické náročnosti pro vyčištění 1 m <sup>3</sup> odpadní vody.....	4
3.2. Měření specifické energetické spotřeby jednotlivých okruhů.....	4
3.3. Měření průtoků .....	6
3.4. Laboratorní analýzy .....	7
3.4.1. Specifická spotřeba elektrické energie na odstranění BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .	7
4. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	8
4.1. Technologická část.....	8
4.1.1. Popis technologické linky ČOV Vlašim a hlavní parametry čistírenských objektů ČOV .....	10
4.1.2. Čerpací stanice.....	11
4.1.3. Mechanické předčištění .....	11
4.1.4. Denitrifikační nádrže.....	12
4.1.5. Regenerace kalu .....	12
4.1.6. Dávkování externího substrátu .....	13
4.1.7. Aktivační nádrž.....	14
4.1.8. Odplyňovací nádrže.....	14
4.1.9. Dosazovací nádrže.....	15
4.1.10. Zahušťovací nádrž .....	16
4.1.11. Vyhnívací a uskladňovací nádrže.....	16
4.1.12. Strojovna odvodnění .....	16
4.1.13. Srážení fosforu.....	17
4.1.14. Velín .....	17
4.1.15. Řídící a informační systém.....	18
4.2. Vybraná strojní zařízení a jejich jmenovitý výkon.....	19

4.3.	Hodnocení energetické bilance.....	20
4.3.1.	Benchmarking .....	20
4.3.2.	Sledovatelné ukazatele ČOV .....	21
4.3.3.	Hodnocení energetické bilance ČOV ve světovém měřítku .....	21
4.3.4.	Hodnocení energetické bilance ČOV Benešov .....	23
4.4.	Legislativní opatření ve vodním hospodářství .....	23
5.	CHARAKTERISTIKA STUDIJINÍHO ÚZEMÍ .....	25
6.	VÝSLEDKY.....	26
6.1.	Specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m <sup>3</sup> přivedené odpadní vody 26	
6.2.	Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg přivedeného znečištění BSK <sub>5</sub> nebo N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - průměr za rok 2018.....	31
6.2.1.	Stanovení průměrné měsíční specifické spotřeby pro odstranění 1 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> : 31	
6.2.2.	Stanovení průměrné měsíční specifické spotřeby pro BSK <sub>5</sub> : .....	33
6.3.	Stanovení průtoků ve sledovaném období .....	34
6.4.	Naměřená okamžitá spotřeba elektrické energie pro vybrané technologické celky 35	
6.5.	Porovnání průtoků ČOV s celkovou spotřebou elektrické energie.....	38
6.6.	Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg přivedeného znečištění - měření 2019.....	40
6.6.1.	Specifická spotřeba elektrické energie - celková spotřeba ČOV vztahovaná na odstranění 1 kg BSK <sub>5</sub> nebo N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	41
6.6.2.	Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg přivedeného znečištění BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - měření 2019, rozdělení dle spotřeby kyslíku .....	42
6.7.	KAL .....	45
7.	DISKUSE.....	46
7.1.	Shrnutí průměrných měsíčních specifických spotřeb pro odstranění 1 kg BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (údaje pro rok 2018) .....	46
7.2.	Spotřeba energie ČOV .....	46

7.3. Porovnání průměrné naměřené spotřeby se štítkovými výkony jednotlivých technologických celků .....	49
7.4. Porovnání s ČOV Benešov .....	49
7.5. Sušení kalu.....	52
8. ZÁVĚR .....	53
9. PŘEHLED LITERATURY.....	55
10. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	58
11. SEZNAM TABULEK.....	59
12. PŘÍLOHY .....	61

## 1. ÚVOD

Problematika čistíren odpadních vod versus energetická náročnost je velice rozsáhlé téma. V posledních letech je často kladen důraz na efektivnost, vynaloženou energii a s ní spojené náklady pro provoz. Ve všech vodárenských procesech je spotřeba energie a účinnost jednotlivých zařízení klíčovým bodem již od fáze projektu. Cena za energie má v současné době stále vzrůstající trend, proto je potřeba zanalyzovat dosavadní stav energetické náročnosti jednotlivých procesů a navrhnout možnosti na vylepšení, popř. je porovnat s výsledky z jiných lokalit na podobných zařízeních a konstruovat strategii na jejich vylepšení.

Zájmem mé diplomové práce je energetika. Respektive energetická bilance čistírny odpadních vod ve Vlašimi, která funguje na principu deep shaft, což je unikátní modifikace systému biologického čištění aktivovaným kalem. Hlavním přínosem použití této hlubinné aktivace je zvýšení podílu rozpuštěného kyslíku potřebného pro biologické aktivity. Soustředuji se zejména na energetickou náročnost jednotlivých procesů na ČOV jako je čerpání přiváděných odpadních vod, odplynění, aktivace a regenerace.

Téma energetická bilance čistírny odpadních vod jsem volila především proto, abych spojila pojem energetika s pojmem vodního odpadového hospodářství. Pro tento výzkum jsem si zvolila ČOV Vlašim jejímž provozovatelem je Vodohospodářská společnost Benešov, s.r.o. Ta již v minulosti poskytla údaje pro vypracování podobného projektu na ČOV Benešov, jehož cílem bylo porovnat energetickou bilanci ČOV Benešov před rekonstrukcí a po ní. Výsledná data o energetické náročnosti jednotlivých procesů mohou být přínosem pro provozovatele z hlediska porovnání a úvah nad vylepšením zařízení.

Dalším důvodem pro volbu tohoto tématu je navržení účinnějšího zařízení pro odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu. Vzhledem k tomu, že odvodněný kal je v současné době odvážen k likvidaci na zemědělskou půdu, dosahovaná sušina 18,1 % splňuje podmínky pro tento typ likvidace. V blízké budoucnosti však bude odvodněný kal odvážen na připravované regionální kalové centrum s nízkoteplotní sušárnou, u které je nejdůležitějším kritériem pro přijímání do zařízení celková sušina kalu.

V diplomové práci jsem se v hlavní části zaměřila na zjištění energetické náročnosti pro čištění odpadních vod, zejména pak potřebná energie pro vyčištění přivedeného množství odpadních vod (energie vztažená na vyčištění přivedeného objemu odpadních vod), odstranění organického zatížení ( $BSK_5$ ) a amoniakálního zatížení ( $N-NH_4^+$ ). V procesu čištění odpadních vod jsou totiž energeticky nejvíc náročné oxidační procesy (odbourání  $BSK_5$  a  $N-NH_4^+$ ).

## 2. CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je stanovení energetické bilance čistírny odpadních vod ve Vlašimi. Myšleno tím celkovou elektrickou energii na přívodu do ČOV vztaženou na množství vyčištěné vody. Porovnat měsíční průtoky ČOV Vlašim s měsíčními údaji o celkové spotřebě elektrické energie a stanovení spotřeby elektrické energie na vyčištění  $1\text{m}^3$  vody.

Pro vlastní experimentální část této práce je cílem stanovit energetickou spotřebu hlavních technologických celků ČOV, na základě měřených dat stanovit jejich spotřebu, a to měření okamžitých příkonů na vybraných zařízeních (energeticky náročné vybrané technologické části jsou: dmychadla regenerace, dmychadla odplynění, kompresory pro deep shaft a čerpadla čerpací stanice).

Dalším cílem je stanovení specifické spotřeby elektrické energie pro odbourání  $\text{BSK}_5$  a  $\text{N-NH}_4^+$ . Tyto hodnoty pak porovnat s naměřenými hodnotami na ČOV Benešov.

Dílčím cílem této práce je zhodnotit stávající technologickou linku odvodnění anaerobně stabilizovaných kalů s ohledem na zpřísňující se legislativu v odpadovém hospodářství. Odvodněný kal je v současné době odvážen k likvidaci na zemědělskou půdu, v blízké budoucnosti pak bude odvážen na připravované regionální kalové centrum s nízkoteplotní sušárnou, u které je nejdůležitějším kritériem pro přijímání do zařízení celková sušina kalu. Stávající odvodňovací zařízení neumožňuje dosáhnout požadované sušiny pro nízkoteplotní sušárnu. Za tímto účelem bude vyhodnocena energetická bilance, která by ukázala výhodnost investice do takového zařízení (např. odstředivka), u kterého by dosahovaná sušina „poskytla“ následnou nižší energetickou náročnost pro sušení.

### **3. METODIKA**

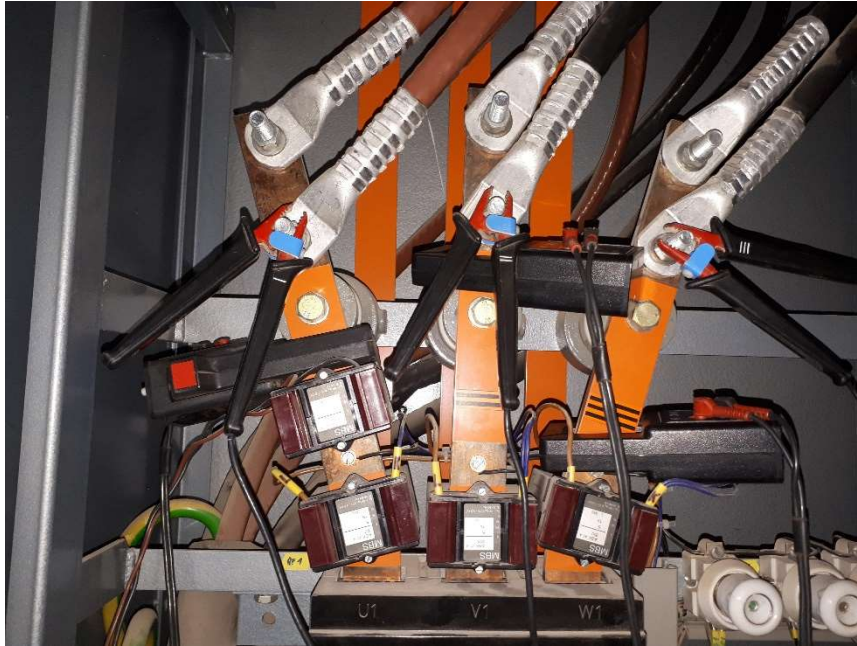
#### **3.1. Stanovení energetické náročnosti pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody**

Z poskytnutých údajů od provozovatele ČOV byla stanovena energetická náročnost pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody (Kavalír et al. 2014). Byly k dispozici údaje celkových měsíčních spotřeb elektrické energie ČOV a měsíční hodnoty průtoků ČOV pro období 2014 – 2018.

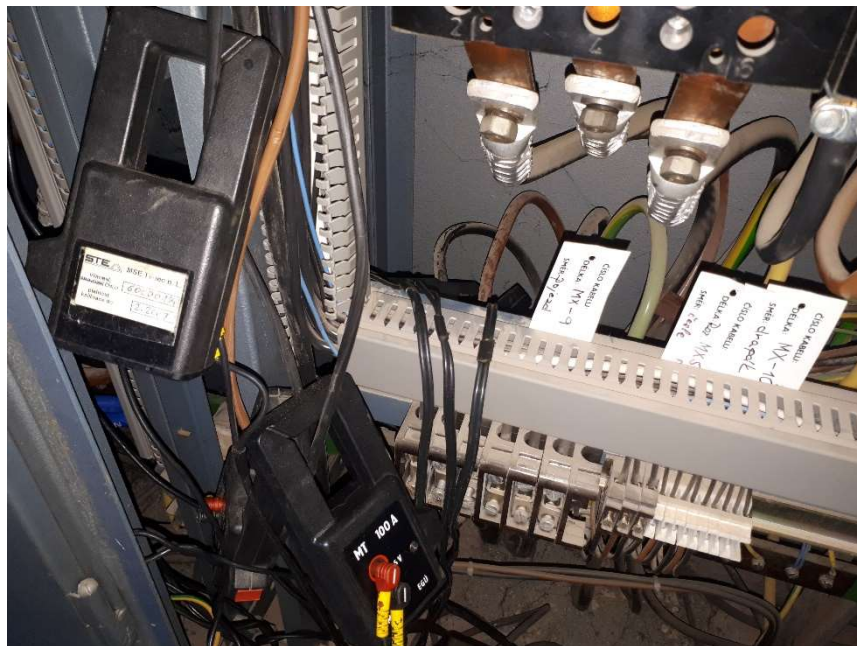
Rok 2019 zde není uveden, jelikož v tuto chvíli ještě nejsou dostupná potřebná data z konce roku 2019 a výsledná hodnota by byla pouze dopočtena na základě předchozích měsíčních údajů a nevyjadřovala by přesný výsledek.

#### **3.2. Měření specifické energetické spotřeby jednotlivých okruhů**

Pro stanovení okamžité spotřeby ČOV byl měřen celkový příkon do ČOV a současně k tomu byly měřeny aktuální spotřeby jednotlivých technologických celků. Energeticky nejnáročnějšími procesy na ČOV je především provzdušňování aktivačních nádrží (energie potřebná pro oxidaci přivedených látek mikroorganismy) a dále pak čerpání vody. Proto byly vybrány technologické celky, které přímo s těmito procesy souvisí. Jednalo se o měření spotřeby kompresoru, který vhání vzduch do hloubkové aktivační nádrže (deep shaft), o měření spotřeby dmychadel, jejichž energie zajišťuje provzdušnění a vnos kyslíku do regenerační nádrže a spotřeby dmychadel, poskytující vzduch do odplyňovací zóny a nakonec také o měření energie potřebné pro čerpání přiváděných odpadních vod na ČOV (spotřeba čerpadel v hlavní čerpací stanici). Paralelně při tomto měření byl sledován průtok ČOV a kvalita přiváděných a vyčištěných odpadních vod, aby mohla být stanovena látková bilance a účinnost odstranění přiváděného znečištění. Měření činného výkonu jednotlivých okruhů ČOV probíhalo měřicími přístroji MDS1 (monitor distribučních sítí; výrobní číslo 3220) a MDS5 (monitor distribučních sítí; výrobní číslo 0026) značky EGÚ Brno a probíhalo v období od 14. 10. 2019 od 17 hodin do 21. 10. 2019 do 9 hodin. Dobu měření omezovala kapacita interní paměti měřících přístrojů. Přístroje zapůjčila společnost ČEZ Distribuce a.s. a byly instalovány odpovědnou osobou s příslušným oprávněním dle Vyhlášky č.50/1978 Sb. Ukázky instalace lze vidět na následujících fotografiích (obr. 1, 2 str. 5; obr. 3 str. 6).



obr. 1: Osazení klešťových měřáků na hlavním přívodu do ČOV



obr. 2: Osazení klešťových měřáků na přívod pro čerpací stanici





obr. 3: Osazení klešťových měřáků na přívod pro regeneraci

Na jednotlivé fáze byly umístěny klešťové měřáky, které snímaly fyzikální veličiny jednotlivých okruhů (proud a napětí). Pro účel této diplomové práce byl měřen činný výkon jednotlivých fází na celkovém přívodu do ČOV, čerpací stanici, odplynění, kompresoru a regeneraci. Tyto okruhy byly vybrány jako nejpodstatnější z hlediska toku elektrické energie v ČOV.

### 3.3. Měření průtoků

Současně s měřením energetické spotřeby jednotlivých okruhů byl sledován celkový průtok ČOV, který je měřen ultrazvukovou sondou v Parschalově žlabu na odtoku z ČOV (ultrazvuková sonda UZV 400 a vyhodnocovací jednotka ELA Brno). Záznamy z této jednotky poskytují průměrné pětiminutové průtoky v  $l \cdot s^{-1}$ , ze kterých pak byly vypočteny hodinové průtoky ČOV. Data byla ručně přepisována do deníku a dále zpracovávána v programu MS Excel.

Data z průtokoměru byla zpracována pro období od 14. 10. 2019 od 0:00 hodin do 21. 10. 2019 do 23:55 hodin. Pro další zpracování byla použita data z období od 14. 10. 2019 od 17 hodin do 21. 10. 2019 do 9 hodin, stejně jako tomu bylo u měření energetické spotřeby jednotlivých okruhů.

### 3.4. Laboratorní analýzy

Laboratorní analýzy byly prováděny ve spolupráci s laboratoří provozovatele dle zákona č. 58/1998 Sb. a prováděcí vyhlášky MŽP č. 47/1999 Sb přímo určují jednotlivé typy směsných vzorků. Byly odebírány 24 hod slévané vzorky na přítoku a odtoku z ČOV (sledované hodnoty byly pH, BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>, NL, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ncelk a Pcelk). Byly provedeny celkem 3 slévané 24hodinové odběry v průběhu týdne (úterý–pátek) a 1 odběr o víkendu (sobota – neděle), a to v době, kdy probíhalo měření spotřeby elektrické energie.

Získané naměřené hodnoty činného výkonu, průtoku a laboratorních analýz kvality vody poskytly vstupní údaje pro stanovení specifické spotřeby energie pro odstranění přiváděného znečištění.

#### 3.4.1. Specifická spotřeba elektrické energie na odstranění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Nejdůležitějším krokem v problematice čištění odpadních vod je odstranění organické (BSK<sub>5</sub>) a amoniakální (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) složky (Crawford et al. 2010).

Byly zvoleny 2 přístupy ke získání těchto informací. Prvním bylo stanovení specifické spotřeby elektrické energie na odstranění 1 kg znečištění (BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), spočítáno jako celková spotřeba elektrické energie pro ČOV vztažená na odstranění 1 kg znečištění. Druhým způsobem pak bylo stanovení specifické spotřeby počítáno pouze ze spotřeby energií těch zařízení, která se bezprostředně podílejí na vnosu kyslíku, a tedy na oxidaci přiváděného znečištění (kompresor, odplynění a regenerace). Z literatury je známo, že pro městské odpadní vody se uvažuje spotřeba 0,5 kg O<sub>2</sub> na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub>. Pro oxidaci 1 kg amoniakálního dusíku na dusičnany je spotřeba 4,33 kg O<sub>2</sub>. Přestože známe odstraněné množství sledovaných ukazatelů v kg, je nutné přepočítat tyto hodnoty na kyslíkové ekvivalenty. Spotřebu elektrické energie pak poměrně rozdělíme mezi BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Chudoba et al. 1991).

Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg znečištění (BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) bude stanovena z dat pro rok 2018 dle prvního přístupu stanovení. Při měření spotřeby jednotlivých zařízení bude použito obou přístupů a budou porovnány.

## 4. LITERÁRNÍ REŠERŠE

Energetická spotřeba ČOV je v poslední době často skloňována, neboť je stále vyvíjen silnější tlak na úsporu energie v tomto odvětví. Pro tyto účely je nezbytné znát veškeré parametry a principy jednotlivých energetických zařízení na ČOV (Holba et al. 2012).

