

Posouzení efektivity kořenových čistíren jako alternativy pro čištění odpadních vod

Bc. Michaela Baštrnáková

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení
Ústav environmentální bezpečnosti

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Michaela Baštrnáková
Osobní číslo: L22345
Studijní program: N1032A020002 Bezpečnost společnosti
Specializace: Environmentální bezpečnost
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Posouzení efektivity kořenových čistíren jako alternativy pro čištění odpadních vod

Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši na téma čištění odpadních vod se zaměřením na alternativní technologie čištění.
- Popište aspekty využití kořenových čistíren odpadních vod v kontextu vhodnosti jejich použití a legislativních kritérií.
- Provedte standardizovaný odběr vzorků vod, analyzujte v nich přítomnost organického znečištění a vyhodnotte účinnost vybrané kořenové čistírny odpadních vod.
- Korelujte vlastní experimentální data s odbornou literaturou a dostupnými statistickými údaji.
- Diskutujte relevanci a potenciál kořenových čistíren odpadních vod pro potřeby obcí v České republice.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. ROZKOŠNÝ, Miloš, Michal KRIŠKA, Jan ŠÁLEK, Igor BODÍK a Darja ISTENIČ. *Natural Technologies of Wastewater Treatment*. Praha: Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 2014. ISBN 978-80-214-4831-5.
2. SÝKORA, Vladimír, Hana KUJALOVÁ a Pavel PITTER. *Hydrochemie pro studenty bakalářského studia*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-949-5.
3. ZÁRUBA, Kamil. *Analytická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-950-1.

Další odborná literatura dle doporučení vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Vladimír Sedlařík, Ph.D.**
Centrum polymerních systémů

Datum zadání diplomové práce: **1. prosince 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. dubna 2024**

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- 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 (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 26.4.2024

Jméno a příjmení studenta: Bc. Michaela Baštrnáková

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Diplomová práce popisuje problematiku čištění odpadních vod, legislativní rámec a možné způsoby čištění odpadních vod v malých obcích v České republice. Praktická část je zaměřena na monitoring plnění povolených emisních limitů pro vypouštěné odpadní vody konkrétní kořenovou čistírnou a jejich porovnání s hodnotami vybraných konvenčních čistíren. V rámci praktické části byl proveden experimentální odběr vzorků vod s jejich následnou analýzou s použitím metod pro stanovení pH, vodivosti, elementární analýzy, zejména celkového uhlíku a dusíku, mikrobiologické aktivity, obsahu sušiny a optických vlastností. Součástí praktické části bylo také provedení finančního porovnání kořenových a konvenčních čistíren odpadních vod. Na závěr praktické části byla provedena SWOT analýza kořenových čistíren. Na základě praktické části byly kořenové čistírny vyhodnoceny jako jedno z vhodných technologických řešení pro čištění odpadních vod v malých obcích.

Klíčová slova: odpadní voda, čištění odpadních vod, kořenová čistírna odpadních vod

ABSTRACT

The thesis describes the issue of wastewater treatment, the legislative framework and possible ways of wastewater treatment in small municipalities in the Czech Republic. The practical part is focused on monitoring the fulfilment of the permitted emission limits for discharged wastewater by a specific root wastewater treatment plant and their comparison with the values of selected conventional wastewater treatment plants. Within the practical part, experimental sampling of water samples was carried out with their subsequent analysis using methods for determination of pH, conductivity, elemental analysis, especially total carbon and nitrogen, microbiological activity, dry matter content and optical properties. The practical part also included a financial comparison of root and conventional wastewater treatment plants. At the end of the practical part, a SWOT analysis of the root wastewater treatment plants was carried out. Based on the practical part, root wastewater treatment plants were evaluated as one of the suitable technological solutions for wastewater treatment in small municipalities.

Keywords: wastewater, wastewater treatment, root wastewater treatment plant

V první řadě bych chtěla poděkovala vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Vladimíru Sedlaříkovi, Ph.D. za jeho ochotu, připomínky a čas, který mi věnoval. Poděkování patří také odbornému týmu z Centra polymerních systémů UTB ve Zlíně, zejména RNDr. Evě Domincové Bergerové, Ph.D. a Ing. Haně Pištěkové, Ph.D., které mi poskytly cenné rady k provádění analýze vzorků.

Dále bych ráda poděkovala obci Hostětín, která mi poskytla spoustu informací, materiálů, a především mi umožnila využít jejich kořenovou čistírnu pro experimentální část mé diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 DEFINICE ODPADNÍCH VOD	12
1.1 ODPADNÍ VODA	12
1.1.1 Splaškové odpadní vody	13
1.1.2 Průmyslové odpadní vody	16
1.1.3 Srážkové vody	16
1.1.4 Vody ze zdravotnických zařízení	17
1.1.5 Balastní vody	17
1.2 ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	18
1.2.1 Organické látky	18
1.2.2 Anorganické látky	20
1.3 LEGISLATIVA A INSTITUTE	22
1.3.1 Legislativa EU	22
1.3.2 Národní legislativa	23
1.3.3 Instituce státní správy	26
2 KONVENČNÍ TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	28
2.1 DECENTRALIZOVANÝ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ	28
2.1.1 Bezodtoká nádrž k akumulaci odpadních vod	28
2.1.2 Vícekomorová zařízení k přečištění odpadních vod	29
2.1.3 Domácí čistírny odpadních vod	29
2.2 CENTRALIZOVANÝ ZPŮSOB ČIŠTĚNÍ	30
2.2.1 Mechanické předčištění a čištění	31
2.2.2 Biologické (sekundární) čištění	33
2.2.3 Terciární čištění	35
2.2.4 Kalové hospodářství	36
3 ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	39
3.1 VEGETAČNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY	39
3.1.1 Kořenová čistírna s horizontálním filtrem	40
3.1.2 Kořenová čistírna s vertikálním filtrem	41
3.1.3 Hybridní systémy	41
3.1.4 Vegetace	42
3.1.5 Domácí kořenová čistírna	43
3.1.6 Historie kořenových čistíren v České republice	43
3.2 PŮDNÍ FILTRY	44
3.3 BIOLOGICKÉ NÁDRŽE	45
II PRAKTICKÁ ČÁST	47
4 ANALÝZA VZORZŮ ODPADNÍ VODY	48
4.1 LEGISLATIVNÍ LIMITY	48

4.1.1	Hostětín	49
4.1.2	KČOV Hostětín vs. tradiční ČOV	51
4.2	ODBĚR VZORKŮ.....	54
4.3	LABORATORNÍ ANALÝZA VZORKŮ.....	56
4.3.1	pH.....	56
4.3.2	Konduktometrie.....	57
4.3.3	Analýza celkového uhlíku a dusíku (TC/TN)	58
4.3.4	Energiově disperzní spektroskopie – Xray fluorescence (EDX-XRF)	59
4.3.5	Vážkové stanovení vlhkosti a sušiny	60
4.3.6	Laboratorní mikrobiologický rozbor kultivačními metodami.....	61
4.3.7	Optická hustota.....	62
4.4	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A DISKUSE	63
4.4.1	pH.....	63
4.4.2	Konduktometrie.....	64
4.4.3	TC/TN	65
4.4.4	Energiově disperzní spektroskopie – Xray fluorescence	67
4.4.5	Vážkové stanovení vlhkosti a sušiny	69
4.4.6	Laboratorní mikrobiologický rozbor	71
4.4.7	Optická hustota.....	72
4.4.8	Diskuse	73
5	EKONOMIKA A ANALÝZA SWOT ALTERNATIVNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD	76
5.1	FINANČNÍ NÁKLADY	76
5.1.1	Náklady na výstavbu	76
5.1.2	Provozní náklady	78
5.2	SWOT ANALÝZA	80
	ZÁVĚR	81
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM TABULEK.....	91
	SEZNAM PŘÍLOH.....	92

ÚVOD

Voda, čirá tekutina, která pokud je čistá nemá žádnou barvu, chuť ani vůni, a přesto se bez ní život na Zemi neobejde. Rostliny, živočichové, všichni jsme z velké části tvořeni vodou, a tu také ke svému životu potřebujeme.

Při pohledu z Vesmíru je vidět, že voda na naší planetě pokrývá většinu plochy, avšak 97 % je tvořeno slanou vodou a pouze zbylá 3 % vodou sladkou. To však ještě pořád není konečné množství určené k využití člověkem, neboť z těchto tří procent je cca 69 % obsaženo v ledovcích, 30 % tvoří podzemní voda, a tak na pro člověka lehce přístupnou povrchovou vodu zbývá necelé jedno procento. Přestože je množství vody na planetě konstantní, díky klimatickým změnám se mění její rozložení.

Česká republika nepatří mezi země, které by trpěly stálým nedostatkem vody, i tak se u nás najdou oblasti, které jsou převážně v letních obdobích nuceny vodou šetřit. Přestože, vzhledem k celosvětovému nedostatku pitné vody, by se měl každý z nás snažit omezit svou spotřebu, jen málokdo z nás se nad tímto problémem pozastavuje a jedině, co člověka přinutí se nad spotřebou a zacházením s vodou zamyslet, jsou zvyšující se účty za vodu, případně zákonná nařízení.

Většina obyvatel si připustí důležitost vody až v případě, kdy kvůli havárii potrubí přestane téct z kohoutku, nebo když místní vyhláška zakáže zalévání zahrad, či napouštění bazénů. Všichni bereme vodu jako samozřejmost, a přitom ještě v nedávné době nebyl vodovodní kohoutek s pitnou vodou součástí každé domácnosti jako je tomu teď.

Celosvětová populace před sto lety čítala dvě miliardy lidí. V současné době žije na naší planetě osm miliard lidí a poslední miliarda přibyla během posledních deseti let. Z tak obrovského nárůstu populace samozřejmě vyplývají také stále se zvyšující nároky na zdroje. Základním předpokladem k zabezpečení života je dostatek vody. A nejedná se pouze o vodu pitnou. Voda je potřeba k pěstování plodin, chovu zvířat, zabezpečení průmyslu, To jsou také důvody, proč je ve vyspělých zemích v posledních letech vyvíjen neustálý tlak na dobré hospodaření s vodou, vývoj nových technologií, které by nebyly tak náročné na vodní zdroje, technologie na odsolování mořské vody, zužitkování dešťové vody a v neposlední řadě také snaha o další využití vod odpadních. Aby mohly být odpadní vody dále využity, musí být adekvátně vyčištěny. Technologie k čištění odpadních vod se neustále vyvíjí v souladu se znalostmi o škodlivosti látek ve vodách obsažených. Kromě klasických technologií se v posledních desetiletích čím dál více objevují také přírodní kořenové čistírny. Mají šanci

obstát tyto přírodní čističky jako alternativa klasických čistíren ve světě plném plastu, hnojiv, a v poslední době také značného množství dezinfekčních prostředků?

Cílem práce je posouzení aplikačních limitů kořenových čistíren pro čištění odpadních vod z malých obcí v České republice, a to především z pohledu efektivity čistícího procesu a finanční stránky, v porovnání s konvenčními technologiemi čištění. Základním kritériem pro hodnocení vhodnosti je zejména kvalita vypouštěných vyčištěných odpadních vod, která bude hodnocena na základě reálných výsledků laboratorních rozborů odpadních vod z vegetační kořenové čistírny Hostětín, vzhledem k požadovaným legislativním emisním limitům. Dále budou v rámci experimentální části provedeny vlastní odběry vzorků na této čistírně, které budou následně podrobeny analýze pro zjištění přítomnosti dalších parametrů znečištění, které nejsou sice povinně nařízeny legislativou, nicméně s kvalitou vody souvisí a pomohou tak dotvořit ucelený pohled na účinnost kořenových čistíren. Toto kvalitativní šetření bude doplněno o ekonomické aspekty s následným provedením SWOT analýzy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DEFINICE ODPADNÍCH VOD

Zvyšující se počet obyvatel na Zemi a klimatické změny, vedou k obavám z nedostatku vody, a z toho vyplývající snaze tomuto problému předejít. Snižit spotřebu vody lze zefektivňováním výrobních procesů, v zemědělství výběrem plodin nenáročných na závlahu, zvyšováním ceny vody, kterým je vyvíjen tlak na konečné spotřebitele ke snížení své každodenní spotřeby. Další možností pak je, stejně jako u ostatních surovin, recyklace vody. K tomu, aby mohla být použitá odpadní voda opět využita, je však zapotřebí její důkladné přečištění, a to jak před opětovným využitím v rámci domácnosti či firmy, tak při návratu do přírody. Úlohou čistíren odpadních vod tedy není jen zabezpečit dostatečné množství vody, ale také zabezpečit její kvalitu, aby nenarušovala životní prostředí.

1.1 Odpadní voda

Dle § 38 Vodního zákona jsou odpadní vody „*vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod*“ (Zákon č. 254/2001 Sb., 2001).

Jak z této definice vyplývá, odpadními vodami jsou jak vody, které člověk využívá běžně ve své domácnosti, tak vody využívané v průmyslové výrobě, zemědělství, energetice či dopravě. V případě jednotné kanalizace se mezi odpadní vody řadí i voda srážková, která do této kanalizace vtéká a vody prosakující do půdních vod ze skládek a odkališť (Zákon č. 254/2001 Sb., 2001).

Dělení odpadních vod:

Základní rozdělení odpadních vod vychází ze Zákona č. 254/2001 Sb. a z Vyhlášky č. 428/2001 Sb., ve kterých se rozlišují odpadní vody:

- Splaškové,
- Průmyslové,
- Městské – které jsou kombinací splaškových a průmyslových vod,
- Znečištěné srážkové vody (Vyhláška č. 428/2001 Sb., 2001).

Dalším specifickým druhem odpadních vod jsou vody ze zdravotnických zařízení a dále vody balastní.

1.1.1 Splaškové odpadní vody

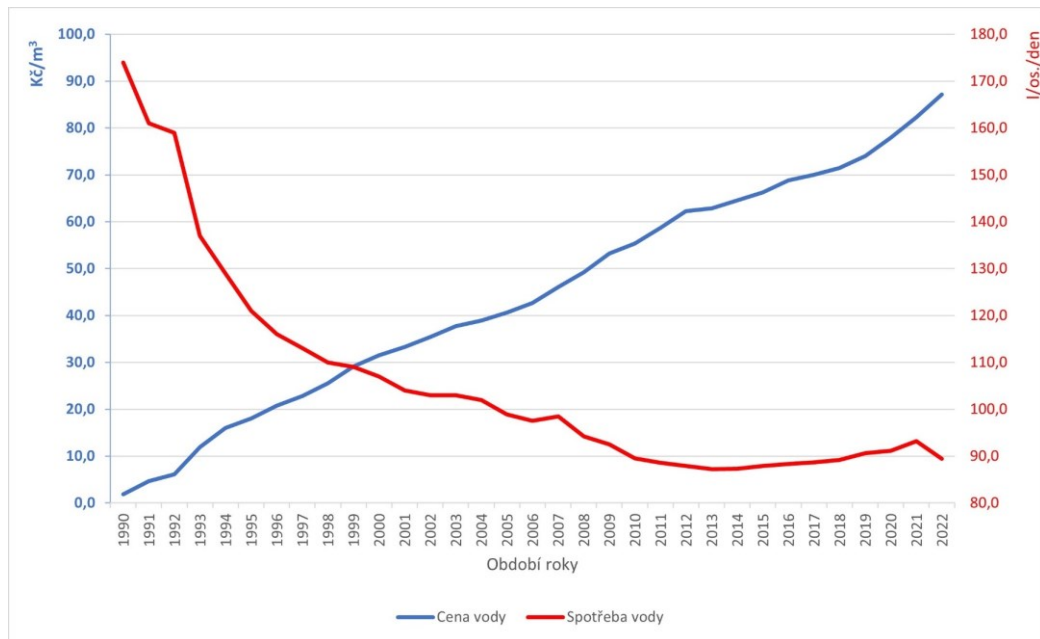
Splaškové vody jsou vody vzniklé v domácnostech, školách, v ubytovacích a stravovacích zařízeních apod. Jedná se o vodu použitou k osobní hygieně, vaření, praní či uklízení. Množství a složení splaškových vod se odvíjí od vybavení domácností, a také od velikosti měst. Teplota těchto vod se pohybuje okolo 20 °C v letních měsících a v zimních měsících v rozmezí 8–12 °C, hodnota pH se pohybuje mezi 6,5 – 8,5. Výkyvy v množství můžeme pozorovat nejen během roku, ale také v týdenním a denním chodu. Denní maximum je zpravidla v poledních hodinách, případně ve večerních. Větší stabilita průtoku je ve velkých městech na rozdíl od malých obcí, kde jsou výkyvy průtoku znatelně větší (Sýkora et al., 2016).

Produkce splaškových vod se odvozuje od spotřeby vody pitné. V roce 1990 činila spotřeba vody 174 l.os.d⁻¹. V průběhu let došlo k jejímu snížení až na 89,4 l.os.d⁻¹ v roce 2022 (Bábíček et al., 2023). Snížení spotřeby vody lze jednoznačně přičíst vývoji cen vodného a stočného za posledních 30 let, kdy cena bez DPH za vodu v roce 2022 činila více jak 13násobek ceny z roku 1993 (Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2022, 2023), viz Tabulka 1. Vzhledem k tomu, že se spotřeba vody již od roku 2005 pohybuje pod 100 l.os.d⁻¹, je další snižování spotřeby vody, a tím i produkce vody odpadní, málo pravděpodobné, protože další snížení spotřeby by bylo pro obyvatele diskomfortní.

Tabulka 1 Porovnání cen vody v letech 1992 a 2022, zdroj: vlastní

Ukazatel	1992	2022	Navýšení o (%)
	Kč/m ³		
Průměrná výše vodného	3,3	46,1	1297
Průměrná výše stočného	2,8	41,0	1364
Celková cena bez DPH	6,1	87,1	1328

Klesající trend spotřeby vody spolu s narůstající cenou vodného a stočného v letech 1990-2022 je názorně vyobrazen v Obrázku 1.

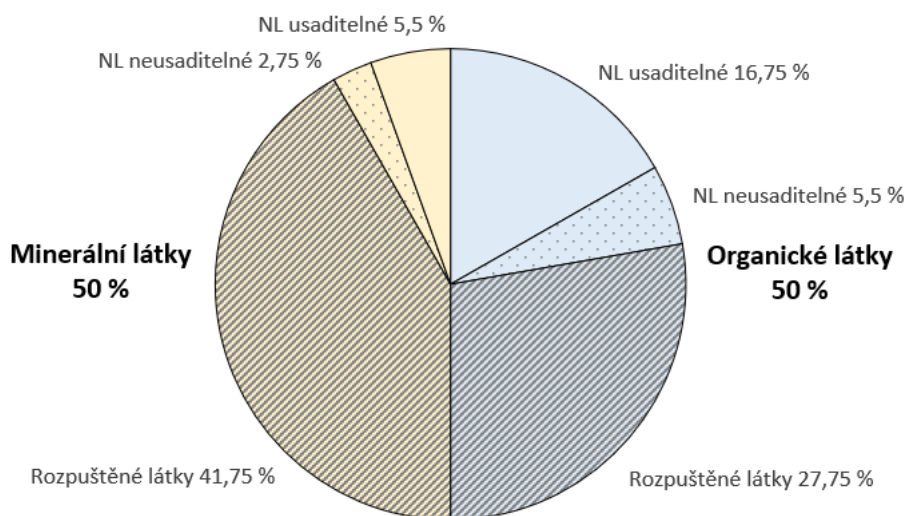


Obrázek 1 Vývoj spotřeby a ceny vody v letech 1990-2022, zdroj: vlastní

Hlavní podíl ve splaškových vodách mají fekálie spolu s močí, které tvoří cca 80 % organického znečištění těchto vod. Ve fekáliích jsou zastoupeny látky jak organické, tak anorganické. Obsah organických látek je v sušině fekálií 90 % a zbývajících 10 % tvoří látky anorganické. Mezi anorganické látky obsažené ve fekáliích patří anorganický dusík, který se ve výrazně větším množství vyskytuje také v moči. V sušině fekálií se vyskytují, kromě střevních bakterií, polysacharidů, bílkovin, také steroidní hormony, které jsou na čistírnách odpadních vod odbourány jen z 50 %, žlučové kyseliny, fosfor a další. V moči jsou pak zastoupeny steroidy, močové barvivo urochrom, sodík, fosforečnany, sírany a chloridy. Fosfor je v moči ve větší koncentraci než ve fekáliích, stejně jako dusík. Močové barvivo urochrom se spolu s koprosterolem, který vzniká ve střevech při bakteriální redukci cholesterolu, řadí mezi indikátory fekálního znečištění ve vodách (Sýkora et al., 2016).