Literární rešerše je rozdělena na 4 části. První je technologická část, následuje shrnutí jmenovitých výkonů vybraných strojních zařízení, hodnocení energetické bilance a v poslední řadě se věnuje legislativním opatřením ve vodním hospodářství.

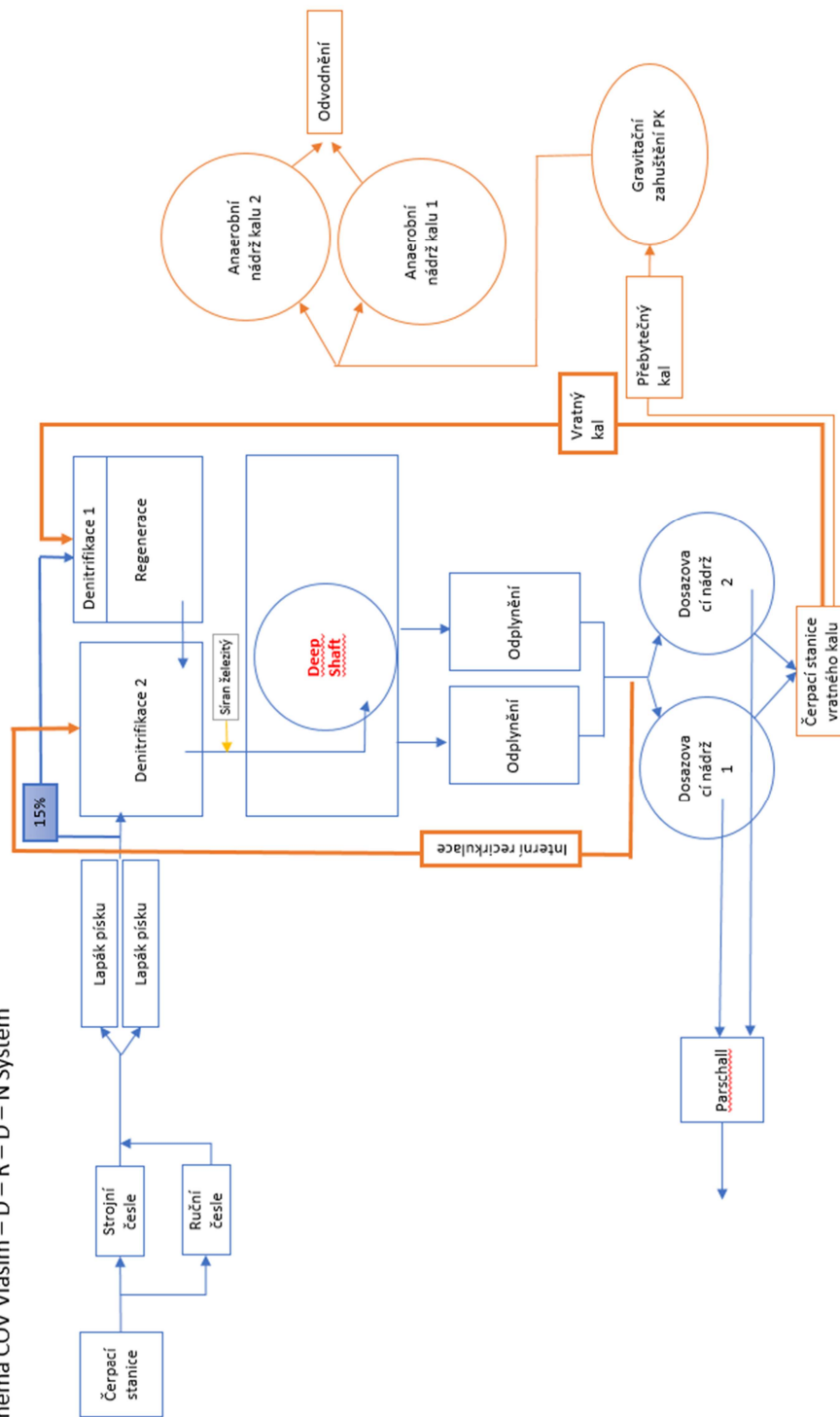
### 4.1. Technologická část

Technologická linka ČOV Vlašim je řešena klasickým způsobem obvyklým pro systémy biologického čištění odpadních vod aktivačním procesem. Výjimku tvoří biologický nitrifikační reaktor, který je proveden jako šachtová aktivace, tzv. „Deep-shaft proces“ s odplyňovací sekcí zařazenou za vlastní šachtovou aktivací. Aktivační systém je řešen jako D-R-D-N systém, což je systém, kde je vratný kal z dosazovací nádrže regenerován v provzdušňovaném reaktoru s tím, že se vstupní část regenerační zóny provozuje v anoxickém režimu, což je žádoucí proto, aby nebyl do předřazeného anoxického reaktoru přiváděn kyslík. Odpadní vody jsou po hrubém předčištění sestávajícím z velmi jemných automaticky čištěných česlí a dvoukomorového provzdušňovaného lapáku písku přiváděny do denitrifikačního reaktoru, kam je zároveň zaústěna interní recirkulace aktivační směsi z odplyňovací zóny (obr. 4, str. 9)

Aktivační směs z denitrifikačního reaktoru přepadá, spolu s odtokem z regenerace, do nátoky na nitrifikační reaktor realizovaný ve formě šachtové aktivace. Po průchodu šachtovou aktivací je aktivační směs přiváděna do dvojice paralelně protékajících odplyňovacích nádrží a následně rozdělována na dvě kruhové horizontálně protékané dosazovací nádrže se stíráním dna i hladiny. Aktivovaný kal usazený na dně obou dosazovacích nádrží je čerpán zpět do regenerační nádrže jako vratný kal. Do nátoky aktivační nádrže (deep shaft) je dávkován síran železitý za účelem dosažení zvýšené eliminace sloučenin fosforu.

Na technologickou linku aktivačního procesu navazují satelitní objekty kalového hospodářství. Přebytečný kal je gravitačně zahušťován a stabilizován studeným vyhníváním. Stabilizovaný kal je odvodňován na sítopásovém lisu.

Schéma ČOV Vlašim – D – R – D – N System



obr. 4: Schéma ČOV Vlašim (Vidra 2019)

Pro kapitoly 4.1.1 až 4.1.15. byly použity interní zdroje provozovatele ČOV, které nikdy nebyly publikovány a slouží k interní potřebě provozovatele. Hlavním zdrojem byl Provozní řád ČOV Vlašim zpracovaný Ing. Marií Fialovou 2007, naposledy aktualizovaný v roce 2019.

#### **4.1.1. Popis technologické linky ČOV Vlašim a hlavní parametry čistírenských objektů ČOV**

Princip čištění odpadních vod je založen na mechanickém předčištění a biologickém čištění heterogenním biologickým kalem udržovaným ve vzhledu – aktivaci s předřazenou denitrifikací. Zdrojem uhlíku pro procesy denitrifikace je samotné organické znečištění odpadní vody. Nízkozatížená aktivace umožňuje aerobní stabilizaci kalu.

Odpadní vody jsou vedeny k mechanickému předčištění, které se skládá z jemných stejně stíraných česlí s lisem na shrabky a ručně stíraných česlí v obtokovém kanálu. Následujícím objektem mechanického předčištění je provzdušňovaný zdvojený lapák písku pro zachycení písčitých látek přinášených odpadní vodou. U lapáku je umístěna zdvojená jímka pro odvodnění písku a vybírání jímek zajišťuje strojně ovládaný drapák do přistaveného kontejneru. Za objektem lapáku písku je umístěna rozdělovací šachta pro případ obtoku biologické části ČOV.

Na objekt lapáku písku navazuje nádrž denitrifikace a regenerace vratného kalu stavebně umístěné v jednom celku. Denitrifikace se po provedené intenzifikaci ČOV skládá ze dvou částí: Denitrifikace I - anoxická část regeneračního tanku, do které je odděleno 15 % přítoku odpadních vod, a do které je zaústěn vratný kal z dosazovacích nádrží. Směs dále natéká přes regenerační sekci do denitrifikace II.

Denitrifikace II – původní denitrifikační nádrž, do které je přivedeno 85 % přítoku odpadních vod a je do ní zaústěna vnitřní recirkulace a nátok z regenerační sekce.

Před denitrifikační nádrží II je instalována zásobní nádrž a dávkovací zařízení pro dávkování externího substrátu pro účely podpoření biologické denitrifikace a snížení odtokových koncentrací celkového anorganického dusíku. Jako externí substrát je dávkován úkapový ethanol o koncentraci cca 96 %. Dávkování externího substrátu bude využíváno pouze v období, ve kterém by koncentrace celkového dusíku na odtoku ČOV přesahovala povolený limit a dále v případě, změní-li se v budoucnu množství a kvalita přiváděných odpadních vod.

Z denitrifikační nádrže II odtéká směs přes přelivnou hranu do šachtové aktivační nádrže, která plní úlohu nitrifikace. Čištění odpadních vod v hluboké šachtě je modifikací jemnobublinné aerace za využití vysokého hydrostatického tlaku. Horní záhlaví šachty je ukončeno otevřenou nádrží, která má hydraulickou a odplyňovací funkci. Na aktivační nádrž navazuje nádrž odplyňovací, která se skládá ze dvou sekcí, a kde dochází k sekundárnímu odplynění provzdušněné směsi před jejím přítokem na dosazovací nádrže.

Jedná se o dvě kruhové dosazovací nádrže, které slouží k separaci aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody, která dále odtéká odtokovým potrubím přes měrný objekt do recipientu – řeky Blanice. Před nátokem aktivační směsi do dosazovacích nádrží je dávkován koagulant síran železitý za účelem srážení fosforu. Dosazovací nádrže jsou vybaveny stíracím zařízením odsazeného kalu a stíráním hladiny. Odsazený kal ze dna dosazovacích nádrží je jednak čerpán jako vratný kal přes denitrifikaci II do regenerační nádrže, jednak čerpán jako přebytečný kal do zahušťovací nádrže.

Zahuštěný kal je čerpadlem dopravován do vyhnívací a uskladňovací nádrže a následně odvodňován na lince strojního odvodnění kalu. Skládá se z odvodňovací linky s příslušenstvím, chemického hospodářství a dopravníku na vylisovaný kal.

Kalová voda je vedena zpět do čistícího procesu – do denitrifikační nádrže. Odvodněný kal je předáván odborné firmě pro další využití v zemědělství.

#### **4.1.2. Čerpací stanice**

Odpadní vody jsou na ČOV přiváděny stokami AII a K, které jsou zaústěny do čerpací stanice ČOV. Objekt ČS slouží také jako dešťový oddělovač, na ČOV je čerpáno pouze množství  $1 + 3 Q_{24}$ , ostatní vody při dešťovém přívalu odtékají přes přepadovou hranu novým obtokem do vodoteče. K čerpání odpadních vod jsou použita 3 čerpadla firmy Hidrostat, typ E 125 - L2R o jednotkovém výkonu 55 l/s.

#### **4.1.3. Mechanické předčištění**

Odpadní vody jsou vedeny k mechanickému předčištění, které se skládá z jemných strojně stíraných česlí Hydropress o šířce 600 mm s navazujícím lisovacím pístovým dopravníkem HP 150/500. Na obtoku česlí jsou umístěny ručně stírané česle s průlinami 30 mm.

Následujícím objektem mechanického předčištění je dvoukomorový typový provzdušňovaný lapák písku LPP- 2, 4 - 12 pro zachycení písčitých látek přinášených odpadní vodou. U lapáku je umístěna zdvojená jímka pro odvodnění písku a vybírání jímek zajišťuje strojně ovládaný drapák do přistaveného kontejneru. Za objektem lapáku písku je umístěna rozdělovací šachta pro případ obtoku biologické části ČOV. Za hrubým předčištěním je umístěn obtok pro případné odstavení biologické části.

#### **4.1.4. Denitrifikační nádrže**

Na objekt lapáku písku navazuje nádrž denitrifikace a regenerace vratného kalu stavebně umístěné v jednom celku. Denitrifikace se po provedené intenzifikaci ČOV skládá ze dvou částí:

**Denitrifikace I** - anoxická část regeneračního tanku o objemu 60 m<sup>3</sup>, do které je odděleno 15 % přítoku odpadních vod, a do které je zaústěn vratný kal z dosazovacích nádrží. Směs dále natéká přes regenerační sekci do denitrifikace II.

**Denitrifikace II** - původní denitrifikační nádrž, do které je přivedeno 85 % přítoku odpadních vod a je do ní zaústěna vnitřní recirkulace a nátok z regenerační sekce. Nádrž má rozměry 7, 5 x 7, 5 m, užžitnou výšku 4, 6 m, užžitný objem 260 m<sup>3</sup>. V denitrifikační nádrži je odpadní voda a přiváděná aktivační směs interní recirkulací míchána ponorným míchadlem.

#### **4.1.5. Regenerace kalu**

Odsazený kal ze dna dosazovacích nádrží je jednak čerpán jako vratný kal přes denitrifikaci II do regenerační nádrže, jednak čerpán jako přebytečný kal do zahušťovací nádrže.

Do regenerační nádrže je přiváděn vratný kal z dosazovacích nádrží. Regenerační nádrž je vybavena jemnobublinnými membránovými diskovými elementy Fortex Šumperk typ AME - 260 umístěnými na jednom celoplošném aeračním roštu. Z obou nádrží – denitrifikace a regenerace – je odtok přes přelivnou hranu do vlastní šachtové aktivační.

### ***Strojní a technické vybavení denitrifikačních nádrží a regenerace kalu:***

- **Regenerace kalu**
  - Dmychadlový agregát Kubíček – 2 komplety, 3D 38 B-SE, 7,88 m<sup>3</sup>/min, 11 kW, 60 kPa, 400V, 50 Hz, Vod.hosp. strojírny Velké Losiny
  - Jemnobublinný aerační systém – 2 komplety, KPP rošt, elem. AME 260
  
- **Denitrifikace I:**
  - Axiální ponorné míchadlo s SZ, Typ SR 4620.410, 1,5 kW, 400 V, 50 Hz, 3,6 A, LK Pumpservis s.r.o.
  
- **Denitrifikace II:**
  - Ponorné kalové čerpadlo odpadních vod se ZS, Flyght DP 3068.180 MT, 2 kW, 400V, 50 Hz, 3,6 A, LK Pumpservis s.r.o.
  - Nerezová jímka surových vod – 0,9x0,9x1,5 m, dod. Envi-Pur Tábor s.r.o.
  - Axiální ponorné míchadlo s SZ, Typ SR 4620.410, 1,5 kW, 400 V, 50 Hz, 3,6 A, LK Pumpservis s.r.o.

#### **4.1.6. Dávkování externího substrátu**

Před denitrifikační nádrží II je instalována zásobní nádrž a dávkovací zařízení pro dávkování externího substrátu pro účely podpoření biologické denitrifikace a snížení odtokových koncentrací celkového anorganického dusíku. Jako externí substrát je dávkován úkapový ethanol o koncentraci cca 96 %. Dávkování externího substrátu bude využíváno pouze v období, ve kterém by koncentrace celkového dusíku na odtoku ČOV přesahovala povolený limit a dále v případě, změní-li se v budoucnu množství a kvalita přiváděných odpadních vod.

### ***Strojní a technické vybavení:***

- Dvouplášťová nerezová nádrž - celkový objem 4270 l, průměr vnitřní nádrže 1650 mm, výška pláště vnitřní nádrže 2000 mm dodavatel Envi – Pur Tábor
- Dávkovací čerpadlo – Typ EXBa, E 0417 SB1 0A001, Nerez. prov., 17, 4 l/h, 3, 5 bar, 4, 5 m, 54 W, 2, 1 A, 230 V, 50 Hz, IP 65, Prominent s.r.o. Praha
- Hladinoměr L11/2000/C/N/SP4/Ex včetně napájecího zdroje ZS - 030 Ex, Emkometer s.r.o. Praha.



#### 4.1.7. Aktivační nádrž

Tvoří základní objekt ČOV, jedná se o hloubenou kruhovou šachtu o průměru 3,0 m a hloubce 57,6 m, objem šachtové části je 407 m<sup>3</sup>. Šachta pracuje jako účinný sytící reaktor a v systému ČOV plní úlohu nitrifikace. Šachta je ve svislém směru rozdělena přepážkou na dvě části se vzestupným a sestupným prouděním. U dna šachty vytváří přepážka štěrbinu, ve které dochází ke změně proudění aktivační směsi. Horní záhlaví šachty je ukončeno horní otevřenou nádrží, která plní kromě funkce hydraulické i funkci odplyňovací. Dochází zde k úniku přebytečného kyslíku, dusíku a oxidu uhličitého z vody do atmosféry. Z hydraulických důvodů jsou v nádrži vestavěny dělicí stěny a deflektory. Nádrž je z části překryta železobetonovou deskou, která umožňuje přístup k aeračnímu systému. Vzduch vháněný kompresorem (agregát Atlas - Copco GA 55 - 7,5 Pack., Q 558 m<sup>3</sup>/h, P = 55 kW, 1 + 1 ks), dodává do šachty kyslík a současně zabezpečuje cirkulaci kapaliny. Součástí kompresoru je zařízení na využití odpadního tepla. Přívod propočteného množství vzduchu zaručuje v sestupné části šachty rychlost proudění 1 až 2 m/s. Při této rychlosti jsou vzduchové bubliny unášeny ke dnu nádrže a zabraňuje se sedimentaci nerozpuštěných látek na dně šachty. Jako zdroj vzduchu pro regeneraci a odplynění jsou instalována dmyhadla Aerzen Kompakt III, Q = 514 m<sup>3</sup>/hod., P = 15 kW (1 + 1 ks).

Z denitrifikační nádrže II odtéká směs přes přelivnou hranu do šachtové aktivační nádrže, která plní úlohu nitrifikace. Čištění odpadních vod v hluboké šachtě je modifikací jemnobublinné aerace za využití vysokého hydrostatického tlaku. Horní záhlaví šachty je ukončeno otevřenou nádrží, která má hydraulickou a odplyňovací funkci. Na aktivační nádrž navazuje nádrž odplyňovací, která se skládá ze dvou sekcí, a kde dochází k sekundárnímu odplynění provzdušněné směsi před jejím přítokem na dosazovací nádrže.

#### 4.1.8. Odplyňovací nádrže

Navazují na aktivační nádrž, jedná se o dvě paralelně řazené sekce obdélníkového půdorysu. Účelem nádrží je sekundární odplynění provzdušněné směsi ze šachtového reaktoru, před přítokem na dosazovací nádrže. Je zde uplatněn originální princip spočívající na „nelogickém“ použití jemnobublinné aerace. Princip spočívá ve shlukování bublinek vzduchu o průměru menším než 0,5 mm, účinkem proudění bublin produkovaných jemnobublinnou aerací (průměr bublin 2 - 4 mm).

V nádrži je osazen systém jemnobublinné aerace s trubkovými membránovými elementy Fortex Šumperk AME - T - 370. Pro případ údržby a oprav je možné odstavit

pomocí stavidel kteroukoliv z obou sekcí odplynění. Na konci odplynění jsou instalována čerpadla inertní recirkulace Hidrostał DODQ - DNY A6 - UNEQ,  $Q = 36,7$  l/s,  $P = 1,5$  kW. Aktivační směs přepadá z odplyňovacích sekcí do žlabu odvádějícího odplyněnou směs do dosazovacích nádrží.

#### **Strojní a technické vybavení:**

- Jemnobublinný aerační systém – nerezový rošt
- elementy Raubioxon 750, 72 ks
- elem. Fortex AME 260, 3 ks

#### **4.1.9. Dosazovací nádrže**

Jedná se o dvě kruhové dosazovací nádrže, které slouží k separaci aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody, která dále odtéká odtokovým potrubím přes měrný objekt do recipientu – řeky Blanice. Dosazovací nádrže slouží k separaci aktivovaného kalu, jedná se o dvě kruhové nádrže s vnitřním průměrem DN 15,0 m a hloubkou vody u stěn 3,6 m. Plocha obou nádrží je 353,4 m<sup>2</sup> a celkový účinný objem je 1 908,6 m<sup>3</sup>. Dosazovací nádrže, dodané firmou INKOS Brno, jsou vybaveny stíráním dna i hladiny, plovoucí nečistoty jsou vráceny zpět na objekt hrubého znečištění.

Separovaný aktivovaný kal je odtahován ze dna dosazovacích nádrží a je jednak čerpán jako vratný kal do nádrže regenerace kalu, jednak je čerpán jako přebytečný kal do zahušťovací nádrže. Nátok odpadní vody do nádrží je z rozdělovací šachty dosazovacích nádrží. Do této šachty se současně dávkuje koagulant – síran železitý – PREFLOC z důvodu zajištění srážení fosforu v odpadních vodách.

#### **Čerpací stanice vratného kalu**

Slouží k čerpání vratného a přebytečného kalu. Čerpací stanice je umístěna mezi dvěma dosazovacími nádržemi je vybavena dvěma čerpadly Hidrostał  $Q = 32,4$  l/s.,  $P = 1,5$  kW. Dále je zde instalováno čerpadlo přebytečného kalu Hidrostał  $Q = 16$  l/s.,  $P = 3,0$  kW. V objektu je rovněž instalováno čerpadlo provozní vody pro strojní odvodnění kalu.

#### **4.1.10. Zahušťovací nádrž**

Jedná se o kruhovou železobetonovou nádrž o průměru 6,0 m. Je umístěna poblíž žlabů bývalé šnekové čerpací stanice. Nádrž je vybavena míchacím zařízením a potrubním systémem. V nádrži je přebytečný kal zahuštěn z 1, 2 % na cca 2, 5 %.

Ze zahušťovací nádrže je kal dopravován kalovým čerpadlem do vyhnívacích (uskladňovacích) nádrží. Kalová voda odtéká gravitačně ocelovým potrubím do denitrifikační nádrže.

Zahuštěný kal je čerpadlem dopravován do vyhnívací a uskladňovací nádrže a následně odvodňován na lince strojního odvodnění kalu. Skládá se z odvodňovací linky s příslušenstvím, chemického hospodářství a dopravníku na vylisovaný kal.

Kalová voda je vedena zpět do čistícího procesu – do denitrifikační nádrže. Odvodněný kal je předáván odborné firmě ke kompostování pro další využití v zemědělství.

#### **4.1.11. Vyhnívací a uskladňovací nádrže**

Jedná se o kruhové otevřené nadzemní železobetonové nádrže situované podél oplocení areálu čistírny v těsné blízkosti stávající provozní budovy. Tyto nádrže slouží ke kryofilnímu vyhnívání kalu, k jeho dalšímu zahuštění až na 3, 5 % a zároveň jako akumulační nádrž na kal. Celkový objem nádrží je 1 800 m<sup>3</sup>.

Kal je do nádrží čerpán ocelovým potrubím, zaústěným nad maximální hladinu v nádrži. Obě nádrže mají naprosto shodné armaturní vybavení a trubní propojení a jsou tudíž funkčně plně zaměnitelné. Nádrže jsou vybaveny potrubím pro přívod a odvod kalu, zónovými odběry kalové vody, bezpečnostním přepadem, potrubím zajišťujícím hydraulickou cirkulaci obsahu nádrže a potrubí pro míchání nádrže tlakovým vzduchem.

#### **4.1.12. Strojovna odvodnění**

Technologie odvodnění kalu, tj. homogenizační nádrž a strojní odvodnění kalu je ve strojovně umístěné v prostoru mezi oběma uskladňovacími nádržemi, se kterými tvoří vhodně jeden kompaktní celek. Jedná se o nadzemní zděný objekt se suterénní železobetonovou jímkou. V přízemí je umístěn pásový lis a technologie dávkování flokulantu, místnost rozvodny NN, dále sklad flokulantu a kotelna el. vytápění. V suterénu objektu je umístěna jímka kalové vody, strojovna ČS a homogenizační

nádrž. Kal z uskladňovací nádrže je přiveden do homogenizační nádrže a odtud čerpán na pásový lis. Odvodněný kal je pomocí dopravníku dopravován do kontejneru a dle potřeby likvidován prostřednictvím odborné firmy.

- **Popis jednotlivých zařízení:**

**Homogenizační nádrž** – jedná o kruhovou nádrž o průměru 4, 2 m, která plní funkci kontinuálního míchání kalu pro zajištění stálé koncentrace kalu na pásový lis. Nádrž je vybavena ponorným míchadlem ABS 200, P = 1, 0 kW. Chod míchadla je automaticky nastaven podle hladiny v nádrži a zařízení je vybaveno signalizací pro případ poruchy míchadla. Z nádrže je proveden bezpečnostní přepad do nádrže kalové vody. Kal je z nádrže čerpán na strojní odvodnění.

**Pásový lis** – jedná se o pásový lis Guinard Ecopresse s příslušenstvím, tj. čerpadlo kalu, čerpadlo oplachové vody, zařízení pro přípravu organického flokulantu.

**Čerpadlo kalu** o výkonu 1, 5 – 7 m<sup>3</sup>/hod. je osazeno v suterénu u homogenizační nádrže. Kal je čerpán ze dna homogenizační nádrže do sítopásového lisu o výkonu 3, 3 m<sup>3</sup>/hod. a produkci kalové sušiny 117 kg/hod. při vstupní koncentraci kalu 3, 5 %.

**Jímka kalové vody** je umístěna pod lisem. do jímky jsou svedeny kalové vody od lisu, z uskladňovací a vyhnívací nádrže. Odtud je kalová voda čerpána dvěma čerpadly 80 – GFMU, provedení SJ, Q = 15 l/s, na začátek ČOV do česlového žlabu.

#### **4.1.13. Srážení fosforu**

Před nátokem do hlubinné aktivační nádrže je dávkován koagulant síran železitý za účelem srážení fosforu – zásobní nádrž z polyetylenového dvouplášťového zásobníku v množství cca 4 l za hodinu. Dávka síranu železitého je nastavena podle výsledků laboratorních rozborů odpadní vody a požadavku vodohospodářského orgánu na koncentraci celkového fosforu ve vypouštěné odpadní vodě.

#### **4.1.14. Velín**

Jedná se o zděný objekt v přízemí je umístěna strojovna, která plní funkci rozvodny pro celou ČOV. Jednak jsou zde umístěny všechny zdroje vzduchu, tj. dmychadlo a kompresory pro lapák písku, odplyňovací žlab, vlastní aktivaci, míchaní v uskladňovací nádrži a k regeneraci kalu. Velín je umístěn nad strojovnou, plní funkci hlavní řídicí centrum celé ČOV. Provoz ČOV je řízen autonomním řídicím a

regulačním systémem včetně archivace všech sledovaných veličin. Ovládání rozhodujících strojů je přímo z monitoru operátora.

#### **4.1.15. Řídící a informační systém**

Řídící a informační systém je realizován dvouúrovňovým centralizovaným systémem Allen – Bradley pro průmyslové užití, který se skládá z jedné centrální procesní stanice typu SLC 500. Řídící stanice je umístěna v rozvaděči DT 1 a ve velínu ČOV a řídicího počítače standardu PC/AT 486 Dell, na pultu operátora ve velínu.

Procesní stanice je vybavena standardním programovým vybavením Control - wiew, a její konfigurace a parametrizace včetně zadávání mezí, konstant apod., se provádí dálkově z centrálního počítače. Veškeré snímané měřené veličiny jsou do centrály přenášeny v digitální formě s vysokým zabezpečením přenosu dat.

Řídící a informační systém ČOV je určen pro trvalý a nepřetržitý provoz. Pro styk s obsluhou jsou určeny následující konzoly:

-grafická obrazovka systému, tiskárna systému, klávesnice a analogové tablo.

Pomocí těchto prostředků je zajištěna neustálá informovanost obsluhy o stavu technologického procesu.

- *Řídící systém plní následující funkce:*
  - snímání a sledování provozu
  - archivování všech snímaných veličin
  - zobrazování všech textových výstupů na konzolách
  - grafické zobrazování křivkovými, sloupcovými a jinými diagramy
  - poruchová hlášení dle nastavených parametrů
  - bilancování specifikovaných proměnných
  -

Povelování systému umožňuje dálkové ovládání technologie. zadávání povelů je možno provádět dvěma způsoby:

- Z grafických obrazů na monitoru řídicího počítače pomocí myši nebo tlačítek na klávesnici.
- Prostřednictvím masek na monitoru řídicího počítače, a to buď pro výkon jednoho povelu nebo pro výkon skupiny povelů.

Řídicí systém je určen pro nepřetržitý provoz, a proto se nevypíná. Výpadek napájecího napětí na libovolné části systému nevyžaduje žádný zásah a po obnově napájecího napětí systém sám obnoví veškeré funkce.

#### 4.2. Vybraná strojní zařízení a jejich jmenovitý výkon

V následující tabulce (tab. 1) je uveden soupis strojně technologického vybavení ČOV včetně jmenovitého výkonu zařízení. Zvýrazněné řádky označují zařízení, která byla sledována v rámci experimentální části.

čistírenský objekt	typ zařízení	počet kW/1ks	kW celkem v provozu
<b>čerpací stanice</b>	3x Hidrostal E125-L2R	3kW	<b>3</b>
<b>mechanické předčištění</b>	lapák LPP- 2,4-12	1,54 - až 2 kW	<b>1,8</b>
	česle Hydropress 6000 mm	0,12 až 0,75 kW	<b>0,5</b>
	lisovací dopravník HP 150/500	x	x
denitrifikační nádrž	ponorné míchadlo ABS RW 30-4	1,5 kW	1,5
<b>regenerace kalu</b>	2x Kubíček 3 D 38 B-SE	11 kW	<b>11</b>
denitrifikace 1	ponorné míchadlo SR 4620.410	1,5 kW	1,5
denitrifikace 2	ponorné kalové čerpadlo Flyght DP 3086.180 MT	2 kW	<b>2</b>
	axiální ponorné míchadlo SR 4620.410	1,5 kW	<b>1,5</b>
dávkování externího substrátu	dávkovací čerpadlo EXBa, E 0417 SB1 0A001	0,054kW	0,054
	hladinoměr L11/2000/C/N/SP4/EX	x	x
<b>aktivační nádrž</b>	Kompresor - agregát Atlas Copco GA 55-7,5Pack	55kW	<b>55</b>
	dmychadlo Aerzen Kompakt III	15 kW	<b>15</b>
<b>odplyňovací nádrže</b>	Hidrostal DODQ-DNY A6-UNEQ	1,5kW	<b>1,5</b>
čerpací stanice vratného kalu	čerpadlo mezi dosazovacími nádržemi 2x Hidrostal	3 kW	6
	čerpadlo přebytečného kalu Hidrostal	3 kW	3
<b>celkem</b>			<b>103,4</b>
<b>měřené celkem</b>			<b>90,8</b>

tab. 1: Vybraná strojní zařízení a jejich štítkový výkon

### 4.3. Hodnocení energetické bilance

Čistírny odpadních vod jsou v průměru největším samostatným odběratelem elektrické energie, tedy více než továrny (myšleno průměr, nezahrnuje galvanovny). 1 % veškeré energie ve městě spotřebovává čistírna odpadních vod (Capodaglio, Olsson 2019).

Na druhou stranu i odpadní voda obsahuje energii. Teoretický obsah energie organických látek v odpadní vodě je 14 kJ/g CHSK. Vzhledem k tomu, že předpokládaná produkce 1 ekvivalentního obyvatele je 120 g CHSK za den, to je cca 19,5 W/den, je roční přiváděná energie v odpadní vodě tedy 170 kWh/EO. rok. Odpadní voda obsahuje i tepelnou energii (Krampe 2019).

#### 4.3.1. Benchmarking

Benchmarking je nástrojem strategického managementu. Zabývá se porovnáváním kvality procesů s konkurencí. Tuto metodu objevil Robert C. Camp a rozšířila ji společnost Xerox Corporation na počátku 80. let 20. století. Cílem této metody je získat poznání o kvalitě jednotlivých procesů, získat převahu nad konkurencí a využít své přednosti (Camp 1989).

Benchmarking má několik základních typů:

- **interní**
- **externí**

Rozdělení benchmarkingu na interní a externí pouze specifikuje rozsah ukazatelů pro hodnocení buď v rámci jedné společnosti nebo mezi konkurenty.

- **Procesní** - slouží pro zlepšení procesů a činností uvnitř organizace
- **Funkční** - porovnává výrobky, služby a postupy napříč organizacemi bez ohledu na druh oboru, ve kterém vystupují.
- **Výkonový** – porovnává výkonost s výkoností ostatních partnerů ze stejného sektoru

### **4.3.2. Sledovatelné ukazatele ČOV**

Pro sledování energetické bilance ČOV jsou hlavními tyto ukazatele (Möller et al. 2012):

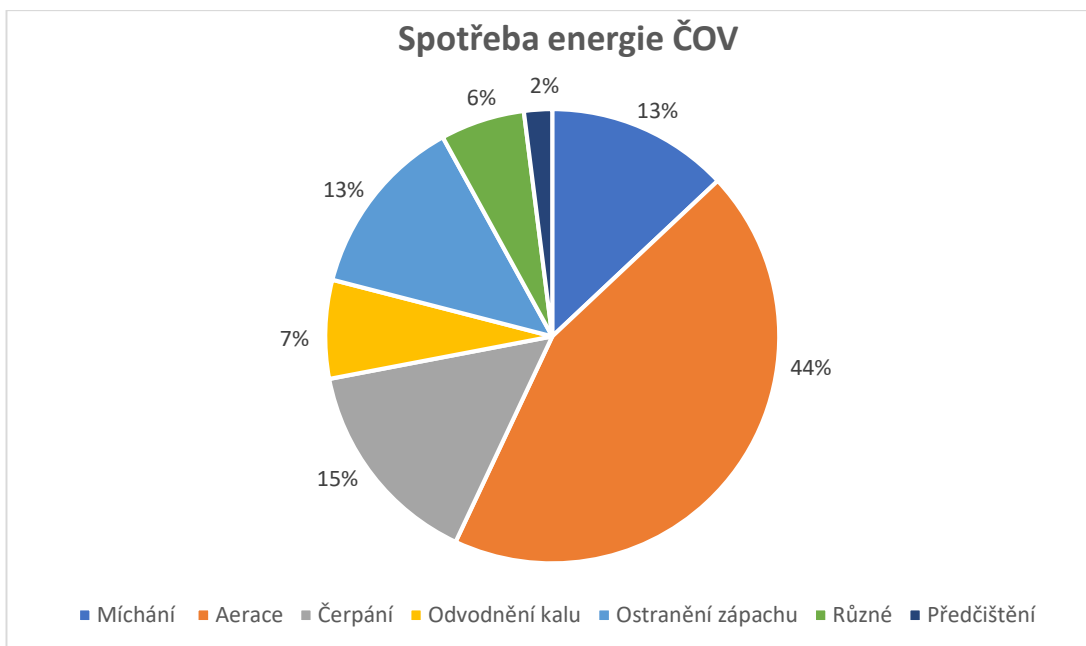
- Celková spotřeba elektrické energie ČOV vztažená na jednoho ekvivalentního obyvatele
- Elektrická energie potřebná pro aeraci
- Specifická produkce bioplynu
- Stupeň samostatnosti ve výrobě elektrické energie
- Specifické vnější teplo dodávané v kW/h na jednoho ekvivalentního obyvatele

V případě ČOV Vlašim jsou sledovatelné pouze první dva ukazatele, a to celková spotřeba elektrické energie ČOV vztažená na jednoho ekvivalentního obyvatele (Lellák 1991) a energie potřebná pro aeraci, vzhledem k tomu, že ČOV Vlašim nemá bioplynovou stanici, není samostatná ve výrobě elektrické energie a způsob vyhnívání kalu probíhá anaerobním způsobem, tudíž není dodáváno vnější teplo.