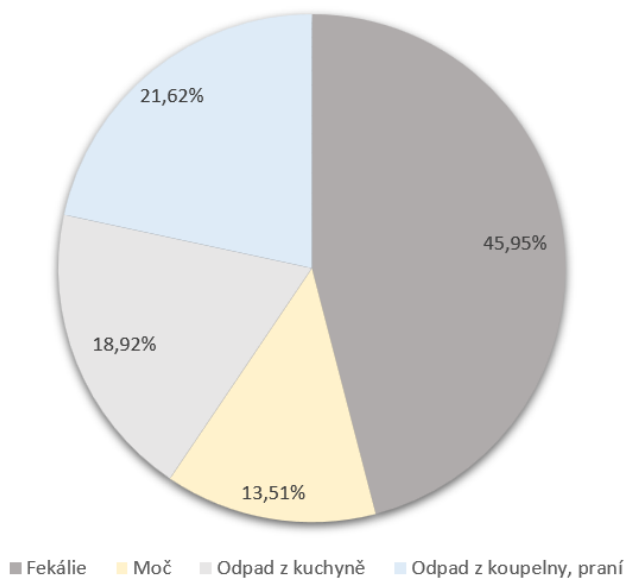
Obsah dusíku v odpadních vodách se během posledních let zvyšuje, což je zřejmě důsledkem změny stravovacích návyků (Bábíček et al., 2023).

Orientační hodnoty specifického znečištění v g/d na jednoho obyvatele jsou specifikovány v ČSN 75 6401. Procentuální zastoupení organických a minerálních látek, které se dále dělí na látky rozpuštěné, nerozpuštěné látky (NL) usaditelné a nerozpuštěné látky (NL) neusaditelné je graficky znázorněno na Obrázku 2 (ČSN 75 6401, 2014).



Obrázek 2 Zastoupení znečišťujících látek, zdroj: vlastní dle (ČSN 75 6401, 2014)

Celkové množství organických látek (TOC) ve splaškových vodách na jednoho obyvatele je cca $37 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, z toho 17 g z fekálií, 5 g z moči, 8 g je tvořeno kuchyňským odpadem a 7 g odpadem z mytí a praní (Sýkora et al., 2016), viz Obrázek 3.



Obrázek 3 Podíl jednotlivých složek znečištění na TOC splaškových vod, zdroj: vlastní

Splaškové vody se podle některých zdrojů dále člení dle původu znečištění na vody černé (fekálie a moč) a šedé (splaškové vody bez moče a fekálií) (ČSN EN 1085, 2007), nebo ještě podrobněji na vody hnědé (fekálie), žluté (moč). V případě, že je budova vybavena dvojitou kanalizací, stávají se z šedých vod po vyčištění vody bílé, které lze jako vody provozní opětovně využít ke splachování, či zalévání zahrad (Beránková, 2016).

1.1.2 Průmyslové odpadní vody

Průmyslové odpadní vody vznikají přímo ve výrobním procesu, nezahrnují vody splaškové, které jsou provozovny také produkovány. Složení průmyslových odpadních vod se odvíjí především od druhu výroby a je velmi rozmanité a specifické. Dalším důležitým faktorem jsou také použité výrobní technologie. Znečištění průmyslových odpadních vod tak může být srovnatelné se znečištěním vod splaškových a na druhou stranu mohou průmyslové odpadní vody obsahovat také množství nebezpečných látek. Limity pro vypouštění těchto vod do kanalizace jsou dané v provozním řádu kanalizace.

Důležitou vlastností průmyslových odpadních vod, kterou je nutné posoudit, je jejich schopnost biologického čištění. Jako ukazatel biologické čistitelnosti lze využít poměr CHSK:BSK₅. Čím vyšší je výsledná hodnota, tím větší je obsah biologicky nerozložitelných látek, nebo jsou zde přítomny látky snižující činnost bakteriální (Sojka, 2013).

Jednotlivé průmyslové obory pak můžeme rozdělit právě podle typu látek, které převažují v jejich odpadních vodách:

- Obory s převažujícím organickým znečištěním – např. potravinářský, textilní, papírenský, koželužský a farmaceutický průmysl, koksárny a plynárny,
- Obory s převažujícím anorganickým znečištěním – např. sklářský, hutní, keramický a chemický průmysl, výroba hnojiv a těžba rud.

Dle typu znečištění si podniky odpadní vody čistí ve svých vlastních čistírnách, případně tyto vody předčišťují před vstupem do kanalizace. Vody, které splňují podmínky kanalizačního řádu, se pak čistí společně s městskými odpadními vodami. Výjimkou není ani čištění městských odpadních vod na průmyslových čistírnách, což je prospěšné vzhledem k přísunu živin pro biologické čištění (Bábíček et al., 2023).

Největším průmyslovým zdrojem znečištění v České republice byly v roce 2022 dle ukazatele BSK₅ Papírny Štětí (Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2022, 2023).

1.1.3 Srážkové vody

Přestože se jedná o dešťovou vodu z atmosférických srážek, je i tato voda silně znečištěná. Charakter i míra znečištění jsou v průběhu roku značně nevyrovnané. V důsledku atmosférických srážek dochází ke splachu látek z betonových a asfaltových povrchů, které jsou silně znečištěny ropnými látkami, nebo v zimním období posypovým materiálem. Při

silných srážkách dochází také ke splachu polí, čímž se do kanalizace dostávají částice z půdy, včetně látek z chemických postřiků a hnojiv.

1.1.4 Vody ze zdravotnických zařízení

Odpadní vody této kategorie obsahují vody nejen ze zdravotnických, ale také veterinárních zařízení. V těchto vodách se vyskytují toxické, infekční a také radioaktivní látky. Kanalizace ve zdravotnických zařízeních má být oddílná pro infekční vody, vody s obsahem léčiv a také pro vody radioaktivní (Fremrová, 2020).

Předčištěním těchto vod před vstupem do kanalizace se zabývá norma ČSN 75 6406. Dle této normy se odpadní vody člení dle obsahu biologických činitelů podle kategorie patogenity na vody:

- Neinfekční,
- Infekční,
- Vysoce infekční.

Infekční vody musí být před vstupem do kanalizace předčištěny a vydezinfikovány (ČSN 75 6406, 2020). Dezinfekce se u surové infekční odpadní vody provádí pomocí tepla a tlaku, u vod, které již byly vyčištěny biologicky, se k dezinfekci používá např. chlor, ozon, UV záření nebo membránové technologie. Odpadní vody s obsahem léčiv jsou po biologickém čištění dočištěny např. aktivním uhlím, ozonem nebo chlorem (Fremrová, 2020).

1.1.5 Balastní vody

Balastní vody jsou definované jako „*nežádoucí přítok vody do stokového systému a přípojek*“ (ČSN 75 0161, 2008). Jedná se o vody, které sice nejsou výrazně znečištěné, nicméně svou přítomností navyšují objem odpadních vod, ředí je, a tím snižují kapacitu kanalizace a účinnost čištění na čistírnách odpadních vod. V případě, že se netěsnostmi do potrubí dostane voda podzemní, dochází také ke snížení teploty odpadních vod, což opět snižuje účinnost jejího následného čištění. Tyto nežádoucí vody přitékají do kanalizace díky netěsnostem v potrubí, haváriím, díram v kanalizačních poklopech a také díky nelegálnímu napojení ke kanalizaci (Drabinová, Kunssberger, 2015).

1.2 Znečištění odpadních vod

Odpadní vody obsahují velké množství znečišťujících látek, které je nutné před vypuštěním do recipientu zredukovat na míru, která neohrozí kvalitu povrchových ani podzemních vod. Recipientem jsou všechny vodní útvary (vodní toky, rybníky, přehrady atd.), do kterých jsou odpadní vody vypouštěny (ČSN EN 1085, 2007).

Znečišťující látky v odpadních vodách se podle původu dělí na organické a anorganické. V organických látkách jsou pak rovnoměrně zastoupeny rozpuštěné organické látky, nerozpuštěné látky usaditelné a nerozpuštěné látky neusaditelné. Anorganické látky se vyskytují v odpadních vodách především ve formě rozpuštěných látek (Sojka, 2013).

1.2.1 Organické látky

V odpadních vodách jsou zastoupeny organické látky především antropogenního původu a v menším přírodního původu. Z hlediska čištění odpadních vod je pak důležité, zda se jedná o látky podléhající biologickému rozkladu, nebo látky biologicky těžce rozložitelné (např. pesticidy). Přítomnost biologicky těžce rozložitelných látek v odpadních vodách přináší riziko, že se tyto látky mohou dostat až do pitné vody.

Vliv organických látek na biologické a chemické vlastnosti vody:

- Zabarvení vody (např. barviva, huminové látky),
- Zápach (např. chlorfenoly),
- Zvýšená pěnivost (např. saponiny, tenzidy),
- Tvorba filmu na hladině (např. olejové a ropné látky),
- Karcinogenita (např. polycyklické aromatické uhlovodíky, pesticidy, polychlorované bifenyly),
- Genotoxicita (např. pesticidy),
- Mutagenita (např. polycyklické aromatické uhlovodíky),
- Teratogenita (např. polychlorované bifenyly, pesticidy).

Díky výše uvedeným vlastnostem se mnoho organických látek řadí do skupiny nebezpečných, a zvláště nebezpečných látek. Podstatná je z hlediska vlivu na ovlivnění kvality vody jejich koncentrace. To je také důvodem, proč je nutné sledovat množství těchto látek v odpadních vodách (Sýkora et al., 2016).

K vyjádření množství obsažených organických látek se využívají ukazatele:

- biochemická spotřeba kyslíku,
- chemická spotřeba kyslíku,
- celkový organický uhlík,
- ztráta žiháním (Sojka, 2013).

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK, anglickým ekvivalentem je BOD – biochemical oxygen demand) vyjadřuje koncentraci biologicky rozložitelných látek (v mg.l^{-1}). Ukazatel udává množství kyslíku, které je potřeba k biochemickému rozkladu organických látek ve vodě za dané časové období. K úplné biologické oxidaci dochází až po 20 dnech, což je pro praktické využití příliš dlouhá doba, proto se v praxi standardně využívá ukazatel BSK_5 , který vyjadřuje pětidenní biochemickou spotřebu kyslíku (Sýkora et al., 2016).

Běžně se ke stanovení BSK používá tzv. **zřed'ovací metoda**. Realizace metody probíhá ve tmě a za teploty $20\text{ }^\circ\text{C}$. Množství kyslíku je měřeno na počátku a na konci inkubace pomocí kyslíkové elektrody, nebo chemicky Winklerovou metodou. Pokud jsou vzorky vody silně znečištěné, je nutné je zředit. Naopak u vod s malým obsahem bakterií (týká se spíše průmyslových odpadních vod) je nutné vodu naočkovat (inokulace) odsazenou splaškovou vodou, nebo vodou povrchovou.

Další možností pro stanovení BSK je pomocí respirometrů, které umožňují kontinuální měření. (Sýkora et al., 2016).

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK anglickým ekvivalentem je COD – chemical oxygen demand) je ukazatelem míry obsahu látek, které jsou schopné chemické oxidace za použití oxidačního činidla (Sojka, 2013). Výsledná hodnota spotřebovaného oxidačního činidla je ekvivalentem kyslíku a udává se v mg.l^{-1} . V případě odpadních vod se jako oxidační činidlo používá dichroman draselný (CHSK_{Cr}), který nahradil dříve používaný manganistan draselný. Oxidace probíhá po dobu 2 hodin při teplotě $150\text{ }^\circ\text{C}$ v cca 62 % roztoku kyseliny sírové spolu se síranem stříbrným, který funguje jako katalyzátor (Pitter, 2015).

CHSK a BSK patří mezi základní ukazatele kvality odpadních vod stanovených Vyhláškou č. 428/2001 Sb.

Celkový organický uhlík (TOC) vyjadřuje celkové množství organických látek v mg.l^{-1} , které jsou v odpadních vodách přítomny. Pro stanovení TOC se standardně používá termická oxidace, která probíhá při teplotách $900\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$. Při oxidaci vzniká oxid uhličitý. Výhodou

stanovení TOC termickou oxidací je, že dochází k oxidaci všech organických látek, na rozdíl od CHSK. Další nesporná výhoda je v rychlosti a absenci toxických chemikálií při prováděné analýze. Nevýhodou jsou však vysoké investiční náklady (Sýkora et al., 2016).

Ztráta žiháním je procentuálním vyjádřením množství organických i anorganických látek ve vodě. Jedná se o rozdíl mezi obsahem všech látek v sušině a jejich zbytku po provedeném žihání (Sojka, 2013). Ztráty žiháním určují množství organických látek a anorganické látky vychází ze zbytku po žihání (Sýkora et al., 2016).

1.2.2 Anorganické látky

Většina anorganických látek je v odpadních vodách zastoupena v rozpuštěné formě. Z těchto látek jsou pro hodnocení kvality rozhodující především hodnoty dusíku, fosforu a těžkých kovů, které mají nepříznivý vliv na kvalitu vod. Vyšší koncentrace těchto nutrientů vyvolávají zvýšení výskytu řas a sinic, které po svém odumření zvyšují spotřebu kyslíku, čímž negativně ovlivňují životní podmínky ostatním vodním organismům (Sojka, 2013).

Fosfor (P)

Fosfor je v odpadních vodách zastoupen jak v přírodní, tak v antropogenní formě. Tento nutrient je součástí fekálií, hnojiv, pracích a čistících prostředků. Fosfor je přirozeně zastoupený také v půdě i atmosféře. V odpadních vodách se vyskytuje ve formě rozpuštěné i nerozpuštěné, které jsou buď organicky nebo anorganicky vázané (Sýkora et al., 2016).

Fosfor spolu s dusíkem mají zásadní podíl na eutrofizaci povrchových vod. To je také důvodem, proč stále více ČOV tento nutrient chemicky nebo biologicky odstraňuje v rámci terciárního čištění. Pro sledování množství fosforu v odpadní vodě je důležitá hodnota celkového fosforu. Přípustné koncentrace se stanovují až u čistíren odpadních vod o velikosti nad 2000 ekvivalentních obyvatel, což nevylučuje možnost nařízení emisních limitů pro menší čistírny příslušným vodoprávním úřadem (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015). Přestože je dlouhodobě snaha k omezení produkce fosforečnanů, množství fosforu v odpadní vodě má spíše stoupající trend. Hodnota celkového fosforu v rámci ČR v roce 2022 dosáhla 6 927 tun, což činí cca 14% nárůst oproti roku 2012. (Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2022, 2023).

Dusík (N)

Dusík je dalším nutrientem, který se podílí na biologických procesech probíhajících ve všech typech vod. Sloučeniny dusíku vznikají přirozeně při rozkladu organických dusíkatých látek

z biomasy. Producentem velkého množství dusíku je pak především zemědělství, uhelné elektrárny a potravinářský průmysl. Dalším nezanedbatelným zdrojem jsou pak splaškové vody. Vyskytuje se v organické i anorganické podobě. Mezi hlavní ukazatele znečištění odpadních vod se řadí anorganicky vázaný dusík (např. amoniakální). Organicky vázané formy jsou zastoupeny bílkovinami a jejich rozkladnými produkty, močovinou apod. Amoniakální dusík je indikátorem fekálního znečištění, je toxický jak pro ryby, tak pro zooplankton. Při dostatku kyslíku je nestálý a snadno podléhá **nitrifikaci** (oxidace amoniakálního dusíku na dusitany až dusičnany). Naopak **denitrifikace** probíhá za anaerobních podmínek a jsou při ní redukovány dusičnany. Právě procesy nitrifikace a denitrifikace jsou využívány pro odstraňování dusíku při procesu biologického čištění odpadních vod (Sýkora et al., 2016).

Emisní standardy pro znečištění dusíkem jsou stanoveny nařízením vlády č. 401/2015 Sb. jak pro celkový dusík, tak jeho sloučenin. Stejně jako u fosforu, se i u dusíku jeho množství v odpadních vodách zvyšuje. V roce 2022 bylo anorganického dusíku v odpadních vodách 31 637 tun, což je o více než 10 % vyšší množství než v roce 2012 (Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2022, 2023).

Nerozpuštěné látky (NL)

Nerozpuštěné látky jsou pevné částice, které se z odpadní vody odstraňují filtrací, případně odstředěním. K filtraci se používají filtry z borosilikátových vláken s velikostí pórů $1,0 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$, které jsou vysušeny při $105 \text{ }^\circ\text{C}$. Látky zadržené tímto filtrem se následně zvaží (Bábíček et al., 2023). Metodika filtrace je popsána v ČSN EN 872. Mezi tyto látky se řadí např. oxidy různých kovů, tuky, zbytky dřeva, plastů a další.

1.3 Legislativa a instituce

Legislativa v oblasti odpadních vod je velmi rozsáhlá. Základem jsou evropské směrnice, především Směrnice 2000/60/ES a Směrnice ES 91/271/EHS, na které navazuje řada českých zákonů, norem a vyhlášek.

1.3.1 Legislativa EU

Směrnice 2000/60/ES vytváří základní rámec pro oblast povrchových a podzemních vod. Je zaměřena na ochranu vod povrchových i podzemních, jejich užívání a kvalitu. Směrnice hovoří o vodě jako o dědictví, a v tomto duchu také k vodě přistupuje. Jsou v ní nastíněny směry, kterými se mají všechny členské státy v oblasti ochrany vod ubírat tak, aby byl v rámci společenství jednotný přístup k této problematice. Představuje výčet doporučení včetně lhůt, do kdy mají být jednotlivé opatření splněny. Hlavním cílem je především jakost vody, omezení vypouštění nebezpečných látek do vod, stanovení limitů pro znečištění, ale také zmírnění následků sucha a povodní. Směrnice také ukládá státům zapojení veřejnosti do ochrany vod tím, že bude veřejnost informovaná o plánech povodí a bude moci se k nim vyjádřit ještě před jejich realizací (SMĚRNICE 2000/60/ES, 2000).