### **4.3.3. Hodnocení energetické bilance ČOV ve světovém měřítku**

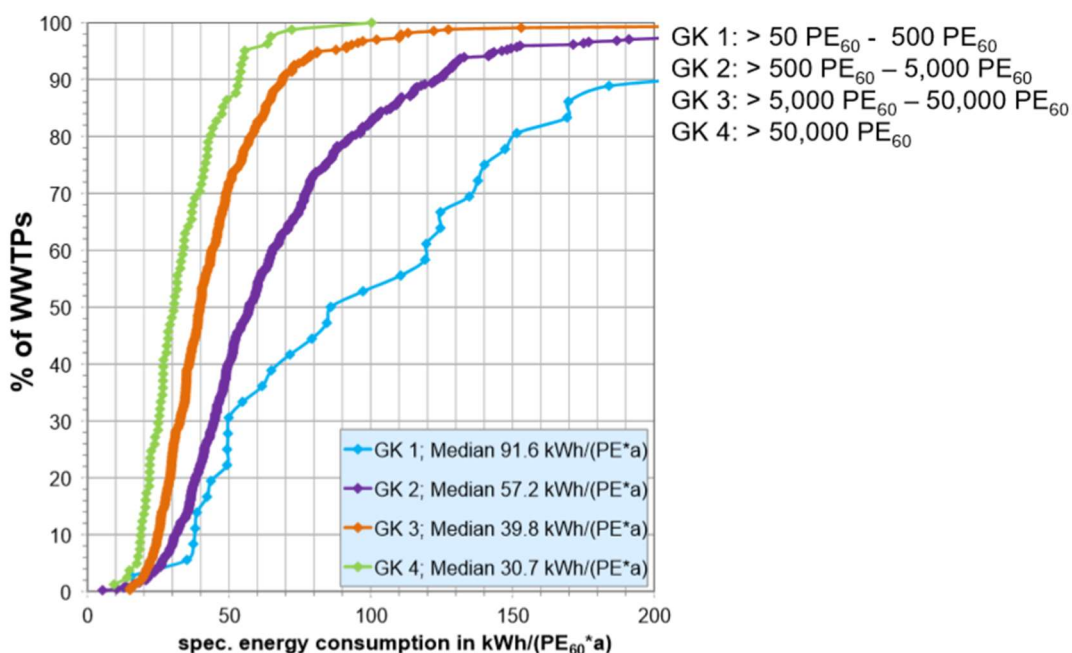
Čistírný odpadních vod nejsou často provozovány ve výhodném energetickém režimu (Lorenzo-Toja et al. 2016) V následujícím grafu (obr. 5, str. 22) můžeme vidět rozdělení spotřeby elektrické energie v % zastoupeno jednotlivými technologickými procesy (ASIO 2019). Pro naše účely se v kapitole diskuse odkážeme na tento graf a zhodnotíme tak energetickou náročnost procesů, kterými se zabýváme na ČOV Vlašim. Jedná se o proces aerace (zde 44 %) a čerpání (zde 15 %).





obr. 5: Spotřeba energie ČOV (ASIO 2019)

Následující graf (obr. 6) zobrazuje specifickou spotřebu elektrické energie vztáženou na počet ekvivalentních obyvatel v Rakousku. Zde je v případě ČOV Vlašim důležitá oranžová křivka GK 3 (5000 až 50 000 ekvivalentních obyvatel) (Hartwig et al. 2011).



obr. 6: Specifická spotřeba elektrické energie vztážená na počet EO (Haslinger et al. 2016)

#### 4.3.4. Hodnocení energetické bilance ČOV Benešov

Jedním z cílů diplomové práce je porovnat zjištěné specifické spotřeby elektrické energie (Chudoba et al. 2010) na ČOV Vlašim s ČOV Benešov. Pro porovnání byly vybrány následující stanovené specifické spotřeby z diplomové práce Ing., Mgr. Lukáše Vidrny (Vidrna 2016):

##### **Celková spotřeba el. energie dmychadel vztažena na jednotkové množství N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nebo BSK<sub>5</sub>**

Specifická spotřeba el. energie [kWh/kg odstr N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>] **16,0**

Specifická spotřeba el. energie [kWh/kg odstr BSK<sub>5</sub>] **2,4**

##### **Celková spotřeba el. energie dmychadel vztažena na jednotkové množství N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a BSK<sub>5</sub> – rozdělení dle spotřeby kyslíku**

Specifická spotřeba el. energie pro odstranění N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> [kWh/odstr kg N - NH<sub>4</sub><sup>+</sup> **9,00**

Specifická spotřeba el. energie pro odstranění BSK<sub>5</sub> [kWh/odstr kg BSK<sub>5</sub>] **1,04**

**Specifická spotřeba el. energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody: Benešov v roce 2015 - 0,85 kWh/m<sup>3</sup>.**

#### 4.4. Legislativní opatření ve vodním hospodářství

V následujícím textu je uveden přehled důležitých legislativních opatření, které se bezprostředně týkají technologií čištění odpadních vod. Tato legislativní opatření vedou ke zlepšování procesů a technologií čištění odpadních vod a zabezpečují zákonem stanovené limity (Marton, Horská 2019).

- Zákon č. 254/2001 Sb. V platném znění, tzv. „Vodní Zákon“
- Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů
- Nařízení vlády č. 57/2016 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.
- Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod.

- Nařízení vlády č. 143/2012 Sb., o postupu pro určování znečištění odpadních vod, provádění odečtů množství znečištění a měření objemu vypouštěných odpadních vod do povrchových vod.
- Vyhláška č. 123/2012 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových.
- Vyhláška č. 450/2005 Sb., o náležitostech nakládání se závadnými látkami a náležitostech havarijního plánu, způsobu a rozsahu hlášení havárií, jejich zneškodňování a odstraňování jejich škodlivých následků.

## 5. CHARAKTERISTIKA STUDIJNÍHO ÚZEMÍ

Město Vlašim se rozkládá na ploše 4 396 ha v povodí řeky Blanice a žije v něm 12 533 obyvatel. Kanalizační systém se budoval spolu s městskou výstavbou asi od r. 1950. Odpadní vody jsou odváděny jednotným, gravitačním systémem, až na oblast mezi ulicemi Nad Tratí a Zahradní, kde je vybudován oddílný systém, a z níž se odpadní vody převádí do „hlavní“ stokové sítě čerpací stanicí Vorlina.

Na ČOV jsou odkanalizovány také lokality Domašín a Bolina a Bolinka.

Centrální čistírna odpadních vod je situována na pravém břehu Blanice. Odpadní vody jsou na ČOV přiváděny stokami, které jsou zaústěny do čerpací stanice ČOV. Objekt ČS slouží také jako dešťový oddělovač, na ČOV je čerpáno pouze množství  $1+3 Q_{24}$ .

Čistírna odpadních vod postavená v r. 1975 pro 7500 EO byla celkově zrekonstruována v r. 1992-94 s maximálním využitím stávajících objektů na systém biologického způsobu čištění typu „Deep Shaft Proces“ s aktivačním procesem R-D-N (denitrifikace – nitrifikace s regenerací kalu) firmou Esox s.r.o. Liberec.

V letech 2003 - 2004 byla provedena intenzifikace ČOV z důvodu dosažení vyšší kvality finálního odtoku zejména v ukazatelích sloučenin dusíku podle Nař. vl. č.61/2003 Sb. Původní R-D-N systém byl intenzifikován realizací tzv. D-R-D-N aktivačního procesu.

Intenzifikace biologického systému zahrnovala:

- realizaci mechanicky homogenizované denitrifikační sekce v regenerační nádrži
- odvětvění přítoku do denitrifikační sekce v regenerační nádrži
- výměnu aeračního systému v regenerační nádrži a odplyňovacích nádržích
- instalaci samostatného zdroje vzduchu pro nádrž regenerace kalu
- realizaci systému řízení dodávky vzduchu do regenerační nádrže v závislosti na aktuální koncentraci rozpuštěného kyslíku
- realizaci zásobní nádrže a dávkování externího substrátu pro účely snížení odtokových koncentrací celkového dusíku

Informace v této kapitole byly čerpány z Provozního řádu ČOV a ústním podáním od pana Ing., Mgr. Lukáše Vidrny v roce 2019 (Fialová 2007; Vidrna 2019)

## **6. VÝSLEDKY**

### **6.1. Specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> přivedené odpadní vody**

Specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> přivedené odpadní vody byla získána z dostupných dat z let 2014 až 2018. V následující tabulce (tab. 2, str. 27) jsou uvedeny hodnoty, ze kterých byla specifická hodnota vypočtena, tedy měsíční průtok a měsíční spotřeba elektrické energie.

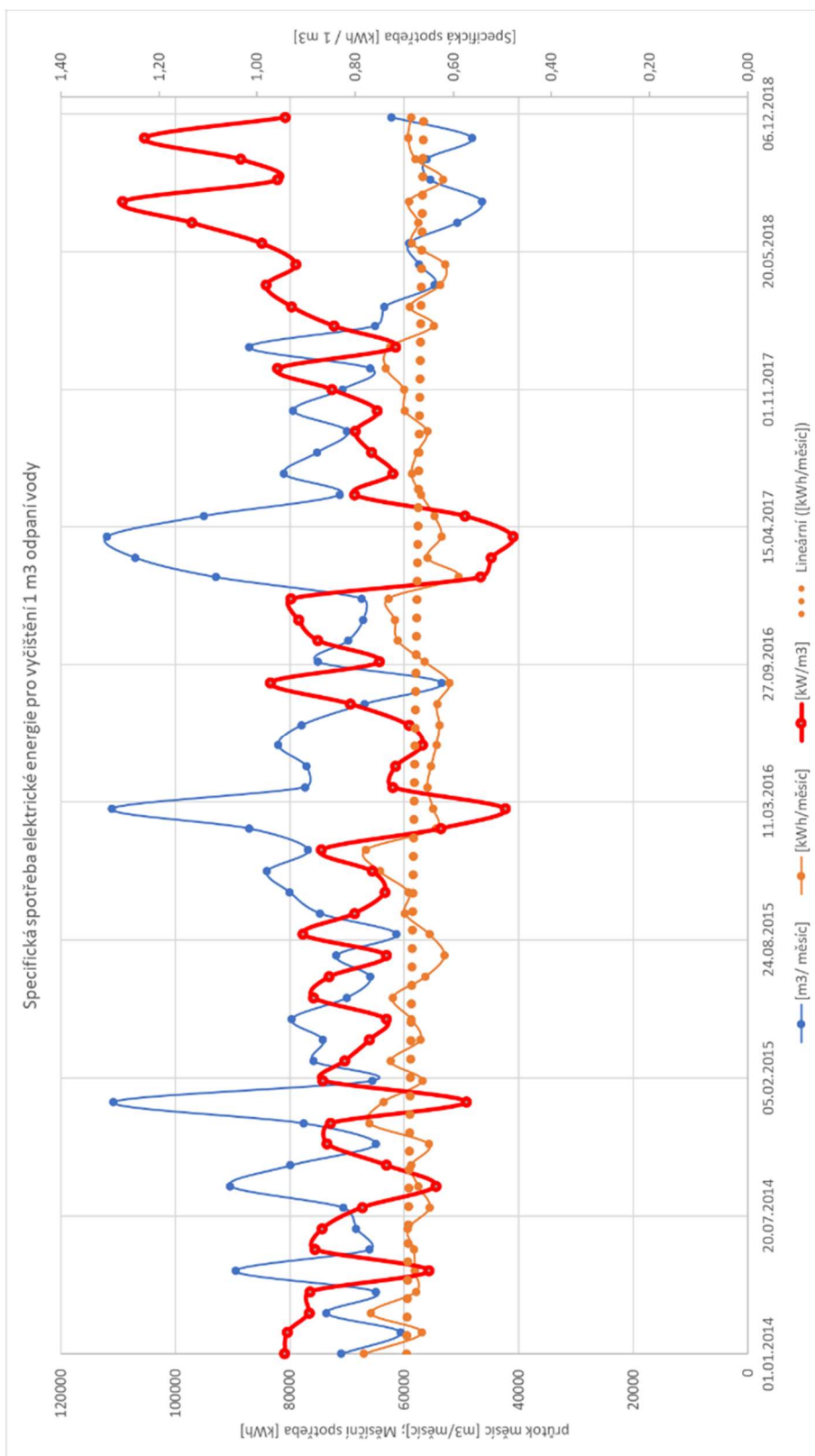
<b>Měsíc/rok 2014</b>	01/ 2014	02/ 2014	03/ 2014	04/ 2014	05/ 2014	06/ 2014	07/ 2014	08/ 2014	09/ 2014	10/ 2014	11/ 2014	12/ 2014
[m3/ měsíc]	71046	60637	73650	64966	89486	66124	68436	70739	90428	79915	65016	77638
[kWh/měsíc]	67 073	56 917	65 869	57 962	58 159	58 375	59 376	55 571	57 545	58 823	55 767	66 088
[kW/m3]	<b>0,94</b>	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>	<b>0,89</b>	<b>0,65</b>	<b>0,88</b>	<b>0,87</b>	<b>0,79</b>	<b>0,64</b>	<b>0,74</b>	<b>0,86</b>	<b>0,85</b>
<b>Měsíc/rok 2015</b>	01/ 2015	02/ 2015	03/ 2015	04/ 2015	05/ 2015	06/ 2015	07/ 2015	08/ 2015	09/ 2015	10/ 2015	11/ 2015	12/ 2015
[m3/ měsíc]	110822	65581	75921	74207	79737	70093	66011	71934	61353	74761	80097	83998
[kWh/měsíc]	63 643	56 870	62 384	57 202	58 795	62 061	56 356	53 000	55 639	59 911	59 265	64 299
[kW/m3]	<b>0,57</b>	<b>0,87</b>	<b>0,82</b>	<b>0,77</b>	<b>0,74</b>	<b>0,89</b>	<b>0,85</b>	<b>0,74</b>	<b>0,91</b>	<b>0,80</b>	<b>0,74</b>	<b>0,77</b>
<b>Měsíc/rok 2016</b>	01/ 2016	02/ 2016	03/ 2016	04/ 2016	05/ 2016	06/ 2016	07/ 2016	08/ 2016	09/ 2016	10/ 2016	11/ 2016	12/ 2016
[m3/ měsíc]	76804	87078	111105	77400	77106	82077	77986	67003	53515	75153	69833	67260
[kWh/měsíc]	66 754	54 533	54 992	55 994	55 334	54 409	53 864	54 298	52 092	56 430	61 170	61 621
[kW/m3]	<b>0,87</b>	<b>0,63</b>	<b>0,49</b>	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,66</b>	<b>0,69</b>	<b>0,81</b>	<b>0,97</b>	<b>0,75</b>	<b>0,88</b>	<b>0,92</b>
<b>Měsíc/rok 2017</b>	01/ 2017	02/ 2017	03/ 2017	04/ 2017	05/ 2017	06/ 2017	07/ 2017	08/ 2017	09/ 2017	10/ 2017	11/ 2017	12/ 2017
[m3/ měsíc]	67468	92918	106990	111985	95047	71249	81094	75313	70004	79427	70834	65954
[kWh/měsíc]	62 804	50 592	55 999	53 521	54 747	57 092	58 736	57 728	56 031	59 955	60 068	63 218
[kW/m3]	<b>0,93</b>	<b>0,54</b>	<b>0,52</b>	<b>0,48</b>	<b>0,58</b>	<b>0,80</b>	<b>0,72</b>	<b>0,77</b>	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>	<b>0,85</b>	<b>0,96</b>
<b>Měsíc/rok 2018</b>	01/ 2018	02/ 2018	03/ 2018	04/ 2018	05/ 2018	06/ 2018	07/ 2018	08/ 2018	09/ 2018	10/ 2018	11/ 2018	12/ 2018
[m3/ měsíc]	87178	65094	63500	54719	57472	59190	50777	46474	55530	56154	48226	62320
[kWh/měsíc]	62 582	54 896	59 028	53 764	52 923	58 652	57 565	59 247	53 224	58 024	59 328	58 791
[kW/m3]	<b>0,72</b>	<b>0,84</b>	<b>0,93</b>	<b>0,98</b>	<b>0,92</b>	<b>0,99</b>	<b>1,13</b>	<b>1,27</b>	<b>0,96</b>	<b>1,03</b>	<b>1,23</b>	<b>0,94</b>

tab. 2: Přehled měsíčních hodnot průtoků a spotřeb elektrické energie a specifické energie kWh/m3 pro období 2014 - 2018

Z výše uvedených dat (tab. 2, str. 27) byl zpracován přehledný graf (obr. 7 str. 29), na kterém můžeme vidět tři křivky. Modrá nám udává průměrný měsíční průtok ČOV v m<sup>3</sup>. Oranžová křivka vyjadřuje hlášené měsíční spotřeby v kWh. Můžeme vidět, že měsíční spotřeby mají lineární průběh (proloženo lineární křivkou). Podělením měsíční spotřeby a měsíčních průtoků za sledované období z let 2014 až 2018 získáme červenou křivku udávající spotřebu elektrické energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody.

Mezi měsíčními průtoky a měsíční specifickou spotřebou pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody lze pozorovat opačný trend. U průtoků vysoké peaky znázorňují deštivá období v daném čase. V těchto obdobích roste i měsíční spotřeba elektrické energie, ale ne lineárně, neboť zvýšené přiváděné množství odpadní vody není stejně látkově zatížené jako u neředěných vod (tedy neplatí, že s navýšeným množstvím přiváděné vody v deštivém období roste lineárně spotřeba el. energie).

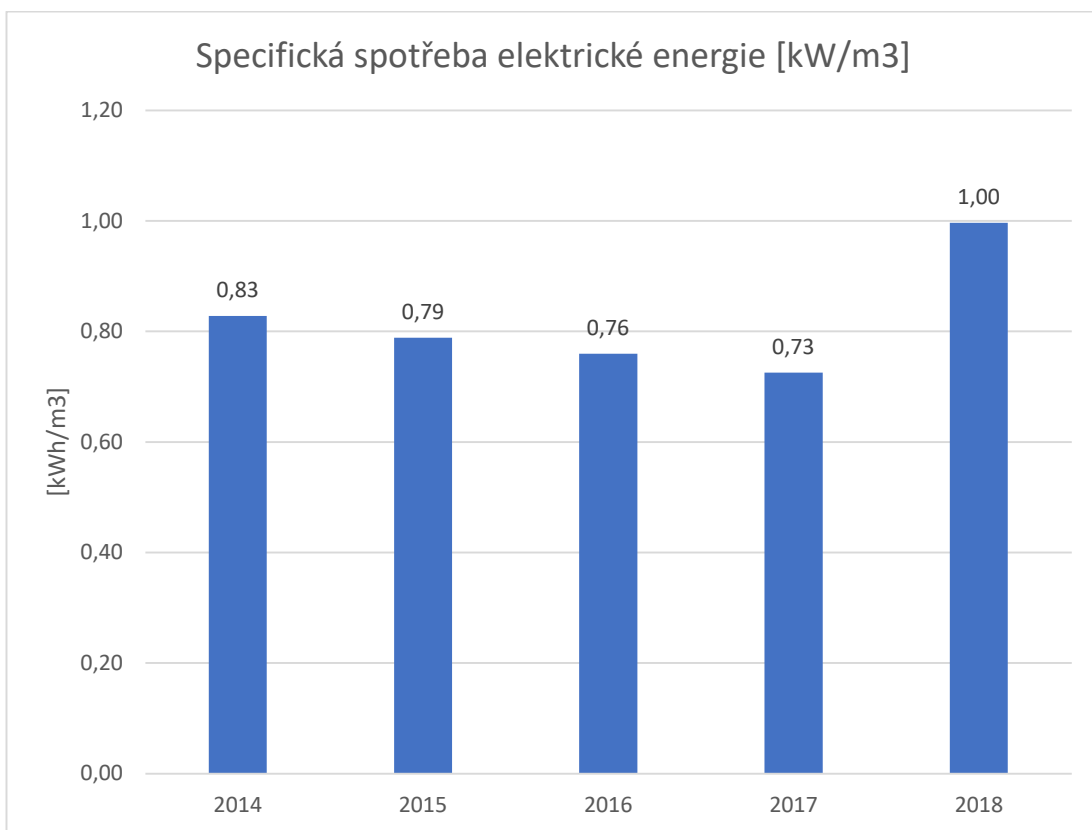
Tím pádem pro toto období klesá měsíční specifická spotřeba kWh na ČOV, jelikož do ČOV sice přitéká větší množství odpadní vody, ale vzhledem k tomu, že jde o vodu dešťovou, tedy méně znečištěnou, není potřeba vynaložení takového množství energie na vyčištění, jako je tomu v období s menším počtem srážek, kdy do ČOV přitéká voda silně znečištěná, tedy neředěná.



obr. 7: Specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody



Průměrná specifická spotřeba pro jednotlivé roky 2014 – 2018 je uvedena v následujícím grafu (obr. 8). Lze vyčíst, že od roku 2014 specifická spotřeba elektrické energie mírně klesala a v roce 2018 stoupla. Tuto skutečnost můžeme přisoudit informacím z ČHMÚ o velice suchých letech v období 2014 až 2018, kde se počet srážek ke konci roku 2018 začal zvyšovat (Čekal 2018).



obr. 8: Specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody

## 6.2. Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg přivedeného znečištění BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - průměr za rok 2018

Z dat poskytnutých provozovatelem (měsíční průtoky, měsíční látkové bilance, měsíční spotřeby elektrické energie v roce 2018) byly spočítány měsíční specifické spotřeby pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. U tohoto stanovení je vždy celková spotřeba elektrické energie vztažena na konkrétní ukazatel, tedy v sobě obsahuje i ostatní složky.

### 6.2.1. Stanovení průměrné měsíční specifické spotřeby pro odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:

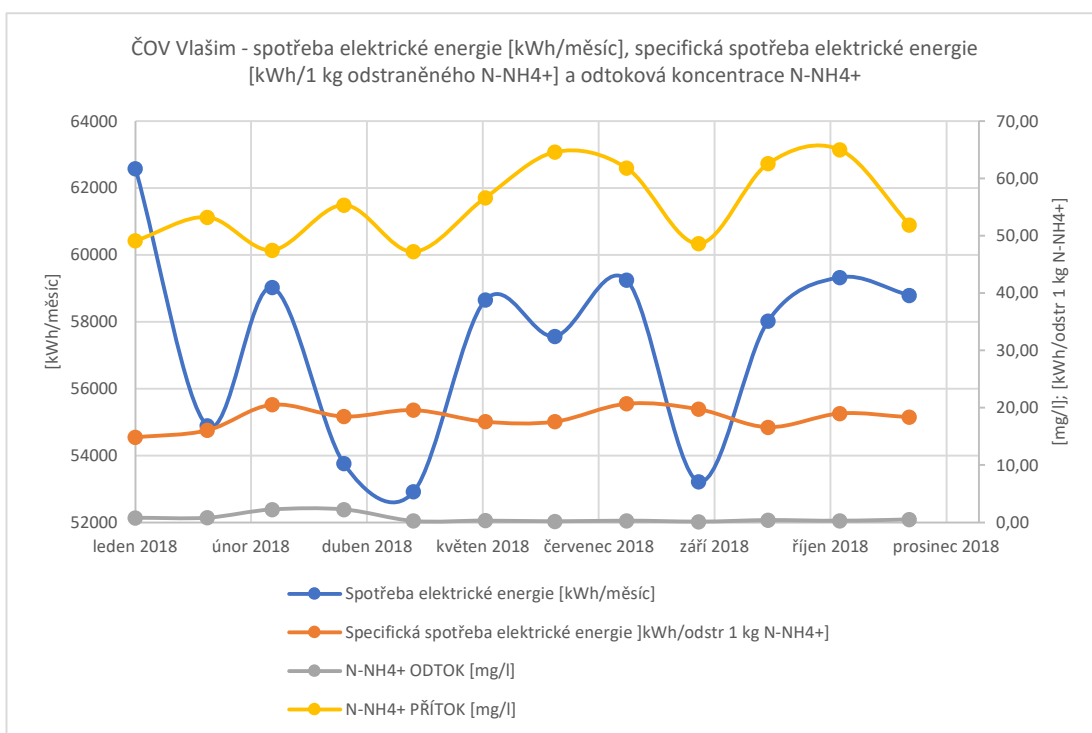
Stanovení průměrné měsíční specifické spotřeby pro N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> bylo vypočteno podílem měsíční spotřeby elektrické energie v kWh a množstvím odstraněného N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> za měsíc v kg (tab. 3). Průměrná hodnota specifické spotřeby pro odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> za rok 2018 je 18,28 kWh.

	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>Spotřeba elektrické energie</b>	<b>Specifická spotřeba elektrické energie</b>
	[kg odstr/měsíc]	[kWh/měsíc]	[kWh/odstr 1 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]
leden 2018	4212	62582	14,86
únor 2018	3411	54896	16,10
březen 2018	2872	59028	20,55
duben 2018	2906	53764	18,50
květen 2018	2699	52923	19,61
červen 2018	3332	58652	17,60
červenec 2018	3269	57565	17,61
srpen 2018	2858	59247	20,73
září 2018	2692	53224	19,77
říjen 2018	3491	58024	16,62
listopad 2018	3119	59328	19,02
prosinec 2018	3200	58791	18,37

tab. 3: Stanovení měsíční specifické spotřeby pro N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Následující graf (obr. 9) znázorňuje křivky přítoku a odtoku N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> mg/l a spotřebu elektrické energie v kWh za měsíc. Výsledkem je oranžová křivka znázorňující specifickou spotřebu elektrické energie pro odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub>. Ačkoli přítok N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> do ČOV je kolísavý a v některých případech dosahuje vstupní koncentrace hodnot přes 60 mg/l, odtoková koncentrace je 0,7 mg/l (průměr za rok 2018). Lze také pozorovat trend souběhu přítoku N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a spotřeby elektrické energie. Výsledná specifická spotřeba elektrické energie vztažená na odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> se vykazuje téměř lineárně a dosahuje hodnoty od 14,86 kWh/h do 20,73 kWh/h.

Průměrná hodnota specifické spotřeby elektrické energie vztažená na odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> je 18,28 kWh/h.



obr. 9: Stanovení spotřeb vztaženo na N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

### 6.2.2. Stanovení průměrné měsíční specifické spotřeby pro BSK<sub>5</sub>:

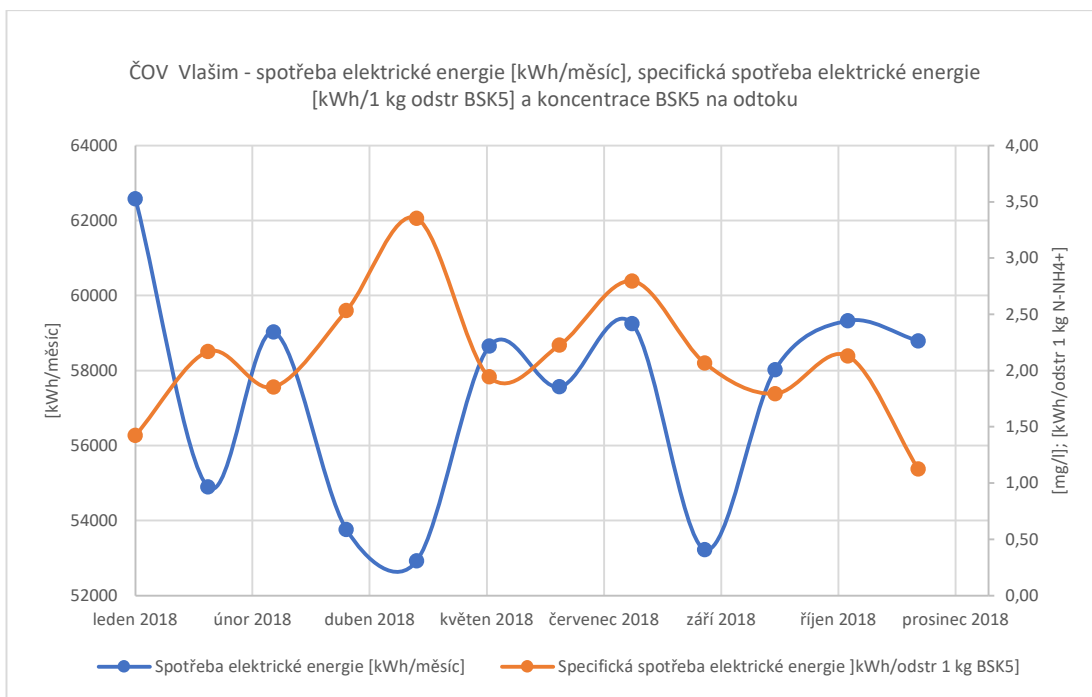
Stanovení měsíční specifické spotřeby pro BSK<sub>5</sub> bylo vypočteno podílem měsíční spotřeby elektrické energie v kW/h a množstvím odstraněného BSK<sub>5</sub> za měsíc v kg (tab. 4).

	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>Spotřeba elektrické energie</b>	<b>Specifická spotřeba elektrické energie</b>
	[kg odstr/měsíc]	[kWh/měsíc]	[kWh/odstr 1 kg BSK <sub>5</sub> ]
leden 2018	43925	62582	1,42
únor 2018	25302	54896	2,17
březen 2018	31823	59028	1,85
duben 2018	21222	53764	2,53
květen 2018	15779	52923	3,35
červen 2018	30175	58652	1,94
červenec 2018	25845	57565	2,23
srpen 2018	21187	59247	2,80
září 2018	25758	53224	2,07
říjen 2018	32345	58024	1,79
listopad 2018	27843	59328	2,13
prosinec 2018	52265	58791	1,12

tab. 4: Stanovení měsíční specifické spotřeby pro BSK<sub>5</sub>

Následující graf (obr. 10, str. 34) ukazuje spotřebu elektrické energie v kW/h za měsíc (modrá křivka). Dále zobrazuje oranžovou křivku znázorňující specifickou spotřebu elektrické energie pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub>. Výsledná specifická spotřeba elektrické energie vázající se k odstranění 1 BSK<sub>5</sub> dosahuje hodnot od 1,12 kW/h do 3,35 kW/h.

Průměrná hodnota specifické spotřeby pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> za rok 2018 je 2,12 kW/h.

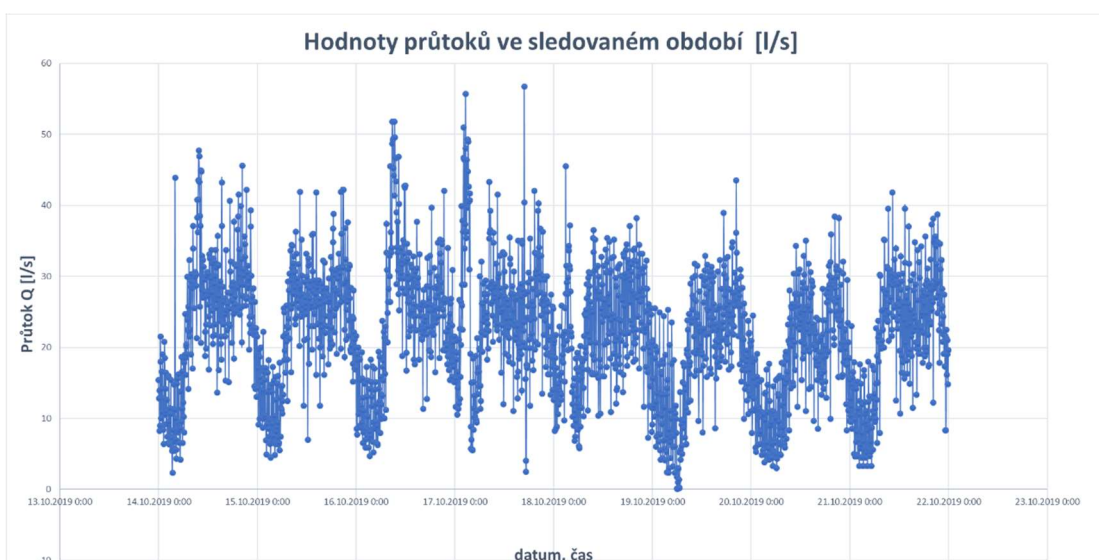


obr. 10: Stanovení spotřeb vztaženo na BSK<sub>5</sub>

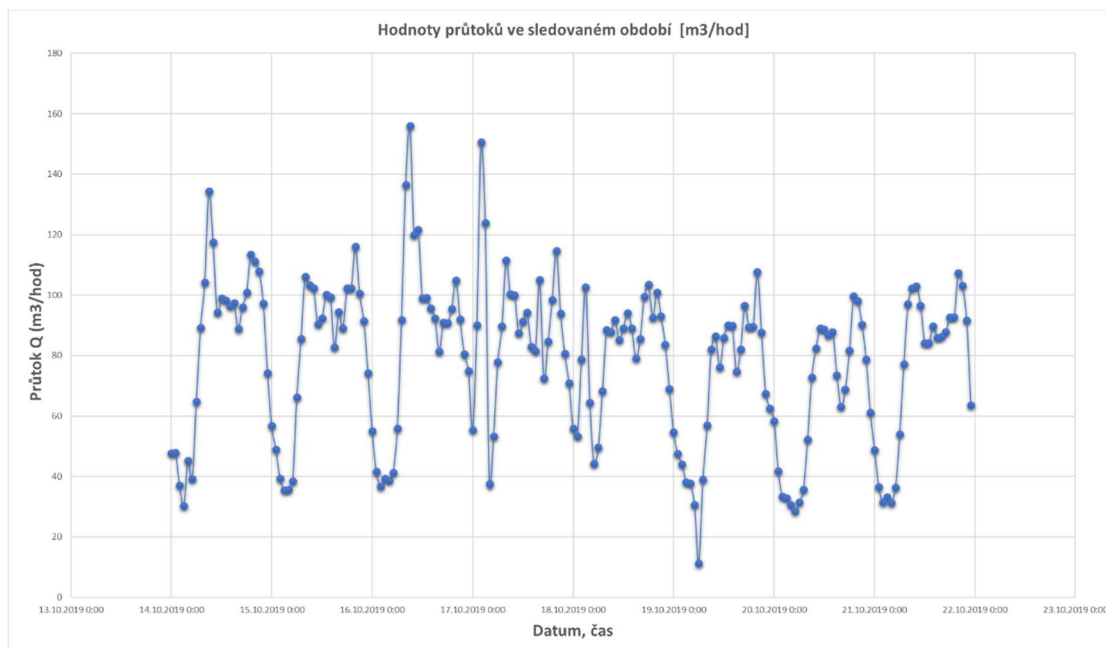
### 6.3. Stanovení průtoků ve sledovaném období

Hodnoty průtoků jsou automaticky zaznamenávány ultrazvukovou sondou v Parschalově žlabu na odtoku z ČOV.

V následujících grafech jsou zobrazeny průměrné hodnoty průtoků v l/s v intervalu 5 minut. Data byla zapisována v jednotkách l/s (obr. 11) Pro další použití byla data přepočtena na jednotky m<sup>3</sup>/hod (obr. 12, str. 35).



obr. 11: Hodnoty průtoků v jednotkách l/s



obr. 12: Hodnoty průtoků v jednotkách m<sup>3</sup>/hod

#### 6.4. Naměřená okamžitá spotřeba elektrické energie pro vybrané technologické celky

Na jednotlivé fáze byly umístěny klešťové měřáky, které snímaly fyzikální veličiny jednotlivých okruhů. Pro účel této diplomové práce byl měřen činný výkon jednotlivých fází na celkovém přívodu do ČOV, a dále na vybraných technologických celcích: čerpací stanici, odplynění, kompresoru a regeneraci.

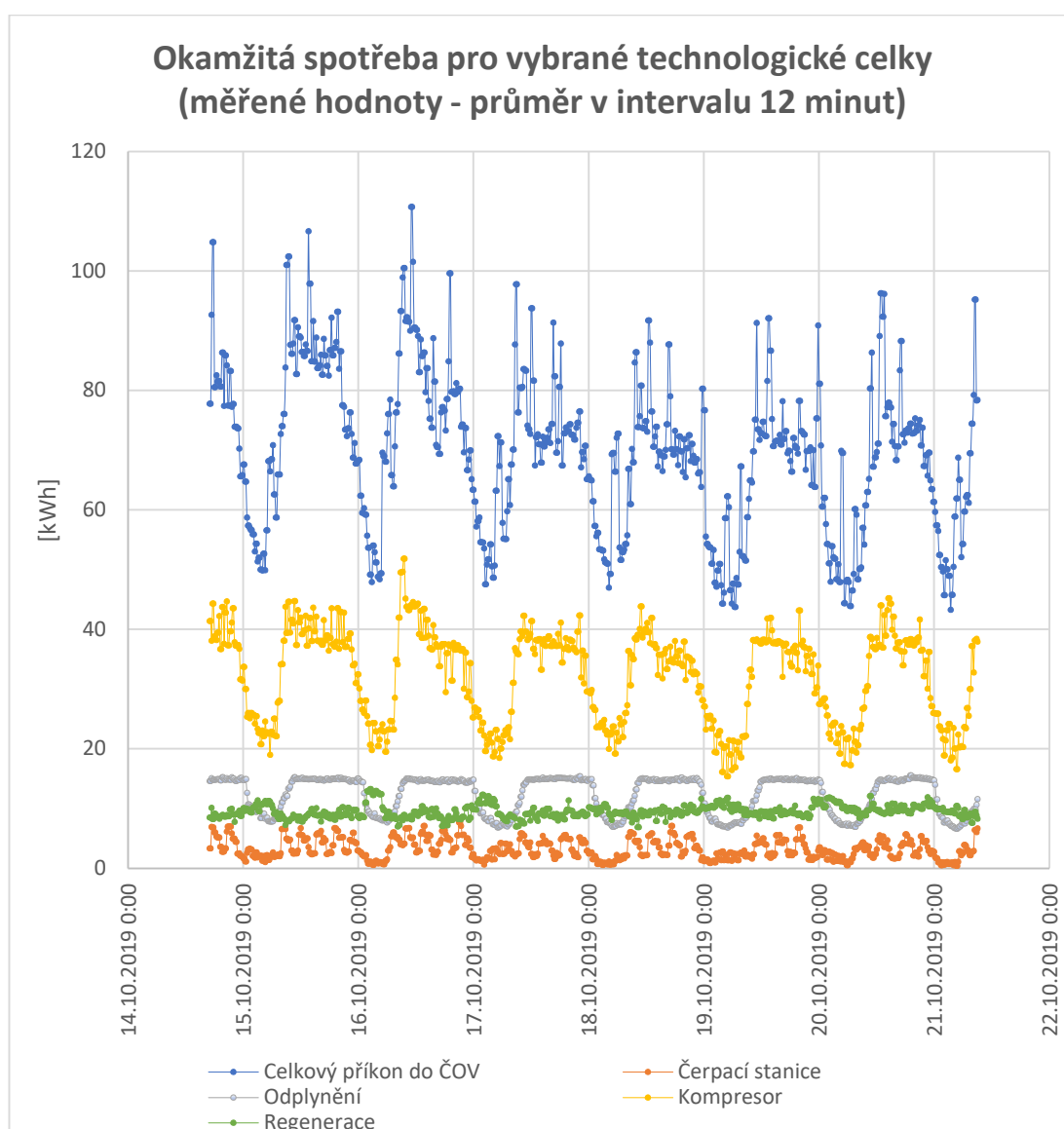
Měření činného výkonu jednotlivých okruhů ČOV probíhalo měřicími přístroji MDS1 (monitor distribučních sítí; výrobní číslo 3220) a MDS5 (monitor distribučních sítí; výrobní číslo 0026) značky EGÚ Brno a probíhalo v období od 14. 10. 2019 od 17 hodin do 21. 10. 2019 do 9 hodin. Okamžitá spotřeba byla měřena kontinuálně a výstupem byly průměrné hodnoty za 12 minut. Dobu měření omezovala kapacita interní paměti měřících přístrojů. Přístroje zapůjčila společnost ČEZ Distribuce, a.s. a byly instalovány odpovědnou osobou s příslušným oprávněním.