Směrnice ES 91/271/EHS standardizuje pravidla pro čištění městských odpadních vod a odpadních vod z určitých průmyslových odvětví v rámci všech států společenství, neboť nekvalitně vyčištěné odpadní vody ovlivňují kvalitu vody v jiných členských státech. Z této směrnice vychází mimo jiné tyto povinnosti pro členské státy:

- Vybavit do 31.12.2000 sběrným systémem odpadních vod aglomerace, kde je populační ekvivalent větší než 15000 a do 31.12.2005 u aglomerací s populačním ekvivalentem (PE) 2000-15000,
- Podrobit městské odpadní vody před vypuštěním sekundárnímu čištění případně jinému rovnocennému systému (termíny i velikost aglomerací jsou shodné s předchozím bodem),
- Vymezit tzv. citlivé a méně citlivé oblasti (v České republice je citlivou oblastí celé území) a termíny jejich přezkoumávání,
- Dodržovat zásady čištění městských odpadních vod před vypuštěním do sladkovodních vod i u aglomerací do 2000 PE,
- Vydat legislativní normy v souladu s touto směrnicí atd.

V přílohách jsou pak upraveny požadavky na projektování stokových soustav a čistíren odpadních vod, monitorovací metody včetně emisních limitů a četnosti vzorků (ES 91/271/EHS, 1991).

Směrnice ES 91/676(EHS) pak reaguje na narůstající znečištění v podobě dusičnanů. Cílem je snížení a předcházení znečištění vod dusičnany ze zemědělských zdrojů. Z této směrnice pro členské státy vyplývá povinnost přijmout zásady správné zemědělské praxe a připravit programy s cílem tyto zásady uplatňovat (ES 91/676/EHS, 1991).

1.3.2 Národní legislativa

Zákon č. 254/2001 Sb., Zákon o vodách a o změně některých zákonů, takzvaný vodní zákon, je základní právní předpis upravující náležitosti týkající se nakládání s vodou, a to jak povrchovou, tak podzemní. Předmětem tohoto zákona je především ochrana těchto vod co do množství i kvality v souladu s trvale udržitelným užitím těchto vod. Jsou zde upraveny pravidla pro užívání těchto vod právníky i fyzickými osobami a vztahy ke stavbám a pozemkům, které s vodami přímo souvisí. Tímto zákonem je brána v úvahu zásada návratnosti nákladů na vodohospodářské služby, včetně nákladů souvisejících s ochranou životního prostředí a využívané zdroje. Další důležitou zásadou je to, že náhradu za znečištění hradí znečišťovatel.

Dle tohoto zákona nejsou povrchové ani podzemní vody předmětem vlastnictví ani součástí či příslušenstvím pozemku na kterém, či pod kterým, protékají, viz §3, odst. 1 tohoto zákona. V § 5 jsou stanoveny povinnosti pro nakládání s těmito vodami a také s vodami odpadními či srážkovými. Podle tohoto zákona má každý možnost odebírat povrchovou vodu pro svou potřebu, v případě veřejného zájmu však může vodoprávní úřad toto nakládání upravit.

Problematice odpadních vod se věnuje zejména § 38. Složení odpadních vod vytékajících z městských čističek odpadních vod se řídí platným kanalizačním řádem. V případě jednotné kanalizační sítě, se ze srážkové vody stává voda odpadní v momentě vtoku do kanalizace. Podmínky pro vypouštění odpadních vod do vod podzemních a povrchových jsou stanoveny v povolení vodoprávního úřadu, který má povinnost při stanovení těchto podmínek přihlížet k nejúčinnějším dostupným technologiím, vzhledem k ekonomickým a technickým možnostem, s nejvyšší účinností pro ochranu vod. Subjektům vypouštějícím odpadní vody do vod povrchových a podzemních je uložena povinnost měřit jak objem vypouštěných vod, tak míru jejího znečištění a četnost měření znečištění. Tyto výsledky jsou pak předávány správci povodí, pověřenému subjektu a vodohospodářskému úřadu, který vydal rozhodnutí.

Vodoprávní úřad stanovuje také emisní limity, což jsou maximální možné hodnoty koncentrace a množství vypouštěného znečištění. Podmínky pro stanovování těchto limitů vychází z vládního nařízení. Vodoprávní úřad má možnost, pokud si to situace v rámci environmentální bezpečnosti vyžaduje, nařídit limity přísnější, než jsou ve vládním nařízení. Nesmí být však nikdy vyšší než hodnoty, jakých se dosáhne při využití nejlepších dostupných technologií, viz zákon č. 78/2002 o integrované prevenci. Tento zákon specifikuje jednak co jsou nejlepší dostupné technologie a hlediska jejich určení – příloha 3 tohoto zákona, a dále v příloze 2 uvádí seznam znečišťujících látek pro stanovování emisních limitů pro ovzduší a vodu.

Odebíráním vzorků jsou pověřeny akreditované laboratoře s platným oprávněním. Akreditace je udělována dle §16 zákona 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky a § 21 zákona č. 505/1990 Sb. o metrologii.

Vodoprávní úřad má na základě stavebního zákona funkci speciálního stavebního úřadu, takže je to právě tento úřad, který vydává stavební povolení k vodním stavbám, mezi které se řadí také čistírny odpadních vod. K žádosti o stavební povolení musí být také doloženo povolení k provozování této činnosti, které uděluje na základě zákona 274/2001 o vodovodech a kanalizacích Krajský úřad. V případě čistíren odpadních vod do 50 EO není potřeba stavebního povolení, stačí pouze ohlášení vodoprávnímu úřadu (§15 a). K tomuto ohlášení se mimo jiné dokládá také vyjádření správce povodí a správce vodního toku v případě vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

Vodoprávní úřad vydává také povolení k vypouštění odpadních vod znečištěných zvláště nebezpečnými závadnými látkami do kanalizace. V tomto povolení je určeno jak limitní množství znečišťujících látek, tak místo jejich odběru a způsob měření.

V případě používání bezodtokých jímek je zákonem stanovena povinnost likvidace odpadu odvozem na čistírny odpadních vod, což je povinen doložit na výzvu České inspekce životního prostředí nebo vodoprávního úřadu dokladem o likvidaci, a to za období posledních dvou let. V dokladu se kromě data odvozu, jmen původce i odvozce odpadu uvádí také lokace jímky, množství odvezeného odpadu a čistírna, kde bude odpad likvidován.

Vypouštění odpadních vod přímo do vod půdních je tímto zákonem zakázáno. Výjimku lze udělit tam, kde odvod odpadních vod dle zákona není technicky možný a pouze u těch objektů, kde se jedná o metabolické znečištění. Maximální množství takto vypouštěné odpadní vody činí 15 m³/den pro obydlí či soustavu obydlí dle § 38, odst. 9 vodního zákona.

Zákon také stanovuje podmínky pro poplatky jak za odběr podzemní vody, tak za vypouštění odpadních vod (Zákon č. 254/2001 Sb., 2001).

Zákon 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu je další legislativní normou, která upravuje podmínky k problematice čištění odpadních vod. V oblasti odpadních vod zákon stanoví práva a povinnosti provozovatelů kanalizací, technické požadavky na výstavbu těchto prvků infrastruktury a míru znečištění odpadních vod. Poplatek za odvod odpadních vod je ve formě stočného. Pravidla pro stanovení stočného jsou upravena tímto zákonem. Vypouštění odpadních vod do kanalizace se řídí kanalizačním řádem, který schvaluje vodoprávní úřad. Zákon dále ukládá provozovatelům kanalizací vést provozní i majetkovou evidenci. V neposlední řadě zákon ukládá provozovateli kanalizace či čistírny odpadních vod provádět odběry a rozborů vzorků. V případě vypouštění zvláště nebezpečných látek má odběratel povinnost měřit jak míru znečištění, tak objem takto znečištěných odpadních vod. Zákon také zakazuje vypouštění odpadních vod do kanalizace zakončené čistírnou odpadních vod přes septiky nebo jiné čistírny odpadních vod (Zákon č. 274/2001 Sb., 2001).

Vyhláška 428/2001 Sb. je prováděcí vyhláškou k zákonu 274/2001 Sb.. Pro provozovatele čistíren odpadních vod je z vyhlášky podstatné, že konkretizuje požadavky a formu vedení provozní a majetkové evidence, dle kterých se pak vypracovávají formuláře „Vybraných údajů“ z těchto evidencí dle příloh vyhlášky. V příloze 10 jsou pak stanoveny technické ukazatele pro plán kontrol míry znečištění odpadních vod, kde jsou stanoveny místa odběru vzorků, četnost a rozsah prováděných rozborů vzorků. V příloze 15 jsou stanoveny limity přípustného znečištění odpadních vod (Vyhláška č. 428/2001 Sb., 2001).

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. je dalším legislativním dokumentem, který upravuje ukazatele a hodnoty přípustného znečištění odpadních vod a také vod povrchových. V tomto nařízení jsou také všechny útvary povrchových vod v rámci České republiky definované jako citlivé oblasti. Dále stanovuje náležitosti povolení k vypouštění odpadních vod, ve kterém jsou kromě jiného vodoprávním úřadem stanoveny emisní limity, způsoby a četnost rozborů a místa odběru vzorků. Emisní limity jsou stanoveny pro konkrétní kategorie komunálních čistíren odpadních vod a čistírny průmyslových odpadních vod (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015).

Výše uvedenou legislativu doplňuje celá řada norem ČSN, které upravují oblast čistírenství do posledních detailů. Pro příklad uvádím pouze výčet některých zásadních norem:

- ČSN 75 6401 – Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500,
- ČSN 75 6402 – Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel,
- ČSN EN 12255 – Čistírny odpadních vod – tato norma se skládá z několika částí, které se samostatně zabývají jednotlivými procesy čištění,
- ČSN EN 12566 – Malé čistírny odpadních vod do 50 ekvivalentních obyvatel – také tato norma se dělí na části, které charakterizují jednotlivé typy septiků apod.,
- ČSN 75 6406 – Nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení (ZZ) vypouštěnými do stokové sítě pro veřejnou potřebu,
- ČSN 75 6081 – Žumpy aj. (Česká agentura pro standardizaci).

1.3.3 Instituce státní správy

Výkon státní správy dle vodního zákona zabezpečuje Česká inspekce životního prostředí a vodoprávní úřady.

Vodoprávní úřady

V rámci svých kompetencí vydávají rozhodnutí a povolení, plní funkci speciálních stavebních úřadů k vodním dílům. Dále vykonávají dozor nad dodržováním zákona a jím vydaných nařízení. Mezi pravomoci vodoprávních úřadů náleží také omezení nebo zákaz používání vod při mimořádných událostech. V případě vážného ohrožení veřejného zájmu může nařídit zabezpečení náhradních dodávek vody.

Ústředním vodoprávním úřadem je *Ministerstvo zemědělství* a pro zákonem stanovené oblasti také *Ministerstvo životního prostředí*, *Ministerstvo dopravy* (oblast plavby) a *Ministerstvo obrany* (pro újezdní úřady).

Právě do kompetence Ministerstva životního prostředí spadá mimo jiné oblast ochrany podzemních a povrchových vod co do množství i jakosti; vydávání povolení k vypouštění odpadních vod a shromažďování výsledků měření objemu i znečištění vypouštěných odpadních vod, stanovení minimální hladiny podzemních vod a způsob jejího měření, předkládání návrhů hodnot a ukazatelů přípustného znečištění. Dále schvaluje plány (společně s MZe) a posuzuje jejich vliv na životní prostředí; chrání vodní zdroje, citlivé a zranitelné oblasti; řídí Českou inspekci životního prostředí, zabezpečuje ochranu před povodněmi a další. Společně s Ministerstvem zemědělství zabezpečují oblast poplatků,

zvládání sucha, plnění úkolů a zavádění legislativy Evropského společenství. Dále plní funkci vrchního vodoprávního dozoru nad ostatními vodoprávními úřady a Českou inspekci životního prostředí. O výsledcích své kontrolní činnosti informují v každoroční zprávě vládu.

Dalšími vodoprávními úřady jsou na obecní úrovni obecní úřady a obecní úřady s rozšířenou působností, na krajské úrovni jsou to krajské úřady a újezdní úřady na území vojenských újezdů (Zákon č. 254/2001 Sb., 2001).

Česká inspekce životního prostředí

Tato instituce je orgánem státní správy, působícím jako kontrolní orgán v oblasti životního prostředí. Inspekce vznikla v roce 1991 a v oblasti vodního hospodářství zabezpečuje dozor nad dodržováním zákona č. 254/2001 Sb. o vodách a dále předpisů vztahujících se k této oblasti. Provádí kontrolu právnických a podnikajících fyzických osob, zda dodržují zákonné povinnosti v oblasti nakládání s povrchovými a podzemními vodami, má právo tyto subjekty pokutovat a vymáhat odstranění závad. Dále kontroluje výstavbu i chod čistíren odpadních vod a dalších vodních děl sloužících k likvidaci znečištění v odpadních vodách, kontroluje jakost a množství vypouštěných odpadních vod a provádí kontrolní odběry vzorků. V případě havárií je jedním z orgánů podílejícím se na vyšetření příčin úniku nebezpečných látek do vod. Na základě tohoto šetření ukládá znečišťovateli nápravná opatření a sankce za znečištění. V případě závažného ohrožení veřejného zájmu má pravomoc nařídit zastavení výroby. Dále kontroluje oblast poplatků za vypouštění odpadních vod. Mezi její povinnosti také náleží vedení centrální evidence havárií. Kontrola fyzických osob spadá do kompetence místně příslušných vodoprávních úřadů (Ochrana vod, 2021).

2 KONVENČNÍ TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Standardní způsoby čištění odpadních vod je možné rozlišit na dvě základní skupiny, a to na centralizované čištění a decentralizované. Předpokladem centralizovaného čištění, které probíhá na čistírnách odpadních vod, je vybudování kanalizační sítě. Kanalizace je buď jednotná, která odvádí dohromady odpadní vody spolu se srážkovými, nebo tzv. oddílná kanalizace, kdy jsou odváděny srážkové vody zvlášť (Zákon č. 274/2001 Sb., 2001). Decentralizované čištění je prováděno tam, kde doposud nebyla kanalizace vybudovaná nebo je nemožné ji zde vybudovat.

2.1 Decentralizovaný způsob čištění

Území, kde je vybudování kanalizace příliš nákladné nebo technicky neproveditelné, jsou odkázána na decentrální způsob čištění. Jedná se především o řídké osídlené oblasti a samoty. Přestože se každoročně navyšuje počet obyvatel připojených ke kanalizaci, v roce 2022 nebylo ještě stále ke kanalizaci s čistírnou odpadních vod připojeno 15,1 % obyvatel (Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2022, 2023). Odpadní vody z objektů v těchto územích jsou shromažďované v jímkách nebo septicích a následně vyvezeny fekálním vozem na nejbližší čistírnu odpadních vod, případně využívají k čištění domovní čistírny odpadních vod.

2.1.1 Bezodtoká nádrž k akumulaci odpadních vod

Bezodtoká nádrž (žumpa) je odizolovaná nádrž na odpadní vody, kterou je nutno pravidelně vyvážet. Využívá se u objektů, které nejsou napojeny na kanalizaci. Žumpa bývá vyhotovena buď ze železobetonu anebo plastu. Základním předpokladem správné funkčnosti je její nepropustnost. Velikost jímky se volí na základě počtu obyvatel, z čehož vychází předpokládaná spotřeba vody a dalším důležitým faktorem je také to, jak často budeme chtít žumpu vyvážet. Stavba žumpy není považovaná za vodní dílo, tudíž se při ní postupuje dle stavebního zákona č. 283/2001 Sb., kde se řadí mezi tzv. jednoduché stavby (Zákon č. 283/2021 Sb., 2021). Doklady o vývozu jímky je majitel povinen dle vodního zákona uchovávat po dobu dvou let pro případnou kontrolu z České inspekce životního prostředí (Zákon č. 254/2001 Sb., 2001).

2.1.2 Vícekomorová zařízení k přečištění odpadních vod

Vícekomorové zařízení (septik) se na rozdíl od žumpy řadí mezi vodní díla, tudíž musí být jeho stavba povolena vodoprávním úřadem. Septiky se zpravidla budují jako vodotěsné tříkomorové plastové nádrže, ve kterých na rozdíl od žumpy probíhá také mechanicko-biologické čištění odpadní vody. Čištění probíhá za anaerobních podmínek. Odpadní voda postupně protéká všemi komorami. V první komoře dochází k hrubému přečištění, při kterém se rozkládají organické látky a usazuje se kal. Ve druhé komoře pokračuje proces čištění s usazováním již jemnějšího kalu a ve třetí komoře se proces opakuje. Přestože se průtokem třemi komorami voda z velké části přečistí, je před jejím vypuštěním do povrchových vod, či vsakem do pozemku, nutné vodu přečistit ještě přes pískový nebo biologický filtr. Takto vyčištěnou vodu lze vypustit také do kanalizace, která není zakončena čistírnou odpadních vod (Kraus, 2023).

Při navrhování septiku je nutné přihlížet kromě počtu osob také k době zdržení v septiku a k množství kalu. Standardní doba zdržení je 5 dní (ČSN 75 6402, 2017).

2.1.3 Domácí čistírny odpadních vod

Domácí čistírny odpadních vod se jeví jako nejlepší varianta v případě, že není možné se napojit na veřejnou kanalizaci. Čistírna je rozdělena na oblast mechanického předčištění, kde dochází k oddělení hrubých nečistot a usazování kalu. V této fázi dochází také k anaerobnímu rozkladu. Po předčištění vtéká voda do aktivační komory, kde dochází za použití dmyhadla k provzdušňování vody a tím k aerobnímu rozkladu s využitím činnosti bakterií. Postupně se přečištěná voda přelévá do dosazovací komory, odkud je voda přečerpaná do odtokového žlabu. V případě, že budeme vodu používat k zálivce zahrady, odvádí se voda do retenční nádrže. Pro výběr domácí čistírny je jednou z rozhodujících podmínek způsob likvidace přečištěné odpadní vody. Možností je odvod do jednotné kanalizace či potoka, nebo využití na svém pozemku vsakem, nebo vybudováním retenční nádrže. V případě vsakování je vždy nutný hydrogeologický posudek a také dostatečně velký pozemek. Pokud je na pozemku studna, tak je to díky ochrannému pásmu víceméně vyloučeno. V případě vsaku a pokud je domácí ČOV zřízena pouze na ohlášení, je nutné mít čistírnu s certifikací CE. Pokud je čistírna povolena na základě vodoprávního řízení, odpadá povinnost certifikace. Na druhou stranu je zde povinnost 2x ročně dělat rozbor vody, který se dokládá vodoprávnímu úřadu (Kraus, 2023a).

2.2 Centralizovaný způsob čištění

Centralizovaný systém čištění odpadních vod probíhá na komunálních čistírnách odpadních vod a je podmíněn kanalizací zakončenou čistírnou odpadních vod. Základním parametrem, který je brán v úvahu při projektování velikosti čistírny, je **ekvivalentní obyvatel (EO)**. Nejedná se o počet skutečných obyvatel napojených na ČOV, ale o účelově vytvořený ukazatel, který vyjadřuje denní míru znečištění vyprodukovanou 1 obyvatelem.

$$1 \text{ ekvivalentní obyvatel} = 150 \text{ l/den odpadních vod a } 60 \text{ g BSK}_5/\text{den}$$

Ekvivalentní obyvatel se používá jako převodní jednotka k vyjádření množství odpadních vod a jejich znečištění vyprodukovaného specifickými producenty odpadních vod (např. kancelář pro 2-3 zaměstnance = 1 EO) (ČSN 75 6402, 2017).

Podle počtu ekvivalentních obyvatel lze čistírny odpadních vod rozdělit na:

- ČOV do 50 EO – domovní ČOV,
- ČOV od 50 do 500 EO,
- ČOV nad 500 EO.

Emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění, četnost a typ odběrů se určují také v závislosti na velikosti ČOV dle počtu ekvivalentních obyvatel. Pro tyto účely se dělí ČOV do následujících kategorií:

- ČOV < 500 EO,
- ČOV 500-2000 EO,
- ČOV 2001-10.000 EO,
- ČOV 10.001-100.000 EO,
- > 100.000 EO.

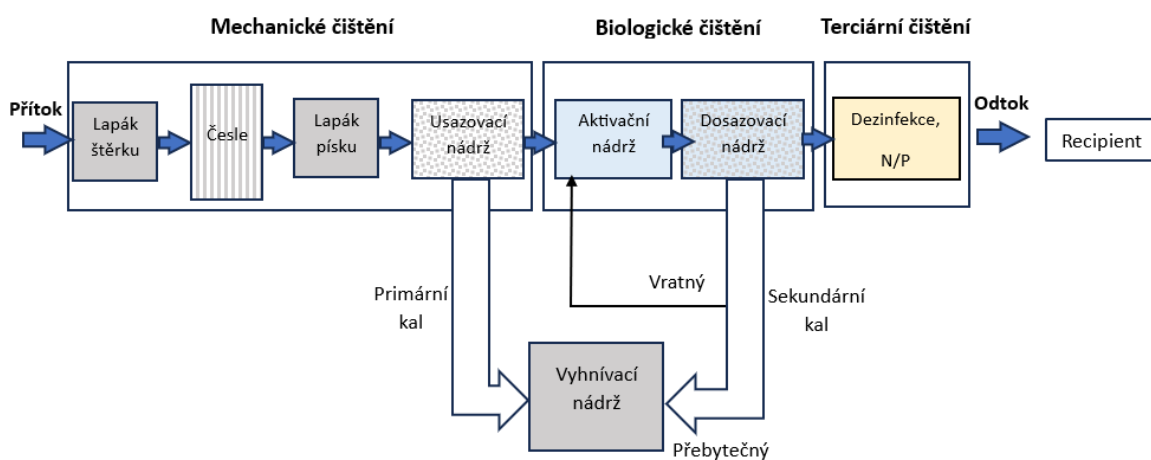
Platí zde pravidlo, čím vyšší počet EO, tím přísnější podmínky (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., 2015).

Velikost čistírny odpadních vod také určuje technické parametry pro vybavení ČOV. Malé ČOV jsou technologicky jednodušší a zpravidla nevyžadují stálou přítomnost obsluhy. V roce 2022 bylo na našem území registrováno 22 ČOV pouze s mechanickým stupněm čištění, 2 893 ČOV bylo mechanicko-biologických a z toho 1 697 ČOV využívalo také

terciárního stupně čištění k odstraňování dusíku, fosforu nebo obou prvků (Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2022, 2023).

Z výše uvedeného vyplývá, že neexistuje žádná „univerzální“ čistírna s jasně daným technologickým schématem, která se dá použít kdekoliv. Pro návrh čistírny odpadních vod je kromě již zmiňovaného počtu ekvivalentních obyvatel důležitá celá řada dalších parametrů jako je typ kanalizace, existence výrobních provozoven, ale také výběr vhodného místa pro ČOV tak, aby neobtěžovala obyvatele hlukem ani zápachem a nekazila estetický ráz krajiny. Dalším, neméně důležitým, kritériem je také možnost budoucího případného rozšíření čistírny.

Technologickou skladbu ČOV předurčují převážně dvě normy ČSN, a to ČSN 75 6401 (ČOV nad 500 EO) a 75 6402 (ČOV do 500 EO). Obecně odpadní vody na ČOV prochází mechanickým stupněm čištění, na který pak navazuje čištění biologické. Po biologickém čištění u některých čistíren přichází na řadu také chemický (terciární) stupeň čištění a oblast pro zpracování kalu, viz Obrázek 4.



Obrázek 4 Zjednodušené schéma čistírny odpadních vod; zdroj: vlastní

2.2.1 Mechanické předčištění a čištění

První fáze čištění odpadních vod probíhá ve formě mechanického čištění, díky kterému jsou z odpadních vod odstraňovány hrubé nečistoty. Vzhledem k tomu, že obyvatelé občas vhazují do svých toalet i předměty, které tam standardně nepatří, není výjimkou, že kanalizací kromě splašků na ČOV doputují také spláchnuté hygienické potřeby, zbytky jídla, hračky, tuky a další. Odstranění tohoto znečištění je důležité pro bezproblémové zajištění dalších procesů čištění a také k ochraně navazujících technologických zařízení před poškozením těmito předměty. K zachycení nečistot se využívají mechanické zábrany

v podobě lapáku štěrku, tuků, písku či česle. Některé ČOV využívají všechny tyto prostředky k mechanickému čištění, většinou jsou u malých ČOV zařazeny pouze česle a lapák písku.

Lapák štěrku

Funkce lapáku štěrku spočívá v zachycení hrubých nečistot (větve, kamení, stavební materiál, ...), které se sunou po dně kanalizace, ještě před přítokem na ČOV. Standardně zakončují jednotnou kanalizaci, ale jsou doporučovány také u oddílné kanalizace (ČSN 75 6401, 2014). Jedná se o prohlubně v kanalizačním žlabu, ze kterých se pak zachycený materiál denně ručně nebo strojově odklízí. V případě strojního odklizení bývají stěny i dno lapáku pro snadnější manipulaci opatřeny ocelovými pláty (Bábíček et al., 2023).

Česle

Nečistoty v podobě hygienických ubrousků, vlasů apod., které nebyly zachyceny lapákem štěrku, se zadržují pomocí česlí, případně sít. Jedná se o kovovou mříž, která se umísťuje pod úhlem cca 45 ° ke dnu žlabu. Pro správnou funkci česlí je stanovena maximální rychlost průtoku na $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Stejně jako u lapáku štěrku se zařazují česle ručně i strojově stírané. V případě použití ručně stíraných česlí je jejich součástí také odkapávací plocha (ČSN 75 6402, 2017). Česle se pak podle velikosti průlin mezi jednotlivými „žebry“ dělí na hrubé, jemné a velmi jemné. ČSN 75 64 02 označuje za jemné česle ty, které mají velikost průlin 1,5 – 2,0 cm a velmi jemné s průlinami menšími než 1 cm, v ČSN 75 6401 jsou pak jemné česle vymezeny průlinami 2-6 mm. V obou normách se pak pro membránové čistírny doporučuje použití česlí s průlinami o velikosti pod 2 mm. Zachycený odpad na česlích se nazývá „shrabky“. Roční množství shrabků se pohybuje mezi 4-8 kg na jednoho obyvatele. Shrabky se následně likvidují formou kompostování, spalování či odvozem na skládku (ČSN 75 6401, 2014) (ČSN 75 6402, 2017). Často jsou česle také zanášeny množstvím tuku, který se vyskytuje ve splaškových vodách z domácností (přestože tuk nepatří do toalety, ale na sběrný dvůr). Zachycená vrstva tuku pak česle ucpává a ty pak nemohou plnit svou funkci. Tuk se z česlí odstraňuje mechanicky a po jeho odstranění je nutné česle dočistit proudem horké vody (Bábíček et al., 2023).

Lapáky písku

Písek se do odpadní vody dostává především v případě jednotné kanalizace, kdy se díky srážkovým vodám splachují nečistoty z chodníků a silnic. Lapáky se konstruují jako horizontální nebo vertikální a umožňují zachycení částic o velikosti nad 0,2 mm (ČSN 75 6402, 2017). Pro zachycení písku bez většího organického znečištění je důležitá především

rychlost, jakou lapákem odpadní voda protéká. Pro ideální podmínky funkce lapáku by se tato rychlost měla pohybovat kolem $0,30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Zachycený písek je odstraňován buď ručně nebo strojově. Ruční odklizení se využívá především u malých ČOV s horizontálními lapáky, které jsou nejčastěji konstruovány v podobě koryt s podélnou prohlubní, kde se písek zachytává a následně je přes výpust', umístěnou ve dnu, odstraňován. Větší ČOV pak využívají také provzdušňované lapáky nebo vírové, které umožňují lepší „vyprání“ písku (Bábíček et al., 2023). Odstraněný písek se odváží na skládku, nebo se používá ke kompostování. Orientační množství zachyceného písku za rok se pohybuje mezi 5,5-7,3 l na jednoho obyvatele (ČSN 75 6401, 2014).

Lapák tuků

Jedná se o zařízení, které se standardně nezařazuje na ČOV, ale přímo u původců znečištění, jakými jsou např. jídelny, hotely, masokombináty a další. Tuk se v lapácích zachycuje ještě před vtokem do kanalizace. Z lapáků se zachycené tuky a oleje odváží na čistírny odpadních vod, které mají k likvidaci tuků oprávnění (Bábíček et al., 2023).

Primární usazovací nádrže

Po mechanickém předčištění se odpadní voda zbavená hrubých nečistot odvádí do usazovací nádrže, kde se mechanický proces čištění dokončí. V těchto nádržích se díky sedimentaci usazují nerozpuštěné látky, které nebyly zachyceny v procesu předčištění. Takto usazené látky tvoří primární kal. Existuje několik typů konstrukcí těchto nádrží v kruhovém či pravoúhlém provedení, a to jak s horizontálním, tak vertikálním průtokem. Usazovací nádrže jsou většinou vybaveny také stíracím zařízením, které stírá kal na dně a také látky vysrážené na hladině. Dalším typem jsou dnes již málo využívané „emšerské“ neboli šterbinové nádrže, které jsou používány u malých ČOV před skrápěný biologický filtr nebo vegetační čistírnu. Jedná se o horizontálně rozdělenou nádrž, kde se z horní části nádrže přes šterbinu dostává kal do spodní části nádrže, ve které se anaerobně stabilizuje. Kal se pak vyváží cca dvakrát během roku (Bábíček et al., 2023). Velikost vyhnivacího prostoru je navržena tak, aby střední doba zdržení kalu při $8 \text{ }^\circ\text{C}$ činila 150 dní. Vzhledem k tomu, že ve vyhnivací části dochází k tvorbě plynů, je nutné zabezpečit odvod těchto plynů z nádrže pomocí nainstalovaného potrubí (ČSN 75 6401, 2014).

2.2.2 Biologické (sekundární) čištění

Jak vyplývá z názvu, jedná se o čištění, které probíhá na základě biologických procesů, které účinně odstraňují organické znečištění. Proces probíhá díky mikroorganismům, především

bakteriím, které díky svým životním nárokům mohou snížit organické znečištění až o 99 %. Podle prostředí, v jakém tento proces probíhá, hovoříme o čištění aerobním nebo anaerobním. Při aerobním způsobu čištění se využívají mikroorganismy, pro které je přirozené na kyslík bohaté prostředí. Z tohoto důvodu je zapotřebí neustálé provzdušňování vody, aby byly bakterie dostatečně zásobeny kyslíkem a mohly organické látky rozložit na oxid uhličitý a vodu. Při anaerobním procesu se naopak využívá schopností bakterií, které k životu kyslík nepotřebují. Na účinnost čištění má velký vliv také teplota odpadní vody, která by neměla klesat pod 12 °C (Síbrt, 2021).

Aktivační nádrž

Základní jednotkou, ve které probíhají rozkladné biologické procesy je aktivační nádrž, do které přitéká voda po mechanickém přečištění. Do této nádrže se kromě odpadní vody vrací také kal z dosazovací nádrže, která na aktivační nádrž navazuje. Vracením kalu zpět do aktivační nádrže se vytváří optimální prostředí pro správnou funkci nádrže tím, že jsou zpět přiváděny mikroorganismy obsažené v kalu, čímž se zvyšuje jejich koncentrace a tím i účinnost čištění. Kromě dostatečného množství mikroorganismů je potřeba v aktivační nádrži vytvářet také optimální množství kyslíku tzv. aeraci. Okysličování vody se provádí jak na povrchu vody, tak pod hladinou pomocí kompresorů a dmychadel. K zabezpečení efektivní nitrifikace se přidávají také míchadla, díky kterým se kal nedrží u dna, ale dochází k jeho promíchání s odpadní vodou. Aktivační nádrže byly primárně založeny na aeračních procesech. Nicméně v současné době jsou aktivační nádrže složitými skládkami, kde se prolínají procesy aerobní i anaerobní, díky čemuž se daří biologicky odbourat kromě organických látek také značnou část dusíku a fosforu (Bábíček et al., 2023). Pro návrh vhodné aktivační nádrže je důležitá minimální teplota odpadních vod a také stáří kalu, které má vliv na jednotlivé procesy odehrávající se v nádrži. Další podmínkou je znalost technických parametrů navazující dosazovací nádrže a zamýšleného množství a koncentrace vratného kalu (ČSN 75 6401, 2014).

Dosazovací nádrž

Sekundární část čistícího procesu se zakončuje v dosazovacích nádržích, i když část z těchto nádrží je ve formě aktivovaného kalu vracena zpět do aktivační nádrže. Hlavní funkcí těchto nádrží je usazení a zahuštění aktivovaného kalu. Usazením kalu dochází k oddělení vyčištěné vody, která může být vypuštěna přímo do recipientu nebo je dále dočištěna přídatnými technologiemi v rámci terciárního stupně čištění. Vliv na konstrukci nádrže má především velikost průtoku a charakter aktivovaného kalu. Nádrže mohou být kruhové

i pravoúhlé. Kalový prostor je umístěn pod dno nádrže, odkud je odčerpáván čerpadly. Část vyčerpaného kalu se vrací zpět do aktivační nádrže a přebytečný kal je odveden k dalšímu zpracování. V případě špatně probíhající sedimentace se v dosazovacích nádržích využívají flokulační a koagulační činidla, která na sebe navazují znečišťující částice, čímž vytváří těžší, lépe usaditelné, vločky. Díky těmto činidlům se zvyšuje čírost a kvalita odtékající vody (Bábíček et al., 2023).

2.2.3 Terciární čištění

Tento stupeň čištění je nástavbou předchozích dvou stupňů čištění, která má sloužit k dosažení lepší kvality vyčištěných odpadních vod. V současné době je tento stupeň zařazován především pro dostatečné odstranění polutantů ve formě dusíku a fosforu, kteří jsou momentálně hlavními viníky snížené kvality vod v recipientu. Vzhledem ke stále se zpřísnujícím legislativním požadavkům na povolené limity pro fosfor a dusík, přistupuje k terciárnímu čištění čím dál více ČOV. Vyhláška 428/2001 Sb. v souvislosti s terciárním čištěním nehovoří konkrétně o těchto dvou formách znečištění, proto je předpokladem, že v budoucnosti bude kladen stále větší důraz na odstraňování i jiných látek, které se spolu s měnícím se stylem života do odpadních vod dostávají. Stále narůstající spotřeba léčiv, potravinových doplňků, nových čistících přípravků a hormonální antikoncepce znamená také narůstající množství specifického znečištění, které bude nutné s ohledem na kvalitu podzemních a povrchových vod také řešit.

Dusík

Velkou část dusičnanů lze odbourat již v aktivačních nádržích kombinací střídajících se na sebe navazujících jednotek denitrifikace, kde se redukuje množství dusičnanů a nitrifikačních jednotek, kde se na dusičnany oxiduje amoniakální dusík. Efektivnějšího výsledku pak lze dosáhnout zařazením regenerační nádrže. Pro terciární dočištění je jednou z alternativ zařazení denitrifikační nádrže, do které je pro větší efektivitu přidáván substrát. Další možností je využití denitrifikačního filtru, který je umístěn za dosazovací nádrží v místě odtoku z čistírny odpadních vod. K filtraci se používají kuličky polystyrénu, na kterých se usazují denitrifikační bakterie. Voda se k filtru dostává spodním nátokem a prochází filtrem směrem nahoru, odkud je pak přefiltrovaná voda vypouštěna do vodního toku (Bábíček et al., 2023).

Fosfor

K odstraňování fosforu se v terciárním procesu čištění využívají koagulanty, které umožňují vysrážení fosforu do vloček. Vločky jsou pak lépe separovatelné a oddělují se od vody pomocí sedimentace nebo filtrace (pískové, membránové). Tvorba vloček je podmíněna dostatečným promícháváním s koagulantem, který tvoří většinou železité nebo hlinité soli (Bábíček et al., 2023).

V oblasti odstraňování fosforu je stejně jako v jiných oblastech snaha o nahrazení chemických způsobů odstraňování těmi, které jsou založeny spíše na přírodních materiálech. V posledních letech se proto zkouší řada přírodních sorbentů např. opuka, jílu, které by byly kvalitativně dostatečné v odstraňování fosforu. V zemích jako je Rakousko nebo Švýcarsko je pak již zakotvena povinnost recyklace fosforu čistírnami (Kotzurová et al., 2021).

2.2.4 Kalové hospodářství

Pravidla nakládání s kalem podléhají zákonu č. 541/2020 Sb., o odpadech a vyhlášce č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Dle tohoto zákona se nestabilizovaný kal řadí mezi nebezpečný odpad.

Větší čistírny odpadních vod jsou vybaveny tzv. „kalovou koncovkou“, kde dochází k úpravě a zpracování kalu. Vzhledem k finanční náročnosti zpracování kalu je stále značná část, především malých čistíren, která touto technologií nedisponuje a kal vyprodukovaný těmito čistírnami je zpravidla odvážen k dalšímu zpracování na ČOV, které jsou ke zpracování kalů uzpůsobeny.

Jak bylo uvedeno výše, nestabilizovaný kal, tedy kal, který je produktem primární usazovací nádrže a dosazovací nádrže, patří mezi nebezpečný odpad. Aby mohl být tento kal dle legislativních požadavků dále využit, musí být stabilizován, tedy upraven do bezpečné formy k dalšímu použití. Stejně jako v případě sestavení technologické linky čistírny odpadních vod, je technologie kalového hospodářství velmi různorodá. Základním principem je několik na sebe navazujících fází, které vedou k hygienicky nezávadnému kalu.

Nejprve je pro další zpracování nutné kal zahustit. Zahuštění kalu spočívá především v odstranění volné vody, která je následně znovu odvedena k čištění buď samostatnému, nebo spolu s odpadními vodami. V případě primárního kalu se k zahušťování využívá sedimentace, u přebytečného kalu se používají strojní technologie zahušťování

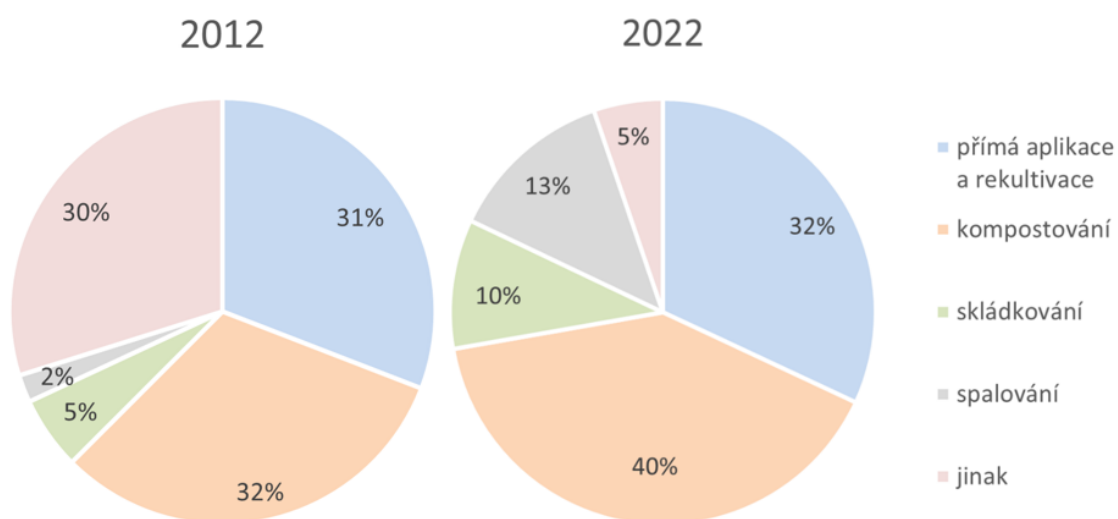
(odstřed'ování, flotace aj.) (ČSN 75 6401, 2014). Díky zahuštění dochází k výrazné redukci objemu kalu.