Všechny naměřené hodnoty byla zpracovány v programu MDS-MDSOVL a MDS-MDSVYH. Program vyhodnotil činný výkon ve třech fázích, z nichž celkový součet udával výslednou hodnotu naměřeného činného výkonu pro další potřeby této studie. Hodnoty byly následně zkopírovány do soboru MS Excel.

V následujícím grafu můžeme pozorovat okamžitou spotřebu pro jednotlivé technologické celky (obr. 13). Zde lze pozorovat, že největší podíl na spotřebě elektrické energie vykazuje kompresor pro deep shaft.

Nejvyšší hodnoty představuje kompresor pro deep shaft, jak bylo očekáváno vzhledem k informaci ze štítkového příkonu. Kompresor pro deep shaft má nejvyšší podíl na provzdušnění odpadní vody.

Z naměřených hodnot okamžité spotřeby byly vypočteny hodinové spotřeby pro jednotlivé technologické celky a celkového příkonu do ČOV, které byly použity pro další vyhodnocení.



obr. 13: Okamžitá spotřeba pro jednotlivé technologické celky

Průměrné hodnoty naměřené okamžité spotřeby ve sledovaném období jsou vyčteny v následujících tabulkách v jednotkách kW/h (tab. 5.) a v % (tab. 6).

Z těchto průměrných hodnot naměřené okamžité spotřeby ve sledovaném období vyplývá, že nejvíce energeticky náročným zařízením je kompresor.

<b>Průměrná naměřená okamžitá spotřeba pro jednotlivé měřené okruhy [kW/h]</b>					
Celkový příkon do ČOV	Čerpací stanice	Odplynění	Kompresor	Regenerace	Ostatní
69,8	3,3	12,4	32,3	9,5	12,3

tab.5: Průměrná naměřená okamžitá spotřeba pro jednotlivé měřené okruhy [kW/h]

<b>Průměrná naměřená okamžitá spotřeba pro jednotlivé měřené okruhy [%]</b>					
Celkový příkon do ČOV	Čerpací stanice	Odplynění	Kompresor	Regenerace	Ostatní
100	4,7	17,7	46,3	13,6	17,7

tab.6: Průměrná naměřená okamžitá spotřeba pro jednotlivé měřené okruhy [%]



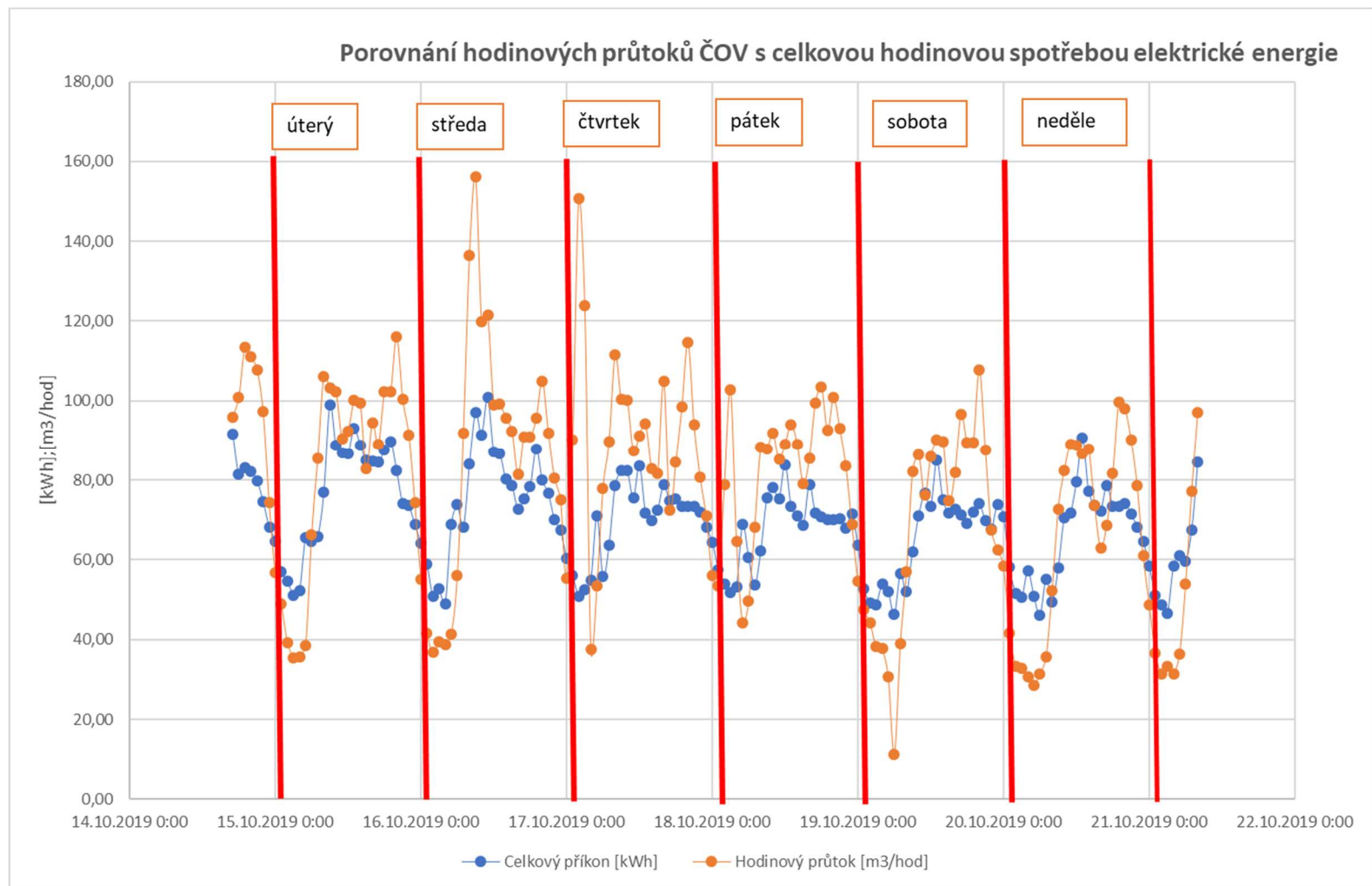
## 6.5. Porovnání průtoků ČOV s celkovou spotřebou elektrické energie

Po vynesení okamžité spotřeby jednotlivých technologických celků a průtoků v daném sledovaném období lze pozorovat trend přímé závislosti. Se zvyšujícími se průtoky stoupá hodnota vynaložené elektrické energie do procesu a naopak (obr. 14, str. 39).

Nejnižší hodnoty obou pozorovaných veličin byly sledovány po půlnoci do páté hodiny ranní, tj. doba nočního klidu, kdy lidé většinou spí a zařízení jako jsou místní jatka či prádelna nejsou v provozu, tudíž do ČOV nepřitéká takové množství odpadní vody a není potřeba vynaložení velkého množství energie do procesu čištění odpadních vod.

Naopak nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v době kolem osmé hodiny ranní a pak kolem osmé hodiny večerní.

Období víkendu nemělo na stávající trend takový vliv, pouze kolem poledne byly zaznamenány vyšší hodnoty sledovaných veličin. Lze to přisoudit tomu, že lidé bývají o víkendu doma, vaří, perou a myjí nádobí. Nutno ovšem podotknout, že ačkoli o víkendu nejsou v provozu místní jatka a prádelna, což jsou zde největší producenti odpadních vod, tím, že lidé o víkendu ve většině případů nechodí do práce a zůstávají doma, zastoupili v tomto případě místní prádelnu i jatka jako hlavní producenti odpadních vod.



obr. 14: Porovnání průtoku ČOV a celkovou spotřebou elektrické energie

## 6.6. Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg přivedeného znečištění - měření 2019

Při vlastním měření spotřeby energie pro ČOV a jednotlivé technologické celky byla specifická spotřeba vyhodnocena 2 způsoby. Při tom prvním bylo opět při stanovení specifické spotřeby elektrické energie na odstranění 1 kg znečištění (BSK<sub>5</sub>, N-NH<sub>4</sub>) vztažena celková spotřeba na odstranění 1 kg znečištění. Druhým způsobem pak bylo stanovení specifické spotřeby vztaženo pouze na stroje, a tedy spotřebu energií pouze pro zařízení, která se bezprostředně podílejí na vnosu kyslíku, a tedy na oxidaci přiváděného znečištění (viz kapitola 3.4.1.)

Pro potřeby těchto stanovení bylo nutné zajistit laboratorní analýzy ve sledovaném období, a to na přítoku a odtoku z ČOV v rozsahu 24 hodinových měření (slévaný vzorek typu B). Výsledky těchto analýz, včetně látkové bilance jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 7):

<b>ČOV</b>					
<b>Přítok</b>	<b>Průtok</b> [m <sup>3</sup> /24hod]	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
		[mg/l]	[kg/den]	[mg/l]	[kg/den]
15.-16.10.2019	1951,86	291,6	569	49,6	97
16.-17.10.2019	2290,47	393,3	901	48,9	112
17.-18.10.2019	2037,21	404,0	823	44,4	90
19.-20.10.2019	1603,74	460,5	739	54,8	88
<b>ODTOK</b>					
	<b>Průtok</b> [m <sup>3</sup> /24hod]	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
		[mg/l]	[kg/den]	[mg/l]	[kg/den]
15.-16.10.2019	1951,86	4,9	9,56	0,15	0,29
16.-17.10.2019	2290,47	4,5	10,31	1,2	2,75
17.-18.10.2019	2037,21	3,9	7,95	0,14	0,29
19.-20.10.2019	1603,74	3	4,81	0,28	0,45

<b>Odstraněné znečištění</b>	<b>BSK<sub>5</sub></b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
	[kg/den]	[kg/den]
15.-16.10.2019	559,6	96,5
16.-17.10.2019	890,5	109,3
17.-18.10.2019	815,1	90,2
19.-20.10.2019	733,7	87,4

tab. 7: Analýzy látkové bilance ve sledovaném období

Ve sledovaném období byly naměřeny tyto hodnoty aktuální spotřeby elektrické energie (tab. 8):

	Celkový příkon do ČOV	čerpací stanice	odplynění	kompresor	Regenerace
	[kWh /d]	[kWh /d]	[kWh /d]	[kWh /d]	[kWh /d]
15.-16.10.2019 (6:00- 5:00)	1825,38	83,47	311,68	822,35	227,05
16.-17.10.2019 (6:00- 5:00)	1801,68	96,55	302,65	804,39	222,89
17.-18.10.2019 (6:00- 5:00)	1674,44	72,67	301,93	787,06	217,95
19.-20.10.2019 (10:00 – 9:00)	1571,06	72,84	291,19	747,78	235,02

tab. 8: Aktuální spotřeby elektrické energie ve sledovaném období

### 6.6.1. Specifická spotřeba elektrické energie - celková spotřeba ČOV vztahovaná na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Následující tabulka (tab. 9) zobrazuje specifickou spotřebu elektrické energie v rámci celkové spotřeby ČOV vztahované na odstranění 1 kg BSK 5 nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

<b>Specifická spotřeba elektrické energie - Celková spotřeba ČOV vztahovaná na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>			
	BSK <sub>5</sub>	Celková spotřeba	Spotřeba energie pro odstr. 1 kg BSK <sub>5</sub>
	[kg/den]	[kWh/d]	[kWh/odstr kg BSK <sub>5</sub> ]
15.-16.10.2019	559,6	1825,38	3,3
16.-17.10.2019	890,5	1801,68	2,0
17.-18.10.2019	815,1	1674,44	2,1
19.-20.10.2019	733,7	1571,06	2,1
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Celková spotřeba	Spotřeba energie pro odstr. 1 kg N-NH <sub>4</sub>
	[kg/den]	[kWh/d]	[kWh/odstr kg N-NH <sub>4</sub> ]
15.-16.10.2019	96,5	1825,38	18,9
16.-17.10.2019	109,3	1801,68	16,5
17.-18.10.2019	90,2	1674,44	18,6
19.-20.10.2019	87,4	1571,06	18,0

tab. 9: Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> vztahováno na celkovou spotřebu ČOV

V měřeném období byly zjištěny tyto průměrné hodnoty Specifické spotřeby elektrické energie (tab. 10):

<b>Průměrná Specifická spotřeba elektrické energie - Celková spotřeba ČOV vztažená na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> nebo na N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>		
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg BSK <sub>5</sub>	[kWh/odstr kg BSK <sub>5</sub> ]	2,4
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg N-NH <sub>4</sub>	[kWh/odstr kg N-NH <sub>4</sub> ]	18,0

tab. 10: Průměrná specifická spotřeba elektrické energie

#### **6.6.2. Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg přivedeného znečištění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - měření 2019, rozdělení dle spotřeby kyslíku**

Při tomto výpočtu bylo uvažováno, že spotřeba zařízení pro provzdušnění (kompresor, dmyhadla pro odplynovací zónu a pro regeneraci) bude rozdělena v poměru spotřeby kyslíku pro odstranění NH<sub>4</sub> a BSK<sub>5</sub>. Ve sledovaném období byla spotřeba zařízení pro aeraci (tab. 11).

	Výkon Kompresor + odplynění + regenerace [kWh/d]
15.-16.10.2019	1361,08
16.-17.10.2019	1329,93
17.-18.10.2019	1306,94
19.-20.10.2019	1273,99

tab. 11: Spotřeba elektrické energie pro zařízení nutná pro aeraci

Teoretická spotřeba kyslíku pro odstranění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (tab.12):

	BSK <sub>5</sub>	O <sub>2</sub> - odstr BSK <sub>5</sub> (0,5 kg O <sub>2</sub> na 1 kg BSK <sub>5</sub> )
	[kg/den]	[kg]
15.-16.10.2019	559,6	279,80
16.-17.10.2019	890,5	445,27
17.-18.10.2019	815,1	407,54
19.-20.10.2019	733,7	366,86
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	O <sub>2</sub> - odstr NH <sub>4</sub> (4,33 kg O <sub>2</sub> na 1 kg N-NH <sub>4</sub> )
	[kg/den]	[kg]
15.-16.10.2019	96,5	417,93
16.-17.10.2019	109,3	473,08
17.-18.10.2019	90,2	390,42
19.-20.10.2019	87,4	378,60
		O <sub>2</sub> - celkem
		[kg]
	15.-16.10.2019	697,73
	16.-17.10.2019	918,34
	17.-18.10.2019	797,97
	19.-20.10.2019	745,45

tab. 12: Teoretická spotřeba kyslíku pro odstranění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ve sledovaném období

Celková spotřeba elektrické energie pro aeraci byla rozdělena mezi spotřebu pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v poměru dle spotřeb kyslíku (tab. 13):

<b>Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - rozdělení dle spotřeby kyslíku (KOMPRESOR, ODPLYNĚNÍ, REGENERACE)</b>				
	BSK <sub>5</sub>	O <sub>2</sub> - odstr BSK <sub>5</sub> (0,5 kg O <sub>2</sub> na 1 kg BSK <sub>5</sub> )	kWh/d odstr BSK <sub>5</sub>	Spotřeba energie pro odstr. 1 kg BSK <sub>5</sub> [kWh/odstr kg BSK <sub>5</sub> ]
	[kg/den]	[kg]		
15.-16.10.2019	559,6	279,80	545,8	0,98
16.-17.10.2019	890,5	445,27	644,8	0,72
17.-18.10.2019	815,1	407,54	667,5	0,82
19.-20.10.2019	733,7	366,86	627,0	0,85
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	O <sub>2</sub> - odstr NH <sub>4</sub>	kWh/d odstr N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Spotřeba energie pro odstr. 1 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [kWh/odstr kg N-NH <sub>4</sub> ]
	[kg/den]	[kg]		
15.-16.10.2019	96,5	417,93	815,3	8,45
16.-17.10.2019	109,3	473,08	685,1	6,27
17.-18.10.2019	90,2	390,42	639,4	7,09
19.-20.10.2019	87,4	378,60	647,0	7,40

tab. 13: Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - rozdělení dle spotřeby kyslíku

Následuje shrnutí výsledných hodnot průměrné specifické spotřeby elektrické energie pro odstranění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - rozdělení dle spotřeby kyslíku (tab. 14)

<b>Průměrná Specifická spotřeba elektrické energie - Celková spotřeba zařízení rozdělená dle spotřeby kyslíku na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>		
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg BSK <sub>5</sub>	[kWh/odstr kg BSK <sub>5</sub> ]	0,84
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg N-NH <sub>4</sub>	[kWh/odstr kg N-NH <sub>4</sub> ]	7,30

tab. 14: Výsledné hodnoty průměrné specifické spotřeby elektrické energie pro odstranění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - rozdělení dle spotřeby kyslíku

## 6.7. KAL

Produkce odvodněného kalu na ČOV Vlašim činí v průměru za rok 1130 tun. Z toho je sušina 18,1 %. Předpoklad na základě provozních zkušeností z jiných ČOV s podobnou kalovou koncovkou při použití odstředivky je sušina 21 %. V tomto má ČOV Vlašim jisté nedostatky, co se týče úspory elektrické energie. Kal z místní ČOV se plánuje vozit do nízkoteplotní sušárny kalů. Z tohoto důvodu je zde potřeba dosáhnout co nejvyšší sušiny již na místě v ČOV. Odstranění 1kg vody v sušárně představuje spotřebu tepelné energie 0,85 kW (Vodohospodářský podnik a.s. 2019). V následujících tabulkách 15 a 16 je uveden výpočet pro odhad úspory energetických nákladů při úpravě kalu za předpokladu umístění odstředivky na ČOV Vlašim při dosažení sušiny 21 % (tab. 15).

produkce kalu	[t /rok]	1130	produkce kalu	[t /rok]	974
sušina	[%]	<b>18,1</b>	sušina	[%]	<b>21</b>
voda	[t]	925,47	voda	[t]	769
<b>sušina</b>	<b>[t]</b>	<b>204,53</b>	<b>sušina</b>	<b>[t]</b>	<b>204,53</b>

tab. 15: Příklad dosahované sušiny 18,1 % s porovnáním předpokladu dosažení sušiny 21 %

Zvýšením sušiny z 18,1 na 21 % dosáhneme snížení celkového množství produkovaného kalu, a to z 1 130 t na 974 t/rok. Tedy o 156 t vody méně. V případě převozu kalu na nízkoteplotní sušárnu budou uspořeny provozní náklady na přepravu a dále náklady pro výrobu tepelné energie, která je nutná pro odpaření vody.

Rozdíl	[kg]	156 048
	[kWh tepla/kg H <sub>2</sub> O]	0,85
Úspora	[kWh tepla]	132 626

tab.16: Odhad úspory nákladů při osazení odstředivky a dosažení sušiny 21 %

Z předchozí tabulky (tab. 16) vyplývá, že za předpokladu instalace odstředivky pro dosažení sušiny 21 % by z hlediska spotřeby tepelné energie náklady spojené s kalovým hospodářstvím klesly o cca 133 GWh tepla ročně. Na základě těchto informací doporučuji instalaci odstředivky na ČOV Vlašim pro dosažení efektivnějšího obsahu sušiny a zároveň pro úsporu finančních prostředků oproti transportu sušiny s vyšším % vody do sušárny, které lze využít pro modernizaci ostatních zařízení na ČOV.



## 7. DISKUSE

### 7.1. Shrnutí průměrných měsíčních specifických spotřeb pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (údaje pro rok 2018)

Z následující tabulky (tab. 17) vyplývají hodnoty průměrné měsíční specifické spotřeby elektrické energie 2,12 kWh pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a 18,28 kWh pro odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> je cca 9 x energeticky náročnější než odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub>.

	[kWh/odstr. 1 kg]
Průměrná měsíční specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg BSK <sub>5</sub>	2,12
Průměrná měsíční specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	18,28

tab. 17: Průměrné specifické spotřeby pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

### 7.2. Spotřeba energie ČOV

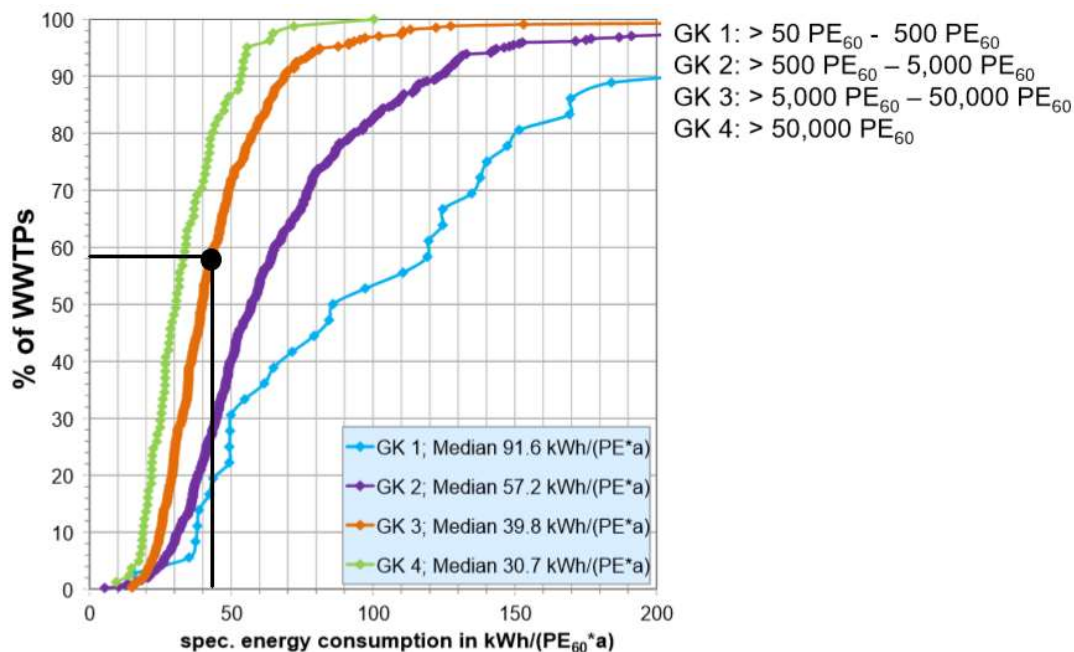
Z ročních a měsíčních spotřeb elektrické energie byla vypočtena specifická spotřeba pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody a specifická spotřeba pro odstranění znečištění od 1 EO, a to pro rok 2018 (tab. 18):

Kapacita EO	[EO dle BSK <sub>5</sub> ]	<b>12900</b>
Spotřeba energie 2018	[kWh/rok]	<b>688 024</b>
Zatížení ČOV v roce 2018	[EO dle BSK <sub>5</sub> ]	<b>15992</b>
Množství vyčištěné vody 2018	[m <sup>3</sup> /rok]	<b>706634</b>
<b>Specifická spotřeba 2018</b>	<b>[kWh/m<sup>3</sup>]</b>	<b>0,97</b>
<b>Specifická spotřeba 2018</b>	<b>[kWh/EO]</b>	<b>43,0</b>

tab. 18: ČOV Vlašim-souhrnný přehled pro rok 2018

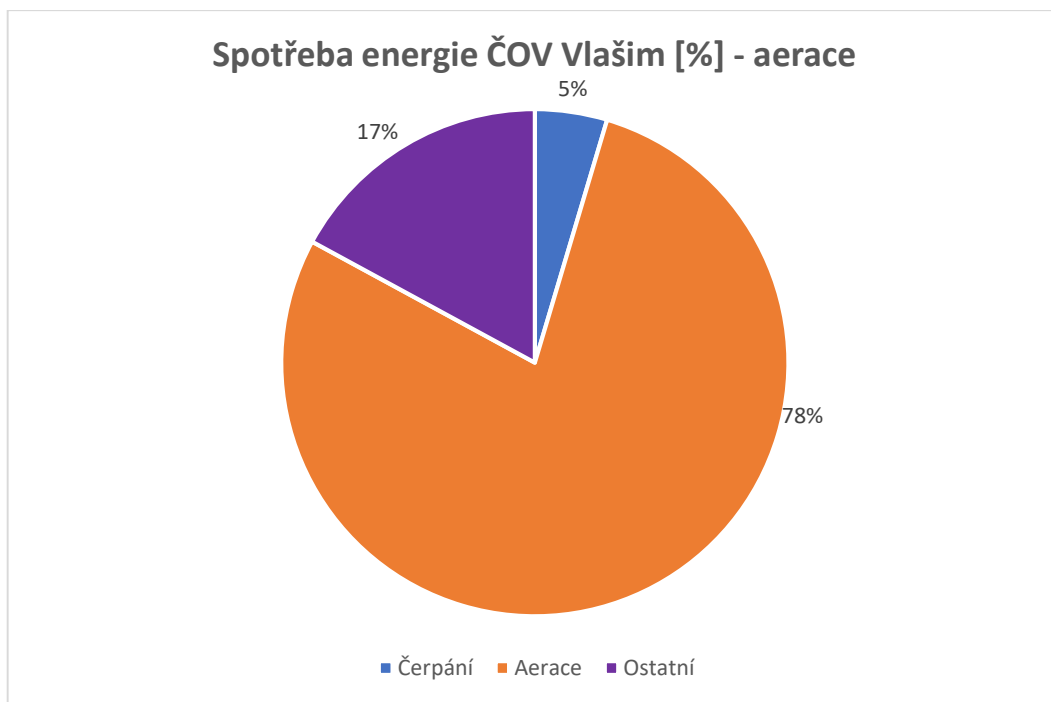
V porovnání s obr. 6 (obr. 6, str. 22) nyní můžeme umístit bod, kde se v hodnocení specifických spotřeb nacházela ČOV Vlašim v roce 2018 (obr. 15, str 47). Lze tak přesně určit z tabulky 16, kdy zatížení ČOV v roce 2018 na ekvivalentního obyvatele

dle BSK bylo 15 992 EO a specifická spotřeba v daném roce vykazovala hodnotu 43 kWh/EO. Lze tedy konstatovat, že ČOV Vlašim je na tom z energetického hlediska v tomto případě průměrná s porovnáním dat pro Rakousko.

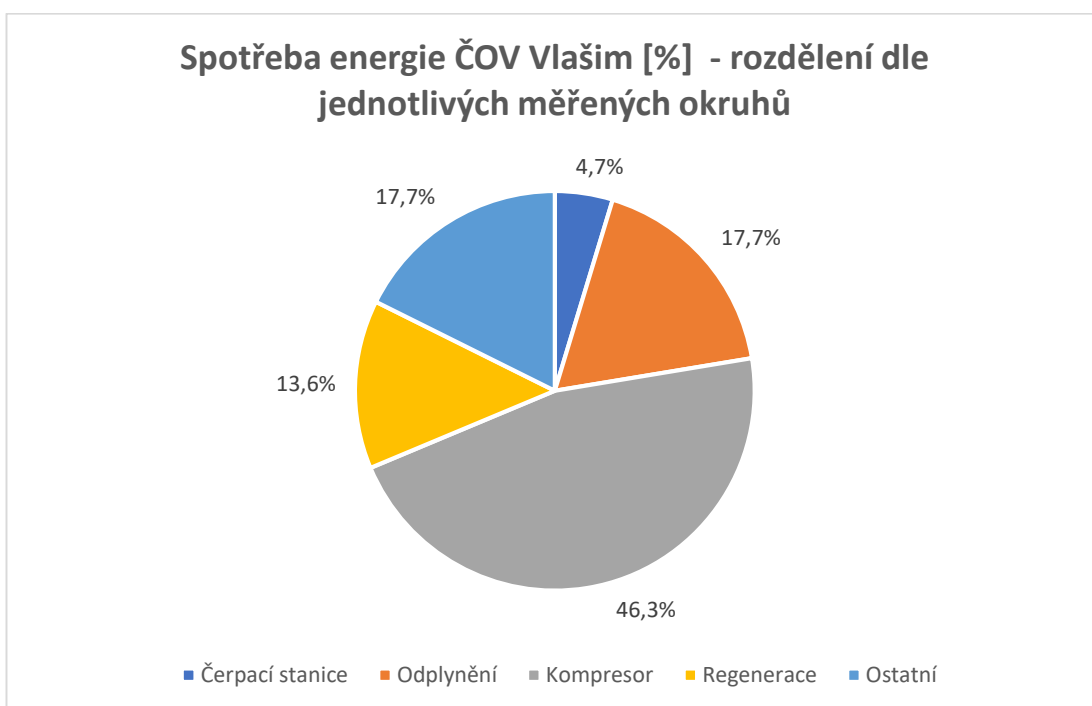


obr. 15: Specifická spotřeba elektrické energie vztážená na počet EO pro ČOV Vlašim

Na následujícím grafu (obr. 16, str. 48) lze pozorovat porovnání spotřeby energie ČOV Vlašim s grafem (obr. 5, str. 22) obecné spotřeby pro ČOV. Jednotlivé části technologické linky ČOV Vlašim vykazují odlišné spotřeby v porovnání s hodnotami v literatuře, kdy pro aeraci spotřebovává 78 % místo 44 %. Pro čerpání nátoků odpadních vod je spotřebováno celkem 5 % a celkem 17 % veškeré elektrické energie se spotřebovává na míchání, odvodnění kalu, a jiných. Další graf (obr. 17., str. 48) je věnován rozložení spotřeby energie v měřených okruzích.



obr. 16: Spotřeba energie ČOV Vlašim v poměrech ku aeraci



obr. 17: Spotřeba energie ČOV Vlašim v poměrech k jednotlivým měřeným okruhům

### 7.3. Porovnání průměrné naměřené spotřeby se štítkovými výkony jednotlivých technologických celků

Porovnání průměrné naměřené spotřeby se štítkovými výkony jednotlivých technologických celků		
technologický celek	štítkový výkon(kW)	naměřený výkon (kW)
čerpací stanice	5,3	3,3
odplynění	16,5	12,4
kompresor	55	32,3
regenerace	14,5	9,5
<b>celkem</b>	<b>91,3</b>	<b>57,5</b>

tab. 19: Porovnání průměrné naměřené spotřeby se štítkovým výkony jednotlivých technologických celků

Porovnáním štítkových výkonů se skutečnou naměřenou hodnotou kW (tab. 19) lze zjistit, že jednotlivé technologické celky jako je čerpací stanice odplynění, kompresor a regenerace jsou v provozu s nasazením na 63 %.

V případě, že vezmeme v potaz celkový štítkový výkon všech zařízení na ČOV, který po zaokrouhlení činí 103,4 kW (tab. 1, str. 19), podílejí se procesy čerpací stanice odplynění, kompresor a regenerace provozu 55,61 %.

Z toho lze usoudit, že ČOV Vlašim má z energetického hlediska pozitivní rezervy a že zařízení a jednotlivé technologické celky jsou pro oblast Vlašim dostačující.

### 7.4. Porovnání s ČOV Benešov

Pro porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov byly vybrány průměrné specifické spotřeby elektrické energie, tj. celková spotřeba ČOV vztažená na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub>. V případě ČOV Benešov jde pouze o odborný odhad spotřeby el. energie dmychadel pro aeraci nitrifikačních nádrží a specifické spotřeby elektrické energie, jelikož se v případě ČOV Benešov v minulosti měření neprovádělo na jiných zařízeních kromě dmychadel. V následující tabulce (tab. 20, str. 50) lze pozorovat stejné hodnoty, co se týče spotřeby energie pro odstranění 1 kg. BSK<sub>5</sub>. Naopak hodnoty pro odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> vykazuje ČOV Vlašim o dvě jednotky vyšší

v jednotkách kWh/ odstranění 1 kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Lze tedy konstatovat, že zařízení ČOV Vlašim je v tomto případě energeticky náročnější. Nutno však brát v potaz, že na ČOV Benešov se jedná pouze o odborný odhad spotřeby.

<b>Průměrná Specifická spotřeba elektrické energie - Celková spotřeba ČOV vztažená na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (údaje získané přímým měřením spotřeby na ČOV)</b>			
		ČOV Vlašim	ČOV Benešov
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg BSK <sub>5</sub>	[kWh/odstr kg BSK <sub>5</sub> ]	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	[kWh/odstr kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	<b>18</b>	<b>16</b>

tab. 20: Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska průměrné specifické spotřeby el. energie pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Dalším ukazatelem pro srovnání těchto dvou zařízení je specifická spotřeba energie rozdělená dle spotřeby kyslíku na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Z následující tabulky (tab. 21) lze vidět podstatný rozdíl mezi ČOV Vlašim, která dle analýz vychází jako energeticky méně náročná než ČOV Benešov. V tomto případě lze usoudit, že zařízení „deep shaft“ je efektivnější než horizontální způsob čištění odpadních vod.

<b>Průměrná Specifická spotřeba elektrické energie - Celková spotřeba zařízení rozdělená dle spotřeby kyslíku na odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>			
		ČOV Vlašim	ČOV Benešov
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg BSK <sub>5</sub>	[kWh/odstr kg BSK <sub>5</sub> ]	<b>0,84</b>	<b>1,04</b>
Spotřeba energie pro odstr. 1 kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	[kWh/odstr kg N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	<b>7,3</b>	<b>9</b>

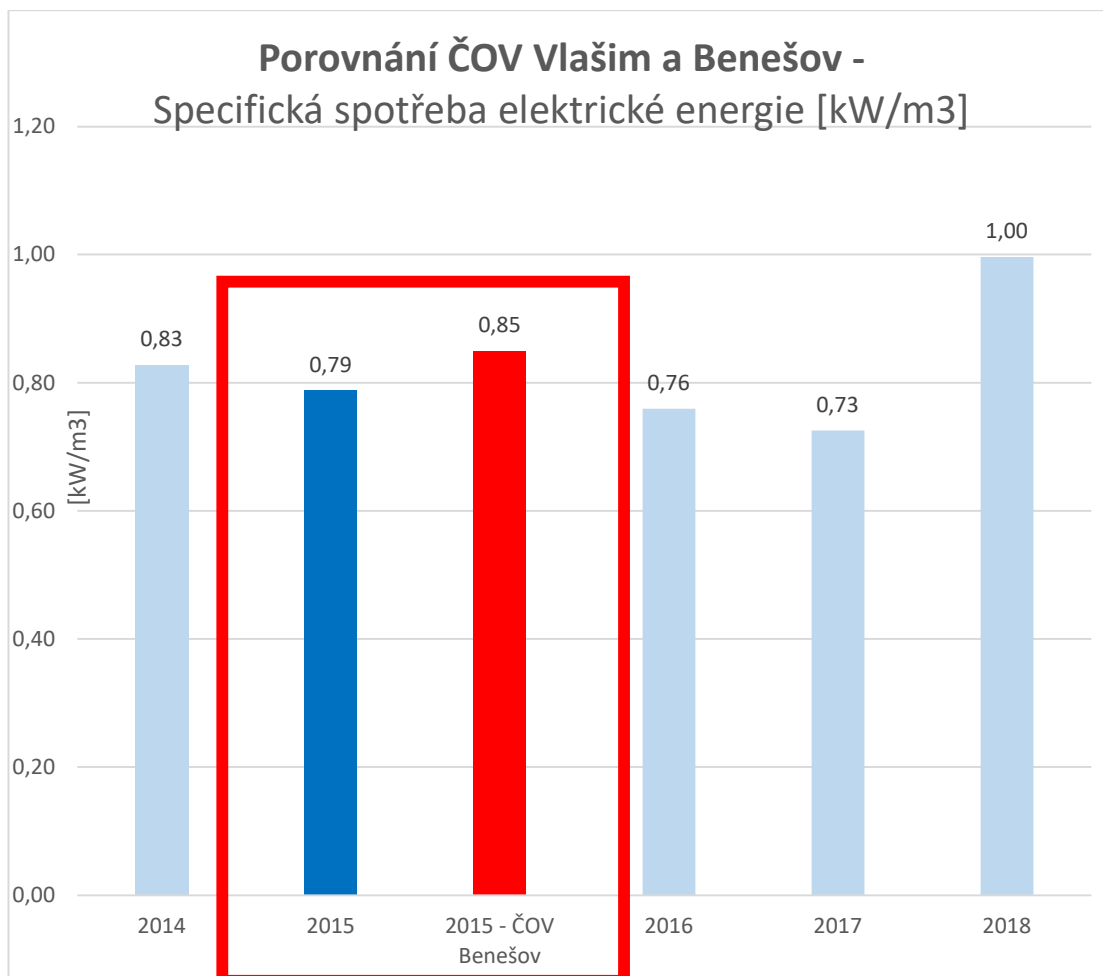
tab. 21: Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska průměrné specifické spotřeby el. energie pro odstranění 1 kg BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> rozdělená dle spotřeby kyslíku

Třetím ukazatelem pro porovnání je specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody ČOV Vlašim v roce 2018 a ČOV Benešov v roce 2015. Z následující tabulky (tab. 22) vyplývá, že ačkoli se zařízení ČOV Vlašim se zařízením na principu deep shaftjevila jako energeticky méně náročná, je tomu naopak. ČOV Benešov po rekonstrukci v roce 2015 je z tohoto hlediska energeticky méně náročnější.