Samotná stabilizace kalu probíhá ve vyhnívacích nádržích buď za přítomnosti kyslíku, tedy aerobně, nebo anaerobně bez přístupu kyslíku. Aerobní stabilizace se používá především u malých ČOV do 10 000 EO, velké ČOV využívají ke stabilizaci kalu anaerobní procesy. Principem *aerobní stabilizace* je přerušované provzdušňování kalu v nádrži (silu). Před dalším využitím by měl takto stabilizovaný kal zůstat v nádrži nejméně 30 dní. V případě, že má být tekutý kal využit v zemědělství, je minimální doba zdržení 150 dní. *Anaerobní stabilizace* probíhá pomocí vyhřívání, a to při teplotách 38–42 °C (mezofilní anaerobní stabilizace) nebo okolo 55 °C (termofilní anaerobní stabilizace). Většinou se jedná o dvoustupňový proces v oddělených nádržích, kdy se v první nádrži používá vyhřívání a druhá je buď také vyhřívána, nebo bez vyhřívání. Při anaerobní stabilizaci dochází k tvorbě bioplynu, který čistírny využívají zpravidla pro svou potřebu jako energetický zdroj (ČSN 75 6401, 2014).

Další důležitou fází je *odvodnění* kalu. Před odvodňováním se kal zpravidla pomocí polymerních flokulantů předupraví a teprve následně je strojově odvodněn např. na odstředivce. Čistírny do 2 000 EO mohou k odvodnění kalu využít také kalová pole (ČSN 75 6401, 2014). Další možností, které využívají malé ČOV, je např. dekantační odstředivka nebo pomaloběžný šnekový lis, díky kterým lze kal odvodnit bez nutnosti jeho zahuštění a následného uskladnění (Bábíček et al., 2023).

Proto, aby kaly plnily předepsané legislativní hygienické limity, je zpravidla nutné provést také *hygienizaci* kalu, která se provádí např. pálením vápnem nebo s využitím autotermní aerobní stabilizace, ke které dochází při teplotách vyšších než 50 °C. Obě metody se využívají především na malých ČOV (Bábíček et al., 2023).

Likvidace kalů probíhá v České republice především přímým využitím v zemědělství, k rekultivaci skládek a kompostování. Jak vyplývá z údajů Českého statistického úřadu, skladba způsobu likvidace kalů se během posledních let změnila v souladu s trendy, kdy se do popředí dostávají metody likvidace formou spalování. Využití této formy likvidace se zvýšilo z 2 % v roce 2012 na 13 % v roce 2022. Vzhledem k tomu, že dle legislativy nelze kaly skládkovat, je paradoxem procentuální nárůst u skládkování z 5 % v roce 2012 na 10 % v roce 2022, viz Obrázek 5 (Statistická ročenka České republiky - 2023, 2023).



Obrázek 5 Způsob zneškodnění kalů z ČOV v ČR v roce 2012 a 2022; zdroj: vlastní

3 ALTERNATIVNÍ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Z předchozí kapitoly je zřejmé, že kvalitní vyčištění odpadní vody je technologicky náročný proces, který se stále rozvíjí a zdokonaluje. Přestože o účinnosti konvenčních technologií nikdo nepochybuje, je v posledních desetiletích v oblasti čištění odpadních vod, stejně jako v mnoha jiných odvětvích, snaha o návrat k přírodě blízkým technologiím, které využívají přirozených procesů přírody pro čištění odpadních vod, čímž kromě estetičtějšího dojmu, také snižují environmentální zátěž území. Přírodní způsoby čištění odpadních vod se využívají jak k dočištění odpadní vody po vyčištění na standardních ČOV, tak ke kompletnímu čistícímu procesu. K dočištění se využívají především stabilizační rybníky nebo půdní filtry, které jsou zařazeny za klasickou ČOV nebo vegetační kořenovou čistírnu. Vegetační kořenové čistírny patří mezi uměle vybudované mokřady a používají se zejména pro čištění komunálních odpadních vod malých zdrojů znečištění a dále jako domovní čistírny pro rodinné domy či rekreační objekty (Mlejnská et al., 2015). Pojem vegetační čistírna u nás zmiňuje pouze ČSN 75 6402, z čehož se dá usoudit, že jsou tyto technologie určené pouze pro obce do velikosti 500 EO. Nicméně 500 EO není rozhodně hraniční hodnotou pro využití této technologie. I v naší republice se sice zřídka, ale i tak projektují čistírny větší velikosti. Absenci české normy pomáhají suplovat normy zahraniční. Zejména německá norma Standard DWA-A 262E podrobně popisuje technické parametry pro výstavbu umělých mokřadů a jejich provoz. Je zaměřena na sekundární čištění domovních i komunálních odpadních vod v podobě mokřadů, především formou vertikálních filtrů. Pro sekundární čištění již tato norma nepočítá s filtry horizontálními (Nivala et al., 2018).

3.1 Vegetační kořenové čistírny

Stejně jako v případě konvenčních technologií čištění odpadních vod, je i v případě kořenových čistíren základním předpokladem dobré funkčnosti, a tedy i účinnosti, její mechanické předčištění. K tomuto účelu se využívají stejné prvky jako u klasických ČOV, tedy lapáky šterku, písku, česle, usazovací nádrže, viz kapitola 2.2.1. V případě jednotné kanalizace je nutné vybudovat také odlehčovací komoru, která se umísťuje před česlemi, aby mohla být odvedena nadbytečná voda v případě zvýšeného množství srážek. Dobře navržená odlehčovací komora chrání septik nebo usazovací nádrž před přetížením a následně také před zanášením filtračních polí, které plní funkci biologického čištění. Z výše uvedeného vyplývá, že kvalita mechanického předčištění má obrovský význam na následnou účinnost čištění, ale také na náročnost údržby a životnost kořenové čistírny (Křiška, Němcová, 2015).

Na mechanické předčištění navazují filtrační pole, která plní hlavní čisticí funkci kořenových čistíren. Základ filtračních polí tvoří jímky, které jsou odizolované a vyplněné filtračním materiálem, na který je odpadní voda přiváděna pomocí perforovaného potrubí. Svrchní část polí je pak tvořena mokřadní vegetací. Podle systému proudění ve filtračních polích se pak kořenové čistírny dělí na čistírny s horizontálním prouděním (povrchovým nebo podpovrchovým), nebo vertikálním prouděním (Bábíček et al., 2023).

3.1.1 Kořenová čistírna s horizontálním filtrem

Podstatou horizontálního filtračního pole je, jak už z názvu vyplývá, že je odpadní voda rozváděna horizontálně na hrubý filtr, který je složen převážně z hrubého kameniva. V podmínkách České republiky se využívá horizontálního podpovrchového proudění, kdy přivedená odpadní voda zaplňuje téměř celý prostor filtru. Čištění je tak založeno převážně na anaerobních podmínkách. Pro zvýšení účinnosti se za horizontální filtr zařazují pulzní vypouštěče, které při dosažení maximální hladiny vody ve filtru umožňují snížení hladiny na její minimální výšku rychlým odtokem. Díky změnám hladiny se dostává do filtru vzdušný kyslík, který vytváří podmínky pro účinnější čištění. U horizontálního filtru je zapotřebí počítat s plochou filtračního pole 5-6 m² na 1 EO. Přestože se u parametru BSK₅ v případě horizontálního filtru uvádí účinnost čištění více než 80 %, nevýhodou tohoto řešení je neschopnost dostatečně odstranit amoniakální dusík, což vylučuje jednak následný vsak vyčištěných vod a také využití této technologie u čistíren, kde je ať už ze zákona nebo z nařízení vodoprávního úřadu určeno dodržování limitů sloučenin dusíku. Častým problémem je také kolmatace filtru, která je způsobena především nedostatečně řešeným mechanickým předčištěním (Křiška, Němcová, 2015). Povrch filtru je osázen mokřadní vegetací, viz Obrázek 6.



Obrázek 6 Horizontální filtr na KČOV Hostětín, zdroj: vlastní

3.1.2 Kořenová čistírna s vertikálním filtrem

Vertikální filtrační pole je stejně jako horizontální tvořeno nádrží, která je odizolovaná od podloží a je vyplněna filtračním materiálem o celkové výšce cca 80–110 cm, jenž je složen z jednotlivých vrstev o různé zrnitosti a je jemnější než u horizontálních filtrů. Odpadní voda je přiváděna na filtrační pole pomocí děrovaného potrubí umístěného na povrchu filtru, viz Obrázek 7. V případě vertikálních filtrů se většinou využívá pulzního skrápění, kdy je voda vypouštěna do filtru rovnoměrně pomocí impulzů (5–10/den), čímž na rozdíl od horizontálních filtrů, nedochází k zatopení filtru a čisticí procesy probíhají za aerobních podmínek. Tím je zajištěno jednak účinné čištění v ukazatelích BSK₅ (až 95 %) i CHSK_{cr} (90-95 %), ale také amoniakální dusík je snížen na hodnoty průměrně do 5 mg.l⁻¹, a to i v zimních měsících (Křiška, Němcová, 2015). Moderní vertikální filtry vykazují u všech základních ukazatelů včetně amoniakálního dusíku lepších výsledků, než nejlepší dostupné technologie (Šperling, 2021). Kromě lepší účinnosti než horizontální filtry, je další výhodou vertikálního filtru také nižší náročnost na plochu, většinou 4-5 m² (Křiška, Němcová, 2015). V některých případech je uváděna dokonce plocha pole o velikosti 2 m² na jednoho EO (Šperling, 2020).



Obrázek 7 Vertikální filtr Hostětín vlevo krátce po osázení, vpravo v zimním období, zdroj: vlastní

3.1.3 Hybridní systémy

Vzhledem k tomu, že v případě výstavby kořenové čistírny se velmi liší jak podmínky pro její umístění (velikost, svažitost terénu, podloží, ...), tak skladba odpadních vod, je nutné volit při projektování individuální přístup a navrhnout řešení „na míru“, ne jeden model pro všechny s jediným rozdílem ve velikosti filtračního pole podle počtu EO. To je také důvodem, proč se v současnosti kromě účinnějších vertikálních čistíren přistupuje také k realizaci čistíren, které jsou složeny z více filtračních polí, čímž se čištění rozkládá do více stupňů. Jenou z možností je kombinace horizontálního podpovrchového filtru, na který navazuje filtr s vertikálním prouděním. Další možností je doplnění této dvoustupňové

sestavy o další horizontální filtr s jemnější zrnitostí na závěr procesu, který se postará o dostatečné dočištění a denitrifikaci (Bábíček et al., 2023). Dvoustupňové čištění může být konstruováno také způsobem, kdy je horizontální filtr zařazený až za filtr vertikální (Křiška, Němcová, 2015).

Sestava na sebe navazujících filtračních polí může být vytvořena také pouze z horizontálních filtrů, které se od sebe odlišují zrnitostí filtračního materiálu a vegetací (Rozkošný et al., 2014). Stejně tak je možnost za sebe zařadit více polí s vertikálním filtrem, což je především u větších lokalit žádoucí vzhledem k tomu, že jedno samostatné pole by mělo být dimenzováno maximálně na 600 EO (Křiška, Němcová, 2015).

Pro navržení ideálního řešení kořenové čistírny se využívají také moderní technologie v podobě simulačního modelu HYDRUS 2D CW, který při přesném zadání parametrů, ať už plánované čistírny nebo jejího znečištění, dokáže nasimulovat různé situace a procesy, které se budou v rámci čištění odehrávat. Na základě těchto simulací, pak lze projekt upravit a zabezpečit tím lepší funkčnost i účinnost čištění (Křiška, Němcová, 2015).

3.1.4 Vegetace

Filtrační pole kořenových čistíren jsou na celém povrchu osázeny rostlinami. K osazování filtračních polí se využívají mokřadní rostliny, které kromě estetického přínosu zvyšují také množství kyslíku v kořenové oblasti, čímž přispívají k vytváření lepších podmínek pro mikroorganismy a tím i čištění. Řada živin je také absorbována přímo kořeny rostlin a díky přesunu těchto živin z kořenové části do části listové, mohou být sklizní nadzemní části rostlin definitivně z odpadní vody odstraněny. Kromě těchto funkcí slouží vegetace v zimním období také jako izolace. Sklizeň a nakládání s odstraněnými částmi rostlin by měly být upraveny provozním řádem čistírny (Rozkošný et al., 2014). Společnou vlastností použitých rostlin musí být mrazuvzdornost a odolnost vůči výkyvům v množství vody, znečištění a hodnot pH.

Nejčastěji používané rostliny k osázení filtračních polí v našich podmínkách:

- Rákos obecný – výsadba 4 rostlin/m², sklizeň 1x/rok,
- Chrastice rákosovitá – výsadba 10 rostlin/m², sklizeň 1-2x/rok.

K méně často používaným rostlinám se řadí orobinec a zblochan vodní. Pro zvýšení estetické hodnoty se po okrajích vysazují také okrasné rostliny např. kosatec nebo skřípinec jezerní.

Okrasné rostliny se častěji používají u domovních vegetačních čistíren (Mlejnská et al., 2015).

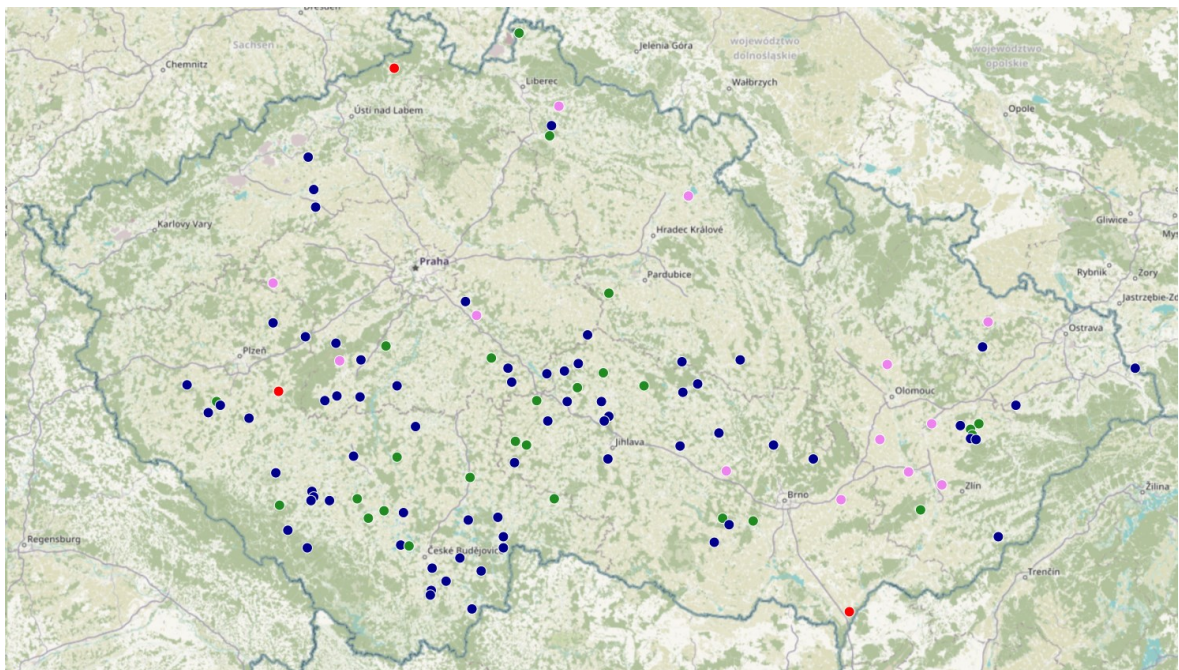
3.1.5 Domácí kořenová čistírna

Kořenové čistírny nacházejí uplatnění také v podobě domovních čistíren. Mechanické předčištění je v případě domácí kořenové čistírny zabezpečováno prostřednictvím vícekomorového septiku (anaerobního separátoru), který je tvořen zpravidla plastovým prefabrikátem, ve kterém probíhají anaerobní procesy. Ze septiku je odpadní voda následně přečerpána pomocí pulzní šachty na vertikální pulzně skrápěný kořenový filtr, který je vyplněn pískem a štěrkem. Rovnoměrný rozvod vody do filtru zabezpečuje perforované plastové potrubí umístěné na povrchu filtru spolu s mokřadní vegetací. Pro vyšší účinnost čištění je možné nechat vodu protékat přes filtr opakovaně. Z filtračního pole protéká vyčištěná voda do šachty, ze které se odebírá k dalšímu využití, nebo je odvedena k zasakování či do recipientu. I domácí kořenové čistírny podléhají stavebnímu povolení, protože se jedná o vodní dílo. V současnosti existují i kořenové čistírny s certifikací CE, u kterých stačí ohlášení. Výhodou domácích KČOV je možnost provozu s nulovou spotřebou elektrické energie, dlouhá životnost, možnost nárazovitého provozu a schopnost snášet běžně používané chemikálie. Nevýhodou je však její cena, která dosahuje částky až 400 000 Kč pro rodinný dům, ke které je nutno připočítat také náklady za vývoz kalu, zpravidla dvakrát za rok. Dalším limitujícím prvkem je pak velikost pozemku vzhledem k potřebě 2-5 m² plochy na 1 osobu (Kořenová čistírna odpadní vod: Co to je a jak funguje?, 2023).

3.1.6 Historie kořenových čistíren v České republice

Extenzivní technologie čištění odpadních vod ve formě kořenových čistíren se do České republiky dostaly především díky skupině nadšenců v 90. letech minulého století. Počátky kořenových čistíren byly v České republice provázeny nedůvěrou ve schopnost této formy extenzivních technologií konkurovat moderním ČOV a také díky absenci těchto technologií v legislativních normách. V roce 1989 byl zahájen provoz první české kořenové čistírny. Vzhledem k tomu, že v 90. letech byla realizace kořenové čistírny levnější variantou než klasické ČOV a většina malých obcí měla vybudovanou jednotnou kanalizaci, byla kořenová čistírna ideální volbou pro řadu menších obcí. V roce 2004 bylo dle Vymazala v České republice více jak 160 kořenových čistíren, převážně v obcích do 1000 EO (Vymazal, 2004). Standardně byly zpočátku čistírny navrhované s horizontálními filtry. V současné době se

však pro svou vyšší účinnost projektují čistírny s vertikálně skrápěnými filtry. Na tuto technologii přechází v rámci revitalizace i některé původně horizontální čistírny (Šperling, 2020). Po více jak třicetileté praxi v naší republice se rozrostl nejen počet kořenových čistíren, ale také počet firem, které se snaží projektovat moderní kořenové čistírny na základě nejnovějších výzkumů a s výbornými výsledky čištění. Údaje o počtu kořenových čistíren na našem území se různí, řádově se hovoří o provozu několika stovek kořenových čistíren (obecních i domovních). Vzhledem k tomu, že neexistuje žádná centrální evidence obecních kořenových čistíren, nelze jejich přesný počet určit. K tvorbě mapy zobrazené na Obrázku 8 byly použity údaje z vybraných údajů majetkové evidence (Vybrané údaje majetkové evidence (VÚME) a Vybrané údaje provozní evidence (VÚPE) za rok 2022, 2024) doplněné o informace z jednotlivých Povodí a veřejně dostupných zdrojů. Mapa s detaily je dostupná na: <http://u.osmfr.org/m/1052161/>.



Obrázek 8 Mapa obecních kořenových čistíren, zdroj: vlastní, nástroj: uMap

3.2 Půdní filtry

Do kategorie přírodních čistících procesů se řadí také půdní filtr, který je obdobou filtračních polí vegetačních čistíren. Také půdní filtry jsou konstruovány jako horizontálně, vertikálně případně radiálně protékané. Umísťují se pod povrch a na rozdíl od filtračních polí vegetačních čistíren nejsou pokryté mokřadní vegetací, ale jsou zpravidla zatravněny. O existenci filtru pak svědčí jen revizní trubky, které jsou vyvedeny nad povrch. Tyto filtry mohou být použity jako hlavní čistící prvek na mechanické předčištění nebo se využívají

k dočištění. Podle toho, k jakému jsou určeny účelu se liší také náročnost na plochu filtru, která v případě hlavního čištění činí $5 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$, a také na jeho hloubku. Pro dočištění stačí hloubka 0,8-1,2 m, pokud má být zabezpečeno kvalitní primární čištění, je nutná hloubka minimálně 1,6 m, standardně se však hloubka těchto filtrů pohybuje až okolo 2,4 m. Stejně jako u vegetačních čistíren je výhodou filtrů jejich provoz bez použití elektrické energie, čímž jsou dány minimální náklady na provoz. Kromě nedostatečného odstraňování amoniaku a fosforu jsou čistící účinky srovnatelné s čištěním na mechanicko-biologických čistírnách. Slabým místem půdních filtrů je špatná přístupnost k provedení kontroly filtračního materiálu a jeho zanášení (Rozkošný et al., 2014).

3.3 Biologické nádrže

Technické parametry pro výstavbu biologických nádrží upravuje ČSN EN 12255-5. Využívají se jak k samotnému čištění odpadních vod nebo především k jejich dočištění. Nádrže mají podobu rybníků, proto je kromě jejich čistících schopností nemalým přínosem vytváření příjemného klimatu v okolí nádrže a také jejich estetické začlenění do krajiny.

Typy biologických nádrží:

- Aerobní: provzdušňované a neprovzdušňované,
- Anaerobní: akumulární, sedimentační, průtočné,
- Dočišťovací,
- S akvakulturami.

Dle typu se pak odvíjí doba zdržení a nároky jak na plochu, tak na hloubku nádrže. Pro aerobní nádrže je dostatečující hloubka mezi 0,5-2,5 m, pro anaerobní nádrže se doporučuje hloubka 2-5 m (Mlejnská et al., 2015). Náročnost na plochu je ovlivněna skutečností, zda je zařazeno provzdušňování nebo ne. Pro neprovzdušňované nádrže se uvažuje s plochou $10-15 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$, v případě provzdušňování stačí plocha $2-3 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$, což značí výraznou úsporu v záběru půdy. Kromě hloubky a velikosti plochy je zásadním parametrem pro kvalitní čištění zabezpečení rovnoměrného průtoku, proto je důležité správné rozvržení a počet vtokových a výtokových prvků. Vzhledem k tomu, že nádrže jsou postupem času zanášeny, musí obsahovat také výpusť, aby mohla být nádrž vypuštěna a následně vyčištěna. Standardní je navrhování dvou a více nádrží za sebou (Bábíček et al., 2023).

Mezi faktory ovlivňující účinnost čištění se řadí např. teplota (nižší schopnost odstraňování dusíku v zimním období), kolísání množství řas a stáří nádrže (snížení účinnosti především u odstraňování fosforu). Jednou z možností pro zvýšení účinnosti čištění v biologických nádržích je využití akvakultur, které jsou buď ve formě volně plovoucích rostlin nebo ve formě plovoucích umělých mokřadů (Mlejnská et al., 2015). Vzhledem k usměrnění rozložení rostlin na vodní hladině jsou praktičtější plovoucí umělé mokřady, kdy se rostliny sází do porézního, lehkého nosiče, který je umístěn na hladinu. Kořeny visící z podložky pak odebírají živiny přímo z vody a jsou schopny snížit množství kovů i pesticidů a také poskytují prostor pro růst mikroorganismů. Plovoucí ostrůvky také pomáhají upravovat množství kyslíku ve vodě. Problémem je v našich podmínkách volba rostlin a také obtížnost nutné pravidelné sklizně (Rozkošný et al., 2014). Další možnosti pro zvýšení účinnosti je použití šterkové nebo pískové filtrace, případně ponořených provzdušňovaných biofiltrů (Mlejnská et al., 2015).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ANALÝZA VZORZŮ ODPADNÍ VODY

Cílem praktické části je provedení experimentálního odběru standardizovaných vzorků na kořenové čistírně odpadních vod v Hostětíně, jejich následná analýza a vyhodnocení. Odběry budou prováděny průběžně, zpravidla ve víkendových dnech, na přítoku i odtoku z čistírny a jedním odběrem vody z potoka Kolelač nad a pod místem vtoku vyčištěné odpadní vody. Odebrané vzorky budou max. do 15 minut od odběru zamraženy při teplotě $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro provedení jednorázové analýzy (po rozmražení) v laboratořích Centra polymerních systémů ve Zlíně. Analýza čerstvě odebraných vzorků bude provedena u jednoho vzorku na přítoku, odtoku a z potoka nad a pod místem vtoku vyčištěné odpadní vody.

Cílem analýzy vzorků na přítoku je především získání představy o tom, jak moc je znečištění přicházející na čistírnu proměnlivé a zda se projeví korelace míry znečištění ve vztahu k předpokládané vyšší víkendové zátěži v důsledku provádění úklidu, vaření a praní v domácnostech. Analýza vzorků na odtoku má za cíl zhodnotit kvalitu vyčištěné odpadní vody rozšířením legislativně daných parametrů pro vypouštěné odpadní vody o další ukazatele, které se standardně využívají pro hodnocení kvality vody povrchové.

Období odběrů: červen–září 2023 pro zamražené vzorky, 11.3.2024 odběr čerstvých vzorků

Použité metody:

- Měření pH,
- Konduktometrie,
- Stanovení celkového uhlíku a dusíku (TC universal method, TN universal method),
- Energiově disperzní spektrofotometrie: EDX-XRF (ThermoScientific, ARL Quant X),
- Vážkové stanovení vlhkosti a sušiny,
- Kultivace v rámci mikrobiologického rozboru,
- Měření optické hustoty.

4.1 Legislativní limity

Hlavním ukazatelem účinnosti čistíren odpadních vod je z hlediska legislativy dodržení předepsaných emisních limitů na vypouštění odpadních vod. V Tabulce 2 je uveden přehled

limitů pro jednotlivé velikostní kategorie čistíren odpadních vod a pro vodu povrchovou, vycházející z NV č. 401/2015 Sb.. Ukazatele pro základní rozbor, který je určen i pro nejmenší ČOV s velikostí do 500 EO jsou $CHSK_{Cr}$, BSK_5 a NL. Čistírny nad 500 EO mají povinnost rozšířit základní rozbor o další ukazatele, viz Tabulka 2. Hodnocení stavu kvality povrchové vody je prováděno pomocí širokého spektra ukazatelů, z nichž jsou v tabulce uvedeny pouze ty ukazatele, které byly měřeny v rámci prováděné analýzy.

Tabulka 2 Vybrané emisní limity pro povrchové a vypouštěné OV, zdroj: vlastní

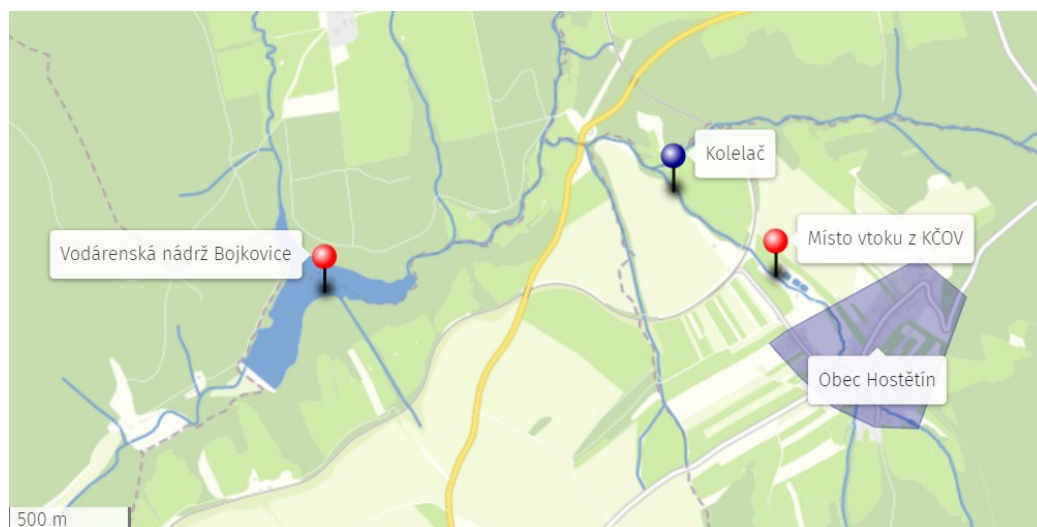
	Ukazatel znečištění dle NV č. 401/2015 Sb.		Emisní limity znečištění vypouštěných odpadních vod					Povrchové vody	
			Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace					Roční průměr	Max.
			< 500	500 - 2000	2001-10000	10001-100000	> 100000		
Základní rozbor	$CHSK_{Cr}$	p	150	125	120	90	75	5,9	26
	mg/l	max	220	180	170	130	125		
	BSK_5	p	40	30	25	20	15	2,7*	3,8
	mg/l	max	80	60	50	40	30		
	NL	p	50	40	30	25	20	x	20
	mg/l	max	80	70	60	50	40		
Formy N a P	$N-NH_4^+$	průměr	x	20	15	x	x	x*	0,23
	mg/l	max	x	40	30	x	x		
	N_{celk}	průměr	x	x	x	15	10	x	6
	mg/l	max	x	x	x	30	20		
	P_{celk}	průměr	x	x	3	2	1	0,05	0,15
	mg/l	max	x	x	8	6	3		
Rozšířený rozbor	RL_{105}	mg/l	x	x	x	x	x	x	750
	Hg	μg/l	x	x	x	x	x	x	0,07
	TOC	mg/l	x	x	x	x	x	4,5	10
	Teplota	°C	x	x	x	x	x	x	29
	Ph		x	x	x	x	x	x	5-9
	Escherichia coli	KTJ/ 100 ml	x	x	x	x	x	x	2500
	Intestinální enterokoky	KTJ/ 100 ml	x	x	x	x	x	x	2000
	Termotolerantní koliform.bakt.	KTJ/ 100 ml	x	x	x	x	x	x	4000

* vztaženo na pitnou vodu

4.1.1 Hostětín

Odběry vzorků odpadní vody pro praktickou část diplomové práce byly provedeny na kořenové čistírně odpadních vod v Hostětíně, který se nachází v CHKO Bílé Karpaty. Jedná se o jednu z prvních kořenových čistíren v České republice, která byla vybudovaná v roce 1996 jako kořenová čistírna se dvěma horizontálně protékanými filtry s kapacitou 280 EO. Do provozu byla čistírna uvedena v roce 1997. Vzhledem k tomu, že vyčištěné odpadní vody vytékají do potoka Kolelač, který ústí po cca 2,5 km do vodárenské nádrže města Bojkovice

viz Obrázek 9, měla čistírna od počátku provozu stanoveny přísnější emisní limity, než jaké jsou nařízením vlády určeny jí odpovídající velikostní kategorii.



Obrázek 9 Situační plán KČOV Hostětín, zdroj: vlastní, nástroj: uMap

Některé stanovené emisní limity odpovídaly ČOV s velikostí nad 10 tisíc EO, v některých letech dokonce pod hranicí BAT pro jí příslušnou velikostní kategorii čistíren, viz Tabulka 3. Celkový přehled plnění emisních limitů v letech 2016–2023 na základě povinných rozborů provedených akreditovanou laboratoří je uveden v Příloze P I (OÚ Hostětín, 2024). Právě blízkost vodovodní nádrže a požadavky Povodí Moravy vedly také v roce 2020 ke stanovení emisního limitu na množství amoniakálního dusíku a fosforu, jejichž limit je přísnější než u ČOV s více jak 100 000 EO.

Tabulka 3 Limity KČOV Hostětín v letech 2016-2024 a naměřená maxima, zdroj: vlastní

Kategorie ČOV ≤ 500 EO		CHSK _{Cr} mg/l		BSK ₅ mg/l		NL mg/l		N-NH ₄ ⁺ mg/l		N _{celk} mg/l		P _{celk} mg/l	
		p	max.	p	max.	p	max.	průměr	max.	průměr	max.	průměr	max.
Limit dle	NV č. 401/2015	150	220	40	80	50	80	x	x	x	x	x	x
Hodnoty BAT	NV č. 401/2015	110	170	30	50	40	60	x	x	x	x	x	x
Hostětín 300 EO - limity stanovené povolením VÚ	r. 2016-2017	70	x	20	x	25	x	x	x	x	x	x	x
	r. 2017-2020	110	170	30	50	40	60	x	x	x	x	x	x
	r. 2020-2024	100	150	25	40	25	40	15	30	x	x	1	2
	výjimka stavba	150	220	40	80	50	80	20	40	x	x	3	8
Max. naměřené hodnoty v období	2016-2019	83,2		34,9		49,0		22,2		x		2,90	
Max. naměřené hodnoty v období	2020-2023	42,0		14,2		23,0		19,0		x		1,74	

Tyto přísné požadavky na kvalitu vypouštěných odpadních vod vedly k rozhodnutí obce provést celkovou rekonstrukci čistírny, která byla zrealizována v roce 2023. Původní čistírna

se dvěma horizontálně protékanými filtry byla přebudována na vertikálně podpovrchově protékanou čistírnu odpadních vod II. generace, která byla doplněna také o vertikální usazovací nádrž pro sedimentaci fosforu, umístěnou za retenční nádrží.

V současnosti jsou tak odpadní vody z jednotné kanalizace přivedeny na čistírnu, kde je hned na počátku umístěna odlehčovací komora, ze které je pak v období vyšších srážek dešťová voda přes sedimentační jímku odvedena na původní horizontální filtr, kde je přečištěna a následně odvedena do retenční nádrže umístěné za vertikálně protékaným filtrem. Odpadní vody jsou po mechanickém předčištění pomocí česlí a lapáku písku svedeny do nově vybudovaného osmikomorového biologického septiku, odkud jsou následně přes pulzní šachtu rovnoměrně vypuštěny do vertikálně podpovrchově protékaného filtru (dřívější HF2), kde probíhá hlavní stupeň čištění. Z vertikálního filtru je přečištěná voda odvedena přes regulační šachtu do retenční nádrže. Pro zvýšení účinnosti lze vodu opakovaně recirkulovat přes VKF. Za retenční nádrží pak ve vertikální usazovací nádrži probíhá srážení fosforu pomocí polyaluminiumchloridu (PAX-18), jehož spotřeba by se měla pohybovat okolo cca 600 kg/rok ($\pm 20\%$). Provedená přestavba také navýšila kapacitu čistírny z původních 280 EO na 300 EO (OÚ Hostětín, 2024).

4.1.2 KČOV Hostětín vs. tradiční ČOV

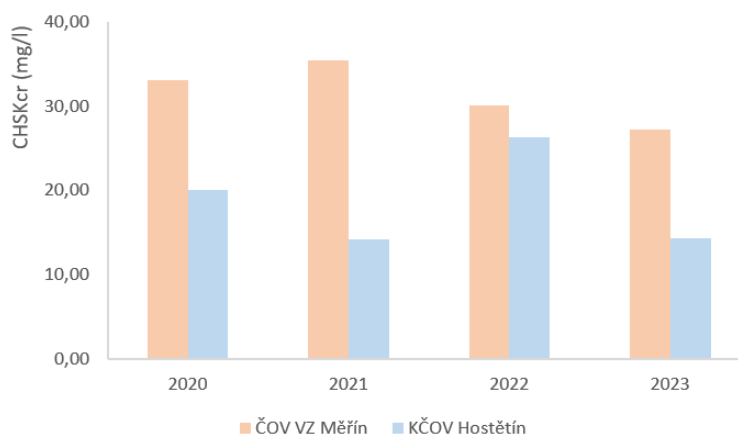
Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole a Příloze P I, KČOV Hostětín nemá problém plnit stanovené emisní limity, i když jsou pro tak malou čistírnu velmi přísné. Pro ucelenější obraz jsou v této části porovnány hodnoty naměřené na odtoku v roce 2023 na KČOV Hostětín, náhodně vybranými malými ČOV (cca do 600 EO) z údajů na webových stránkách Severočeských vodáren a.s. (Přehled výsledků vybraných ČOV, 2024) a ČOV VZ Měřín (VZ Měřín, 2024), viz Tabulka 4. Z této tabulky je patrné, že v ukazatelích $CHSK_{Cr}$, BSK_5 , NL i P dosahuje kořenová čistírna nejlepších výsledků (u max. hodnoty BSK_5 se jedná o druhý nejlepší výsledek). Jediný ukazatel, kde nedosahuje nejnižší hodnoty je ukazatel $N-NH_4$, i v tomto ukazateli se však pohybuje v případě průměru na 11 % nejvyšší hodnoty a u maxima na 6,6 %. Je nutné také dodat, že maximální hodnota fosforu na KČOV Hostětín v letech 2016-2022, kdy ještě čistírna chemicky nesrážela fosfor, činila 2,9 mg/l, což je podstatně nižší hodnota nejen než u maxima, ale také u průměrné hodnoty většiny tradičních ČOV uvedených v Tabulce 4.