<b>Specifická spotřeba el. energie pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody</b>			
		ČOV Vlašim r. 2018	ČOV Benešov r. 2015
Spotřeba energie pro vyčištění 1 m <sup>3</sup> odpadní vody	[kWh/m <sup>3</sup> ]	<b>0,97</b>	<b>0,85</b>

tab. 22: Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska specifické spotřeby el. energie pro odstranění vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody

Dalším možným porovnáním specifické spotřeby elektrické energie je srovnání roku 2015 na ČOV Benešov s ČOV Vlašim pro rok 2015 (obr. 18, str. 52). Data na pozadí grafu pochází z let 2015 – 2018 pro ČOV Vlašim, k nimž byl přidán sloupec dat získaných v roce 2015 pro ČOV Vlašim (červeně). Z dat jasně vyplývá, že ačkoli ČOV Benešov byla v roce 2015 po rekonstrukci, její spotřeba byla vyšší v porovnání s ČOV Vlašim.



obr. 18: Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska specifické spotřeby el. energie pro odstranění vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody za rok 2015

## 7.5. Sušení kalu

Na základě prognózy provozních nákladů na odstředivku pro dosažení sušiny 21 % doporučuji osazení odstředivky na ČOV Vlašim pro dosažení efektivnějšího obsahu sušiny, kde by sušina „poskytla“ následnou nižší energetickou náročnost pro sušení v připravovaném regionálním kalovém centru s nízkoteplotní sušárnou, u kterého je nejdůležitějším kritériem pro přijímání do zařízení celková sušina kalu.

## 8. ZÁVĚR

Diplomová práce shrnuje detailní popis jednotlivých zařízení na ČOV Vlašim, věnuje se metodě hodnocení, tedy metodě Benchmarking ve světovém měřítku a zároveň porovnává mezi sebou ČOV Vlašim s ČOV Benešov. Zahrnuje též výpis důležitých legislativních opatření ve vodním hospodářství a charakterizuje dané území.

Byla zpracována data energetické náročnosti ČOV Vlašim pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody. Dále pak proběhlo měření specifické energetické spotřeby vybraných elektrických okruhů na ČOV současně s měřením průtoků a provedení laboratorních analýz pro stanovení specifické spotřeby energie pro odstranění přiváděného znečištění, a to dvěma způsoby. Prvním bylo stanovení specifické spotřeby elektrické energie na odstranění 1 kg znečištění (BSK<sub>5</sub> nebo N-NH<sub>4</sub>), spočítáno jako celková spotřeba elektrické energie pro ČOV vztažená na odstranění 1 kg znečištění. Druhým způsobem pak bylo stanovení specifické spotřeby počítáno pouze ze spotřeby energií těch zařízení, která se bezprostředně podílejí na vnosu kyslíku, a tedy na oxidaci přiváděného znečištění (kompresor, odplynění a regenerace).

Kapitoly 6 a 7 jsou věnovány výsledkům a jejich zhodnocení v odvětví energetické náročnosti ČOV Vlašim pro vyčištění 1 m<sup>3</sup> odpadní vody, specifické spotřeby energie pro odstranění přiváděného znečištění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a stanovení průměrných měsíčních spotřeb pro tato znečištění, průtoků pro sledované období a okamžitých spotřeb elektrické energie pro vybrané technologické celky a specifických spotřeb elektrické energie pro sledované období vztažené na odstranění přiváděného znečištění BSK<sub>5</sub> a N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Dále je diskutováno porovnání vybraných výsledných hodnot naměřených na ČOV Vlašim s ČOV Benešov. V poslední řadě je diskutována problematika kalového hospodářství.

Záležitostí budoucnosti, vzhledem k výsledkům této práce, je doporučena úvaha provozovateli nad pořízením odstředivky za účelem dosažení sušiny 21 %. Zvýšení podílu sušiny v odvodňovaném kalu bude klíčové pro následné sušení v nízkoteplotní sušárně, která je uvažována jako možné řešení pro nakládání s čistírenskými kaly.



Dalším doporučením je aplikovat sledování energetické bilance na všech podobných provozovnách, vzájemně je porovnávat a sledovat naměřené hodnoty vzhledem k typu provozoven a centrálně využívat těchto výsledků pro zdokonalování jednotlivých procesů a modernizací všech ČOV.

## 9. PŘEHLED LITERATURY

- ASIO, ©2019: Energie odpadních vod z ČOV: Snížení energetické náročnosti ČOV (online), [cit.2019.11.05], dostupné z <<https://www.asio.cz/cz/energie-odpadnich-vod-z-cov>>.
- Camp R.C., 1989: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance. ASQC Quality Press, Milwaukee, 320 s., ISBN 978-1-56327-352-0.
- Capodaglio A.G., Olsson G., 2019: Energy Issues in Sustainable Urban Wastewater Management: Use, Demand Reduction and Recovery in the Urban Water Cycle. Sustainability 12: 266.
- Crawford, G., Sandino, J.: energy Efficiency in Waste Water Treatment in North America: A Compendium of Best Practices and Case Studies of Novel Approaches. IVA Publishing, London 2010, 122 pp.
- Čekal R., 2018: Vývoj sucha od roku 2014 a jeho vyhodnocení za září 2018. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 19.
- Fialová M., 2007: Provozní řád: Vodohospodářská společnost Benešov. 34.
- Hartwig P., Rosenwinkel K.H, Hinken L., 2011: Energieautarker Kläranlagenbetrieb durch eine integrierte Industrie- und Kommunalabwasserbehandlung am Beispiel der Kläranlage Rheda-Wiedenbrück, 44. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft , Geeasserschutz – Wasser – Abwasser. 223
- Haslinger J., Lindtner S., Krampe J., 2016: Operating costs and energy demand of wastewater treatment plants in Austria: Benchmarking results of the last 10 years. Water Science and Technology. IWA, 74 (11). 2620 – 2626.
- Holba M., Bartoník A., Škorvan O., Horák P., Počinková M., Plotěný K., 2012: Vodní hospodářství: Energetický potenciál odpadních vod. Vodní hospodářství: Energetický potenciál odpadních vod, 62 (2). 42-48.

- Chudoba J., Dohányos M., Wanner J., 1991: Biologické čištění odpadních vod: Spotřeba kyslíku vzduchu. Praha: SNTL. 465 s. ISBN 80-03-00611-2.
- Chudoba P., Beneš O., Rosenbergrová R., 2010: Benchmarking velkých ČOV - II.část. 2010 (6), 157 – 161.
- Kavalír P., Paul J., Klouboučník V., 2014: Sborník přednášek ze semináře: Nové metody a postupy při provozování čistíren odpadních vod. Brno: 93-100.
- Krampe J., 2019: Energy efficiency in wastewater treatment: Department of Technology and Environmental Engineering. 26 th November 2019. UCT, Prague.
- Lellák J., 1991: Hydrobiologie. 1. Praha: Karolinum, 257 s. ISBN 80-706-6530-0.
- Lorenzo – Toya Y. Vázquez – Rowe M., Amores Ch., Termes – Rifé D., Marín – Navarro M., Moreira T., Feijoo G., 2016: Benchmarking wastewater treatment plants under an eco-efficiency perspective. Elsevier. Science of the Total Environment (12). 468-479.
- Marton D., Horská M. 2019: Legislativa ve vodním hospodářství (online), [cit.2019.09.21]. Vysoké učení technické v Brně. Brno. Dostupné z <<http://vodnihospodarstvi.cz/legislativa-ve-vodnim-hospodarstvi/>>.
- Möller K., Fertzbach F., Nothhanf F., Waidelich P., Schulz A., 2012: Benchmarking in the wastewater sector - taking stock. European Water Association (online), [cit. 2019-10-02]. Dostupné z: <<http://www.ewa-online.eu/benchmarking-in-the-wastewater-sector-2012.html>>.
- Vidrna L., 2019: Schéma ČOV Vlašim (nepublikováno)
- Vidrna L., 2019: ústní informace (nepublikováno)

- Vidrna L., 2016: Vyhodnocení energetické náročnosti ČOV Benešov před rekonstrukcí a po ní. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Fakulta technologie ochrany prostředí, Ústav technologie vody a prostředí, Praha. 66. Dep. VÚT v Praze.
- Vodohospodářský podnik a.s., 2019: Studie „ČOV Benešov - regionální sušárna kalu“. Předprojektová příprava. Plzeň, 303 02 Pražská 14.

## 10. SEZNAM OBRÁZKŮ

obr. 1:	Osazení klešťových měřáků na hlavním přívodu do ČOV	5
obr. 2:	Osazení klešťových měřáků na přívod pro čerpací stanici	5
obr. 3:	Osazení klešťových měřáků na přívod pro regeneraci	6
obr. 4:	Schéma ČOV Vlašim (Vidrna,2019)	9
obr. 5:	Spotřeba energie ČOV (ASIO, modified 2019)	22
obr. 6:	Specifická spotřeba elektrické energie vztažená na počet EO (Haslinger at al, 2016)	22
obr. 7:	Specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m <sup>3</sup> odpadní vody	29
obr. 8:	Specifická spotřeba elektrické energie pro vyčištění 1 m <sup>3</sup> odpadní vody	30
obr. 9:	Stanovení spotřeb vztaženo na N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	32
obr. 10:	Stanovení spotřeb vztaženo na BSK <sub>5</sub>	34
obr. 11:	Hodnoty průtoků v jednotkách l/s	34
obr. 12:	Hodnoty průtoků v jednotkách m <sup>3</sup> /hod	35
obr. 13:	Okamžitá spotřeba pro jednotlivé technologické celky	36
obr. 14:	Porovnání průtoků ČOV a celkovou spotřebou elektrické energie	39
obr. 15:	Specifická spotřeba elektrické energie vztažená na počet EO pro ČOV Vlašim	47
obr. 16:	Spotřeba energie ČOV Vlašim v poměrech ku aeraci	48
obr. 17	Spotřeba energie ČOV Vlašim v poměrech k jednotlivým měřeným okruhům	48
obr. 18:	Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska specifické spotřeby el. energie pro odstranění vyčištění 1 m <sup>3</sup> odpadní vody za rok 2015	52

## 11. SEZNAM TABULEK

tab. 1:	Vybraná strojní zařízení a jejich štítkový výkon	19
tab. 2:	Přehled měsíčních hodnot průtoků a spotřeb elektrické energie a specifické energie kWh/m <sup>3</sup> pro období 2014 - 2018	27
tab. 3:	Stanovení měsíční specifické spotřeby pro N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	31
tab. 4:	Stanovení měsíční specifické spotřeby pro BSK <sub>5</sub>	33
tab. 5:	Průměrná naměřená okamžitá spotřeba pro jednotlivé měřené okruhy [kW/h]	37
tab. 6:	Průměrná naměřená okamžitá spotřeba pro jednotlivé měřené okruhy [%]	37
tab. 7:	Analýzy látkové bilance ve sledovaném období	40
tab. 8:	Aktuální spotřeby elektrické energie ve sledovaném období	41
tab. 9:	Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění 1 kg BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> vztaheno na celkovou spotřebu ČOV	41
tab. 10:	Průměrná specifická spotřeba elektrické energie	42
tab. 11:	Spotřeba elektrické energie pro zařízení nutná pro aeraci	42
tab. 12:	Teoretická spotřeba kyslíku pro odstranění BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ve sledovaném období	43
tab. 13:	Specifická spotřeba elektrické energie pro odstranění BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - rozdělení dle spotřeby kyslíku	44
tab. 14:	Výsledné hodnoty průměrné specifické spotřeby elektrické energie pro odstranění BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - rozdělení dle spotřeby kyslíku	44
tab. 15:	Případ dosahované sušiny 18,1 % s porovnáním předpokladu dosažení sušiny 21 %	45

tab. 16:	Odhad úspory nákladů při osazení odstředivky a dosažení sušiny 21 %	45
tab. 17:	Průměrné specifické spotřeby pro odstranění 1 kg BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	46
tab. 18:	ČOV Vlašim-souhrnný přehled pro rok 2018	46
tab. 19:	Porovnání průměrné naměřené spotřeby se štítkovým výkony jednotlivých technologických celků	49
tab. 20:	Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska průměrné specifické spotřeby el. energie pro odstranění 1 kg BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	50
tab. 21:	Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska průměrné specifické spotřeby el. energie pro odstranění 1 kg BSK <sub>5</sub> a N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> rozdělená dle spotřeby kyslíku	50
tab. 22:	Porovnání ČOV Vlašim s ČOV Benešov z hlediska specifické spotřeby el. energie pro odstranění vyčištění 1 m <sup>3</sup> odpadní vody	51

## 12. PŘÍLOHY



příloha 1: Celkový pohled na ČOV Vlašim



příloha 2: Kompresory pro deep shaft

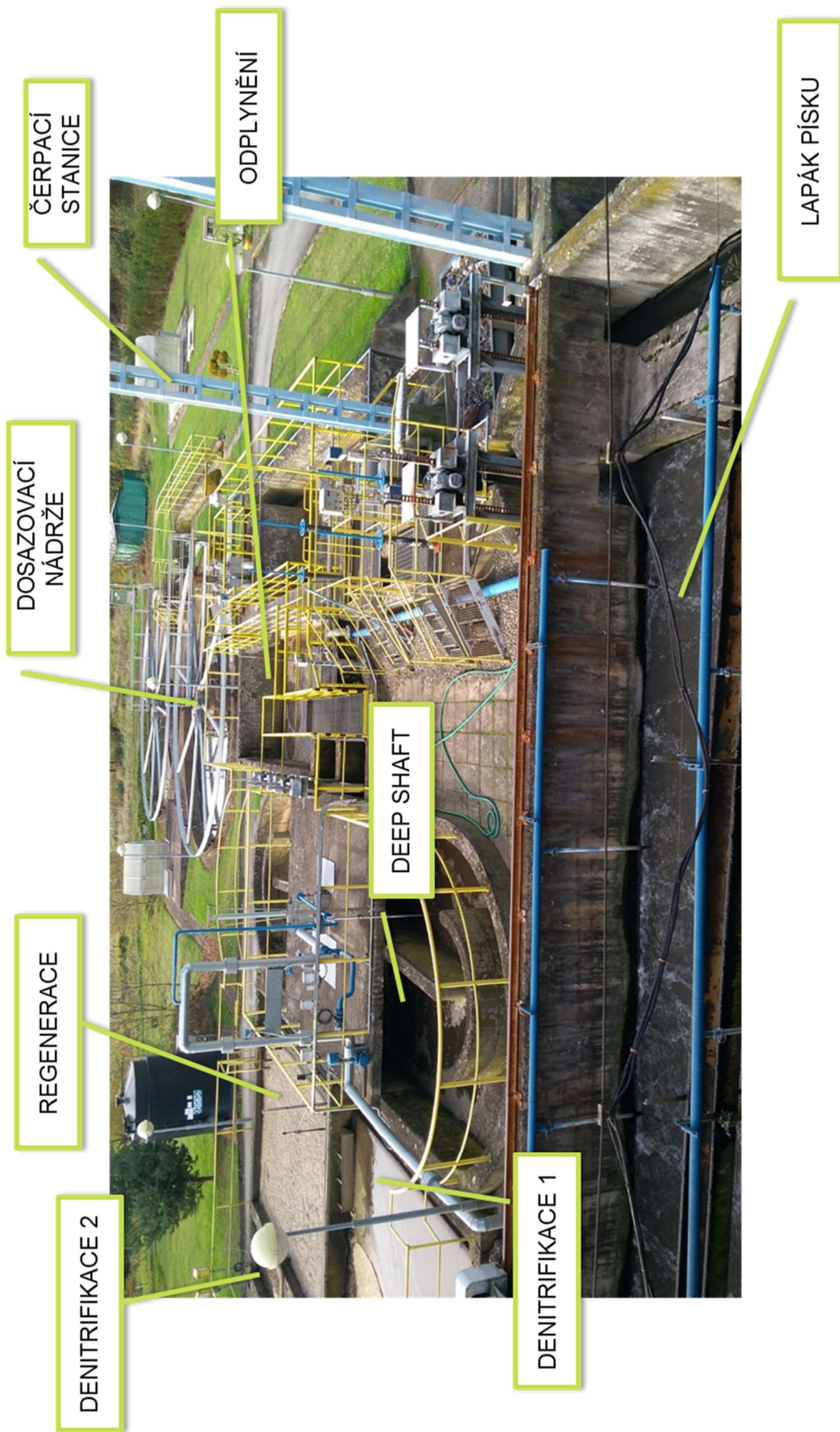




příloha 3: Čerpací stanice



příloha 4: Deep shaft



příloha 5: Pohled na ČOV Vlašim – stručný popis