Tabulka 4 Průměrné a max. hodnoty na odtoku z KČOV Hostětín a vybraných tradičních ČOV v roce 2023, zdroj: vlastní

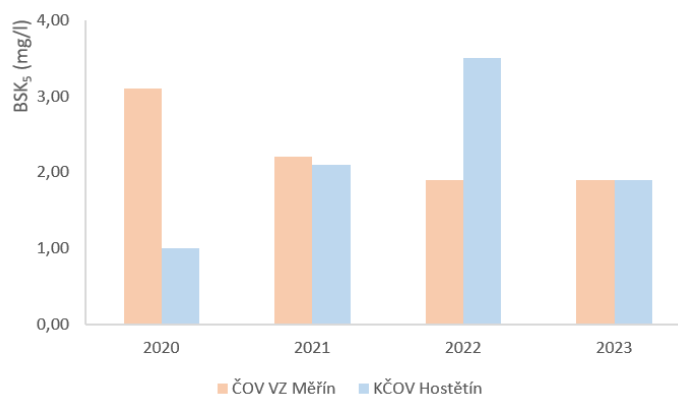
Odtok	CHSK _{Cr} (mg/l)		BSK ₅ (mg/l)		NL (mg/l)		N-NH ₄ (mg/l)		P (mg/l)	
	průměr	max.	průměr	max.	průměr	max.	průměr	max.	průměr	max.
KČOV Hostětín	14,30	18,50	1,90	3,10	2,80	5,00	2,40	5,70	0,48	1,10
ČOV VZ Měřín	27,20	46,00	1,90	2,90	12,00	27,00	1,84	10,20	0,88	1,38
ČOV Čeperka	24,50	30,00	3,53	4,70	5,70	14,40	0,57	1,20	4,33	6,50
ČOV Hostín	45,50	58,00	7,23	14,00	11,20	24,00	0,59	0,65	7,30	9,30
ČOV Kamenný Most	50,20	64,00	14,80	21,00	19,54	32,50	21,80	86,00	1,79	3,50
ČOV Kozárovice	30,00	44,00	4,61	7,10	5,88	9,50	0,65	1,20	7,38	8,00
ČOV Mlékojedy	22,75	56,00	3,28	4,50	4,63	16,00	0,40	0,64	3,45	6,30
ČOV Makotřasy	27,07	40,00	4,50	11,00	7,39	18,00	0,98	3,20	4,62	6,50
ČOV Srby	33,75	59,00	5,30	13,00	5,63	12,50	13,50	17,00	3,27	5,60
ČOV Nebužely	36,50	44,00	5,83	10,00	6,70	7,60	7,53	15,00	2,60	2,60
ČOV Podlešín	25,17	48,00	4,32	7,80	13,13	26,40	0,86	1,70	4,48	8,60
ČOV Pchery Theodor	60,33	90,00	13,62	38,00	15,22	27,00	8,63	30,00	5,50	8,90
ČOV Uhy	47,75	67,00	10,55	21,00	12,88	18,80	6,93	23,00	4,20	4,20
ČOV Vraňany	57,75	81,00	14,70	26,00	11,70	15,60	21,08	57,00	x	x

Podrobnější srovnání za časové období 2020-2023 bylo provedeno mezi KČOV Hostětín a ČOV VZ Měřín, na kterou jsou odváděny splaškové odpadní vody z hotelového zařízení a rekreačních objektů v průměru za 500 EO (projektovaná kapacita je však 2 500 EO). Srovnání průměrných, maximálních a minimálních naměřených hodnot jednotlivých ukazatelů na přítoku i odtoku je uvedeno v Příloze P II. Z hodnot naměřených na přítoku je patrný rozdíl mezi jednotnou a splaškovou kanalizací, kdy je koncentrace znečištění na přítoku ČOV VZ Měřín několikanásobně vyšší než na KČOV Hostětín. Zajímavé jsou však rozdílné hodnoty mezi minimem a maximem znečištění na přítoku, kdy v případě obou čistíren je znečištění značně proměnlivé. Největší rozdíly jsou patrné především u ukazatele N-NH₄, kdy maximální hodnota amoniakálního dusíku v roce 2023 byla na ČOV VZ Měřín 140x vyšší než minimální hodnota v témže roce, maximální hodnota za sledované 4 roky pak byla dokonce více jak 200násobně vyšší než hodnota minimální. Na odtoku jsou v případě amoniakálního dusíku u ČOV VZ Měřín rozdíly mezi minimy a maximy ještě markantnější, kdy minimální naměřená hodnota činila v roce 2020 0,01 mg/l a maximální hodnota v roce 2021 byla 16,6 mg/l. V případě fosforu jsou rozdíly na odtoku mezi minimem a maximem na ČOV VZ Měřín také vyšší než u KČOV Hostětín a také maximální hodnota 5,96 mg/l je 3,5 x vyšší než hodnota 1,68 mg/l u KČOV Hostětín v roce 2020, tedy bez použití chemického srážení fosforu. Celkově KČOV Hostětín dosahovala nižšího průměrného znečištění na odtoku u ukazatelů CHSK_{Cr}, BSK₅ a NL, naopak u N-NH₄ a P

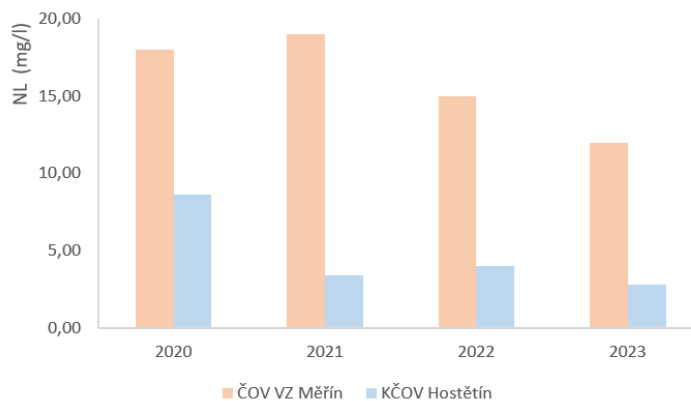
byly nižší průměrné hodnoty u ČOV VZ Měřín. Grafické srovnání jednotlivých ukazatelů na odtoku je uvedeno na Obrázcích 10-14.



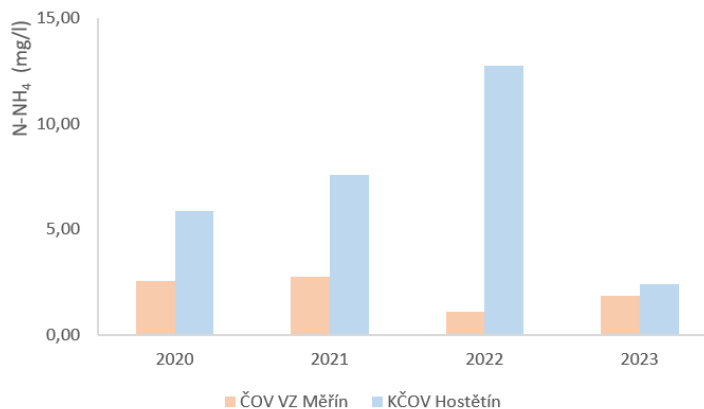
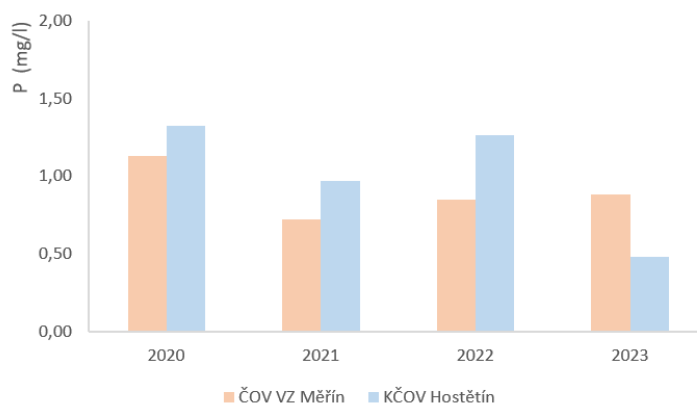
Obrázek 10 Průměrné hodnoty CHSK_{Cr} na odtoku, zdroj: vlastní



Obrázek 11 Průměrné hodnoty BSK₅ na odtoku, zdroj: vlastní



Obrázek 12 Průměrné hodnoty NL na odtoku, zdroj: vlastní

Obrázek 13 Průměrné hodnoty N-NH₄ na odtoku, zdroj: vlastní

Obrázek 14 Průměrné hodnoty P na odtoku, zdroj: vlastní

4.2 Odběr vzorků

Odběr vzorků odpadních vod, konzervaci a manipulaci s nimi upravují normy ČSN, zejména ČSN ISO 5667-3 a ČSN ISO 5667-10. V souladu s těmito normami bylo během tříměsíčního období bylo odebráno celkem 28 prostých vzorků s následným zamražením, a to:

- 13 vzorků na přítoku,
- 13 vzorků na odtoku,
- 1 vzorek z potoka Kolelač 100 m nad vtokem vyčištěných odpadních vod,
- 1 vzorek z potoka Kolelač 100 m pod vtokem vyčištěných odpadních vod.

Dne 11.3. 2024 byl proveden odběr čerstvých prostých vzorků, a to:

- 1 vzorek na přítoku,

- 1 vzorek na odtoku,
- 1 vzorek z potoka Kolelač 100 m nad vtokem vyčištěných odpadních vod,
- 1 vzorek z potoka Kolelač 100 m pod vtokem vyčištěných odpadních vod.

Čerstvě odebrané vzorky byly do dvou hodin po odběru doručeny k analýze. Během transportu byly vzorky uchovány v temnu a chladu.

Postup při odběru:

Náběr vzorků byl prováděn s použitím plastové 1 litrové odměrky, která byla před vlastním provedením odběru několikrát propláchnuta odebíranou vodou. Z této odměrky pak byla naplněná předem popsaná 0,5 litrová plastová láhev od pitné vody, která byla také před přelitím vzorku několikrát propláchnuta odebíranou vodou. Odběr vzorků probíhal s použitím sterilních rukavic. V případě zamražení byly vzorky do 15 minut uloženy k zamražení při $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, čerstvé vzorky byly uloženy v temnu a chladu a doručeny do dvou hodin k analýze. Na Obrázku 15 je zachycen vlevo odběr vzorků a v pravé části jsou pro ilustraci zachyceny lahve se vzorky vedle lahve s pitnou vodou, na kterých je již pouhým okem patrný rozdíl mezi vodou na přítoku a odtoku.



Obrázek 15 Vlevo odběr vzorku, vpravo odebrané vzorky vedle lahve s pitnou vodou, zdroj: vlastní

Odběrná místa:

Vzorky na přítoku byly nabírány z nátoky odpadní vody do septiku po mechanickém předčištění a z odtoku byl odběr prováděn v prostoru výpusti vyčištěné odpadní vody do potoka Kolelač, viz Obrázek 16. Odběr vzorků z potoka Kolelač probíhal od místa vtoku vyčištěné odpadní vody cca 100 m proti proudu a cca 100 m po proudu řeky.



Obrázek 16 Místa odběru vzorků na přítoku a odtoku, zdroj: vlastní

4.3 Laboratorní analýza vzorků

4.3.1 pH

Měření hodnoty pH poskytuje informace o kyselosti nebo zásaditosti vody. K orientačnímu měření hodnoty pH lze využít indikátorové papírky, jež jsou rozděleny na dílky, které obsahují různé chemické látky nebo směsi, díky čemuž se proužky po ponoření do kapaliny zbarví. Výsledná hodnota pH se odečte po přiložení proužku k barevné škále dané výrobcem. Směsný indikátor může mít rozsah od 1 do 13 s přesností jedné jednotky pH. K přesnějšímu stanovení hodnoty pH se využívají přístroje na bázi elektrod, k nejpoužívanějším patří skleněné iontově selektivní elektrody, respektive kombinovaná skleněná elektroda, ve které je obsažena referenční i měrná elektroda (Záruba, 2016).

Přístroj: pH metr 8 + DHS

Postup:

1. Kalibrace přístroje – použity pufrů o pH 4; 7 a 10.
2. Sejmeme kryt z pH elektrody a její konec očistíme destilovanou vodou ze stříčky, poté otřeme kapku na spodní části elektrody.
3. Vzorek protřepeme, aby došlo k důkladnému promíchání obsahu.
4. Analyzovaný vzorek přelejeme do kádinky v množství cca 100 ml.
5. Do vzorku ponoříme elektrodu i s teplotní sondou tak, aby hladina vzorku byla nad „tečkou“ na elektrodě. Elektroda se nesmí dotýkat kádinky.
6. Konec měření signalizuje symbol smajlíka na displeji.
7. Na displeji se zobrazí hodnota pH a teploty, viz Obrázek 17.
8. Po ukončení měření je nutné omýt destilovanou vodou elektrodu i kádinku od vzorku.



Obrázek 17 Měření pH, zdroj: vlastní

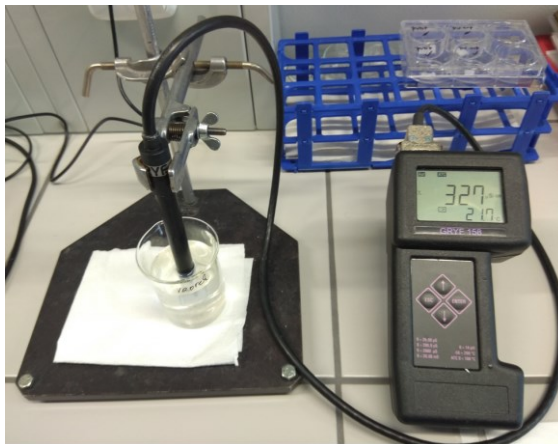
4.3.2 Konduktometrie

Konduktometrie určuje koncentrace rozpuštěných elektrolytů v roztoku na základě měření jeho elektrické vodivosti. Jedná se o neselektivní metodu, využívá se tedy pouze k určení přibližného celkového obsahu iontů v roztoku. Siemens (S) je jednotka vyjadřující elektrickou vodivost, měrná vodivost se uvádí v $S \cdot m^{-1}$ (resp. $mS \cdot cm^{-1}$). U pitné vody se udává měrná vodivost 10^{-2} až $1 mS \cdot cm^{-1}$, v případě mořské vody je to $50 mS \cdot cm^{-1}$. Konstantní teplota je zásadní pro regulérní měření vodivosti (Záruba, 2016).

Přístroj: konduktometr GRYF 158

Postup:

1. Analyzovaný vzorek přelejeme do nádoby v množství cca 100 ml (použit stejný vzorek jako u měření pH), optimální teplota vzorku při měření je $25^{\circ}C$.
2. Do vzorku ponoříme vodivostní sondu tak, aby bylo čidlo zcela ponořené a sonda se nedotýkala nádoby.
3. Na displeji se zobrazí hodnota konduktivity v $\mu S \cdot cm^{-1}$, viz Obrázek 18.
4. Po ukončení měření je nutné opláchnout měřicí komoru i sondu destilovanou vodou, případně sondu osušit.



Obrázek 18 Měření vodivosti, zdroj: vlastní

4.3.3 Analýza celkového uhlíku a dusíku (TC/TN)

Ke stanovení celkového množství uhlíku (TC) byl použit Analyzátor TOC-L od firmy Shimadzu (Japonsko), který umožňuje analýzu kapalných látek na základě kompletního spalování vzorků za přítomnosti kyslíku při teplotě 680 °C u uhlíku a 720 °C u dusíku. Spalovací trubice jsou naplněny platinovým katalyzátorem. Pro analýzu není nutné přidání žádných oxidačních činidel. Při oxidaci se uvolňuje oxid uhličitý, k jehož detekci se, po ochlazení a zbavení vlhkosti, používá infračervený analyzátor plynů (NDIR) s vysokou citlivostí (SHIMADZU).

Při analýze byly v ovládacím softwaru použity módy měření: „TC universal method“ a „TN universal method“, měření bylo provedeno dvakrát.

Přístroj: TOC-L analyzer Shimadzu

Postup:

1. Přefiltrování cca 100 ml vzorku přes filtrační papír KA 5-M.
2. Přefiltrované vzorky nalejeme do 15 ml skleněných zkumavek.
3. Zkumavky se vzorky umístíme do stojanu autosampleru a zakryjeme víkem, viz Obrázek 19.
4. V PC doplníme pozice vzorků do SW a dáme „START“.
5. Přístroj provede nástřik do vysokoteplotního reaktoru integrovaným dávkovačem.
6. Detekce CO₂ a N₂ pomocí NDIR detektoru.
7. Naměřené hodnoty TC a TN se zobrazí přímo v PC.



Obrázek 19 Vzorky připravené v autosampleru, zdroj: vlastní

4.3.4 Energiově disperzní spektroskopie – Xray fluorescence (EDX-XRF)

Jedná se o nedestruktivní metodu určenou ke zjištění zastoupení jednotlivých prvků v analyzovaném materiálu. Metoda je založena na rentgenovém záření. Primárním ozáření analyzovaného vzorku dojde k uvolnění vnitřních elektronů, jejichž místo následně zaujmou elektrony vnější. Při tomto procesu dochází k uvolnění fotonové energie (fluorescence), kterou má každý prvek jedinečnou (stejně jako člověk otisky prstů). Druh této energie určuje typ zastoupeného prvku a množství prvku je určeno intenzitou vyzařované energie (Blondel, 2020). Analýza byla provedena dvakrát u každého vzorku.

Přístroj: ThermoScientific, ARL Quant´X EDXRF Analyzer

Postup:

1. Nanesení cca 3 g nefiltrovaného vzorku do teflonového kelímku.
2. Překrytí kelímku speciální mikrocelulózovou fólií.
3. Utěsnění fólie na kelímku teflonovým kroužkem a otočení kelímku dnem vzhůru.
4. Vložení kelímků do autosampleru přístroje, viz Obrázek 20.
5. Zapnutí přístroje.
6. Provedení měření přístrojem rentgenovým zářením.
7. Zobrazení výsledků analýzy na PC v programu UniQuantX, v hmotnostních procentech a EDX spektru.



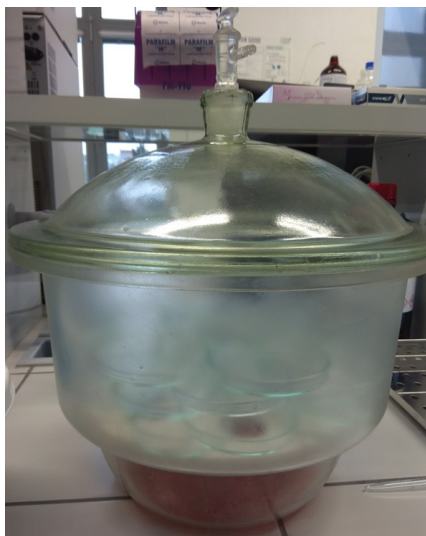
Obrázek 20 Vzorčky připravené k analýze v autosampleru přístroje, zdroj: vlastní

4.3.5 Vážkové stanovení vlhkosti a sušiny

Základem této metody je odstranění vlhkosti z analyzovaného vzorku jeho zahříváním na teplotu blízkou bodu varu (105 °C), díky čemuž nedochází ke změně chemického složení sušiny. Zahřívání je prováděno opakovaně po vychladnutí vzorku v exsikátoru, který obsahuje sušidlo, dokud není dosaženo konstantní hmotnosti (Záruba, 2016). Použitím této metody získáme množství rozpuštěných i nerozpuštěných látek obsažených v odpadní vodě. Přístroje: Sušárna MEMMERT UN 55, exsikátor, analytická váha AS 220 P2

Postup:

1. Vysušení prázdných misek v sušárně při teplotě 105 °C.
2. Uložení vysušených misek k vychladnutí do exsikátoru, viz Obrázek 21.
3. Označení misky a zvážení na analytických vahách (hodnotu zapsat).
4. Nanesení 10 ml vzorku odebraného pipetou do misky.
5. Zvážení misky se vzorkem a zapsání hodnoty.
6. Vložit do sušárny a sušit při teplotě 105 °C (cca 1-3 hodiny).
7. Po vyjmutí ze sušárny uzavřít misku víčkem a dát vychladnout do exsikátoru.
8. Zvážit vychladnutou misku se vzorkem.
9. Dát opět misku do sušárny k dalšímu sušení při stejné teplotě na cca 30 minut.
10. Opět po vychladnutí misku se vzorkem zvážit a pokud je rozdíl od předchozího vážení 1 mg a víc, tak proces sušení opakovat, dokud nebude rozdíl mezi sušeními menší než 1 g.
11. Výpočet hmotnosti sušiny (odečtení váhy prázdné misky od váhy misky po vysušení) a procentuálního obsahu sušiny (hmotnost sušiny/hmotnost vzorku x100).



Obrázek 21 Sušení misek v exsikátoru, zdroj: vlastní

4.3.6 Laboratorní mikrobiologický rozbor kultivačními metodami

Jedná se o kultivační metodu mikrobiologického rozboru, při které se využívají různé druhy agarů jako rostoucího média pro mikroorganismy. Pomocí mikrobiologického rozboru se stanovuje obsah mikroorganismů přítomných ve sledovaném vzorku. Pro přesnost by měly být zpracovány vzorky čerstvé, doručené v co nejkratším čase do laboratoře. V našem případě bylo použito metody desetinného ředění. Kultivace na TYEA agar probíhala po dobu 24 hodin při teplotě 37 °C pro stanovení počtu mezofilních mikroorganismů a při teplotě 20 °C pro určení počtu psychofilních organismů u zmražených vzorků. U čerstvě odebraných vzorků probíhala kultivace za teploty 37 °C u stanovení počtu mezofilních mikroorganismů, kultivace 72 h při teplotě 22 °C pro stanovení psychofilních organismů, při teplotě 44 °C pro stanovení počtu termotolerantních koliformních bakterií s použitím Endo agarů a intestinálních enterokoků (Slanetz-Bartley agar). Mikrobiologický rozbor upravuje ČSN EN ISO 8199 (757810) Kvalita vod – Obecné požadavky a návod pro stanovení mikroorganismů kultivačními metodami.

Použitý materiál: petriho misky, pipety, zkumavky, TYEA agar (*Tryptone yeast extract agar*), Endo agar, Slanetz-Bartley agar, fyziologický roztok (0,8% roztok soli)

Postup:

1. Provedení desetinného ředění na -1: 1 ml odpadní vody se doleje 9 ml fyziologického roztoku.
2. Provedení desetinného ředění na -2: 1 ml roztoku získaného z prvního ředění doleje 9 ml fyziologického roztoku.

3. Provedení desetinného ředění na -3: 1 ml roztoku získaného z druhého ředění dolejeme 9 ml fyziologického roztoku, pokračujeme až na potřebnou míru naředění.
4. Zalítí vzorku v petriho misce agarem zahřátým na teplotu 45 °C.
5. 24-72 hodinová kultivace při teplotách 37 °C, 20 °C, 22 °C a 44 °C.
6. Spočítání množství mikroorganismů vyrostlých v miskách vyjádřeno v jednotkách CFU = KTJ.

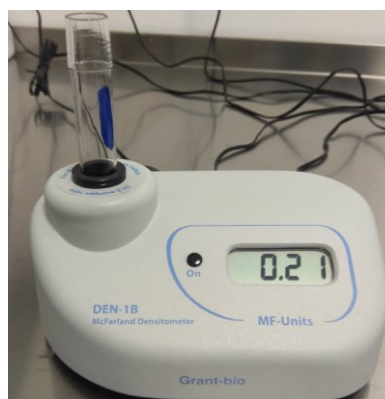
4.3.7 Optická hustota

Metoda je založena na měření propustnosti světla analyzovaného vzorku a využívá se k rychlému přibližnému určení koncentrace znečištění mikroorganismy.

Přístroj: GRANT-BIO, DEN-1B McFarland Densitometer

Postup:

1. Dobře promíchat vzorek.
2. Odlít do skleněné zkumavky stanovené množství vzorku.
3. Vložit zkumavku do přístroje a točit s ní, aby přístroj změřil vzorek z více stran.
4. Během otáčení se na přístroji ukazují údaje, z nichž zapíšeme nejmenší a největší naměřenou hodnotu, viz Obrázek 22.
5. Po ukončení měření vylít vzorek do kádinky a zalít Savem.
6. Vyčištění zkumavek – nejprve namočit do dezinfekčního roztoku, poté vyčistit kartáčkem s Jarem, dobře opláchnout vodou, na závěr opláchnout destilovanou vodou a dát osušit.

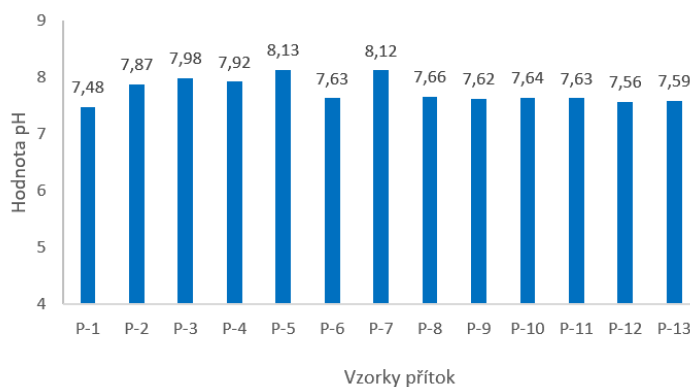


Obrázek 22 Měření optické hustoty, zdroj: vlastní

4.4 Vyhodnocení výsledků a diskuse

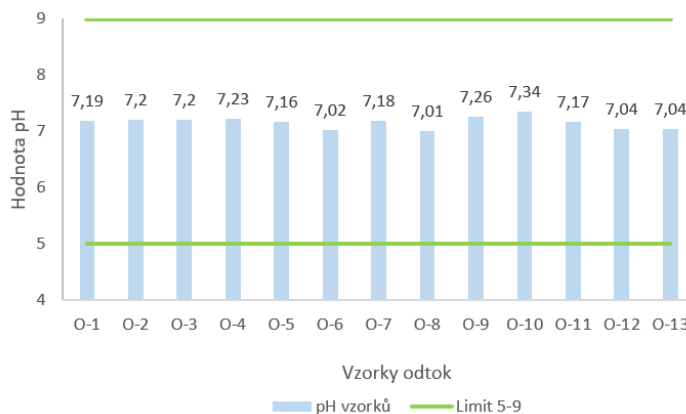
4.4.1 pH

Naměřené hodnoty pH na přítoku jsou v průměru lehce vyšší než na odtoku a hodnota pH se pohybuje v rozmezí od 7,48 – 8,12, viz Obrázek 23, z čehož vyplývá, že přítoková voda je na rozmezí neutrální a zásadité. Mezi hodnotami u vzorků odebraných v po sobě jdoucích dnech nebyl vysledován žádný vzorec a rozdíly jsou mezi jednotlivými vzorky minimální.



Obrázek 23 Hodnoty pH vzorků odebraných na přítoku, zdroj: vlastní

Hodnoty pH u vzorků na odtoku vykazují hodnoty 7,01-7,34. Vyčištěná odpadní voda má tedy nižší pH, než voda na přítoku, a hodnota jejího pH je neutrální. Hodnoty vyčištěné vody vykazují také menší rozdíly mezi jednotlivými vzorky než u vzorků na přítoku. Naměřené hodnoty pH u vyčištěné odpadní vody odpovídají rozmezí hodnot pH stanovených v NV č. 401/2015 Sb. pro povrchové vody, viz Obrázek 24, a také rozmezí hodnot pro vodu pitnou dle Vyhlášky 252/2004 Sb.



Obrázek 24 Hodnoty pH vzorků odebraných na odtoku, zdroj: vlastní

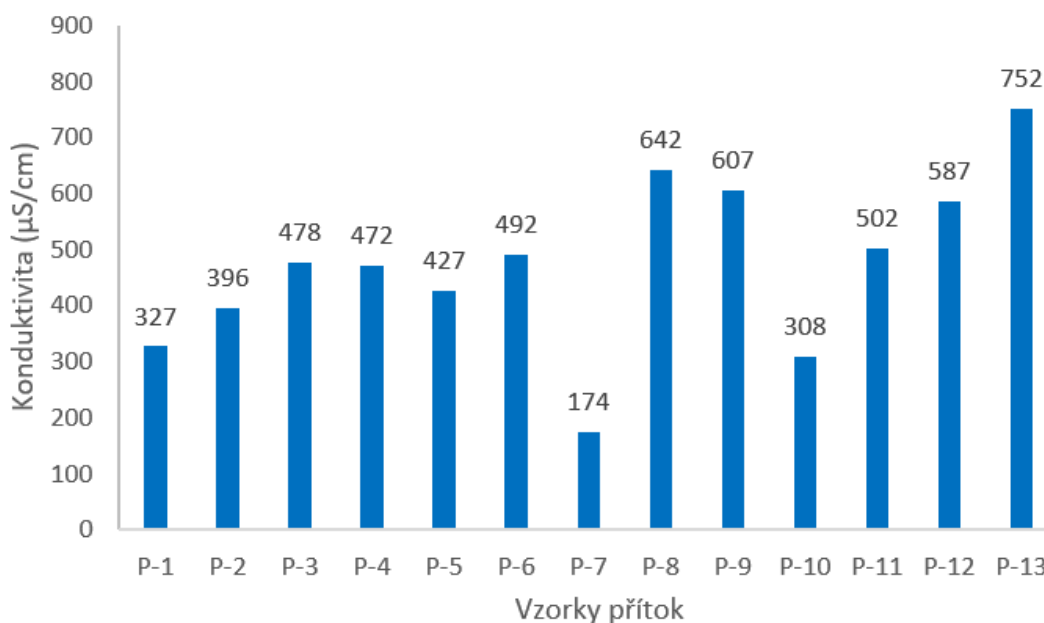
U vzorků odebraných v potoce nebyl vykázán zásadní rozdíl oproti pH vypouštěné vyčištěné odpadní vody, viz Tabulka 5.

Tabulka 5 Hodnoty pH na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní

Odběr vzorku 25.8.2023	pH
Odtok	7,01
Potok nad odtokem	7,21
Potok pod odtokem	7,11

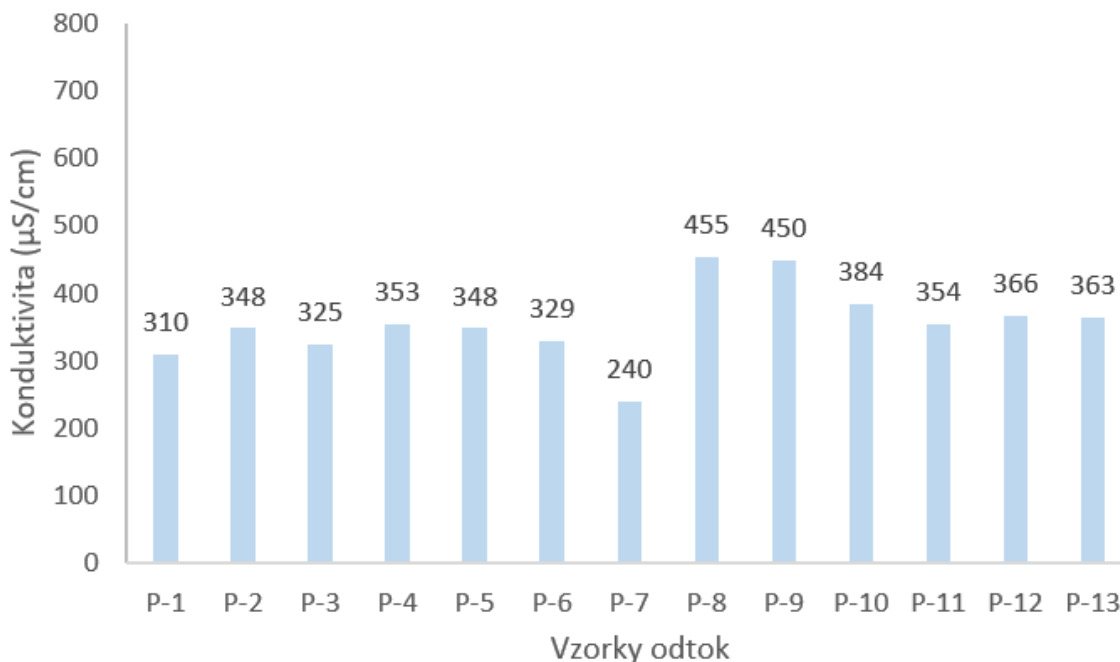
4.4.2 Konduktometrie

Konduktivita se používá jako standardní ukazatel v případě rozborů pitné vody, kde je stanoven limit $125 \text{ mS/m} = 1250 \text{ } \mu\text{S/cm}$. Konduktivita (vodivost) vzorků odebraných na přítoku činila v průměru $474 \text{ } \mu\text{S/cm}$. Nejnižší hodnota $174 \text{ } \mu\text{S/cm}$ byla u vzorku P-7, který byl odebrán v neděli a nejvyšší naměřená hodnota $752 \text{ } \mu\text{S/cm}$ u vzorku P-13 odebraného ve čtvrtek. Přestože maximální naměřená hodnota činí více jak čtyřnásobek nejnižší hodnoty a jak je patrné z Obrázku 25, jsou její hodnoty proměnlivé, nebyla v případě konduktivity nalezena žádná pravidelnost. Koncentrace rozpuštěných látek, který konduktivita určuje je u vody na přítoku překvapivě nízká a splňuje výše zmíněný limit udávaný Vyhláškou 252/2004 Sb. pro pitnou vodu.



Obrázek 25 Naměřené hodnoty konduktivity na přítoku, zdroj: vlastní

Vzorky na odtoku vykazují hodnoty v průměru o 25 % nižší než na přítoku a hodnoty jednotlivých vzorků, jak je patrné z Obrázku 26, vykazují menší rozdíly než u vzorků na přítoku. Naměřené hodnoty u všech vzorků plní výše zmíněný limit pitné vody.



Obrázek 26 Naměřené hodnoty konduktivity na odtoku, zdroj: vlastní

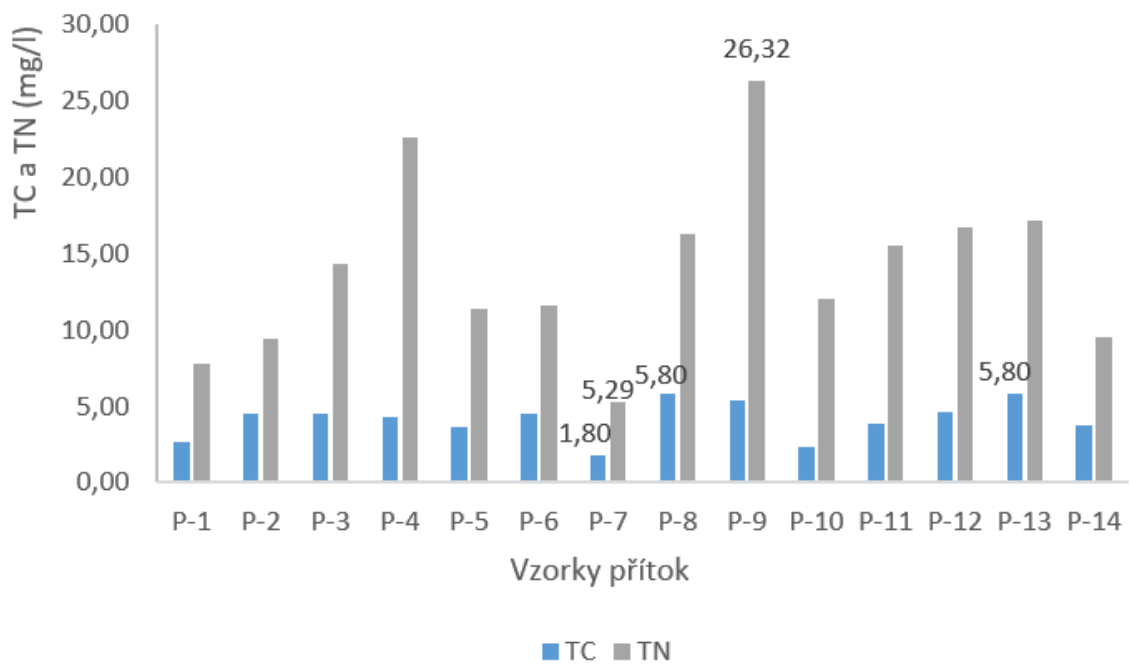
Mezi hodnotami vzorků z potoka Kolelač je minimální navýšení konduktivity pod místem odtoku z čistírny, viz Tabulka 6, stále však pouze ve čtvrtinové hodnotě limitu pitné vody.

Tabulka 6 Hodnoty konduktivity na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní

Odběr vzorku 25.8.2023	Konduktivita (µS/cm)
Odtok	455
Potok nad odtokem	290
Potok pod odtokem	322

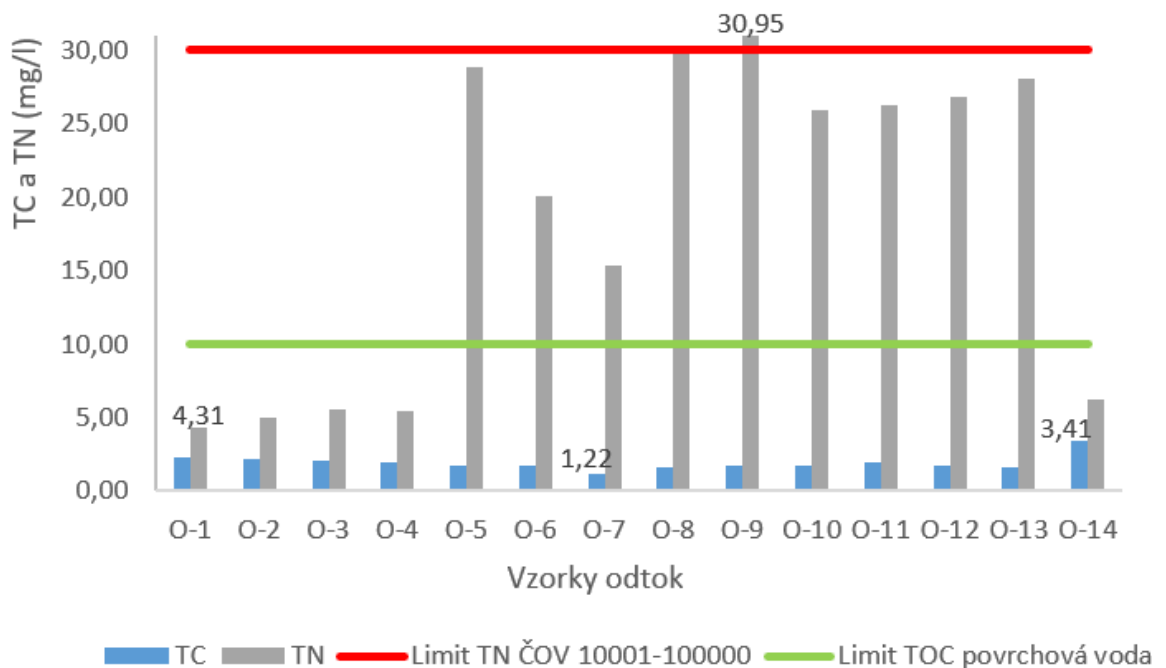
4.4.3 TC/TN

Hodnoty TC na přítoku se pohybují v rozmezí 1,8 – 5,8 mg/l, což jsou hodnoty velmi nízké a s relativně malými odchylkami od průměru, který činil 4,10 mg/l. Naopak rozdíl v hodnotách celkového dusíku je značný s minimem 1,80 mg/l a maximem 26,32 mg/l, viz Obrázek 27. Ani u uhlíku, ani u dusíku nebyla prokázána souvislost s měnícím se množstvím znečištění v závislosti na víkendových dnech.



Obrázek 27 Naměřené hodnoty TC a TN na přítoku, zdroj: vlastní

U hodnot na odtoku je překvapivé navýšené množství dusíku, viz Obrázek 28, které je však stále, až na jeden vzorek, v limitu TN stanoveném pro ČOV velikosti 10 001–100 000 EO. Hodnoty celkového uhlíku jsou pak podstatně nižší, než je limit TOC pro povrchovou vodu.



Obrázek 28 Naměřené hodnoty TC a TN na odtoku, zdroj: vlastní

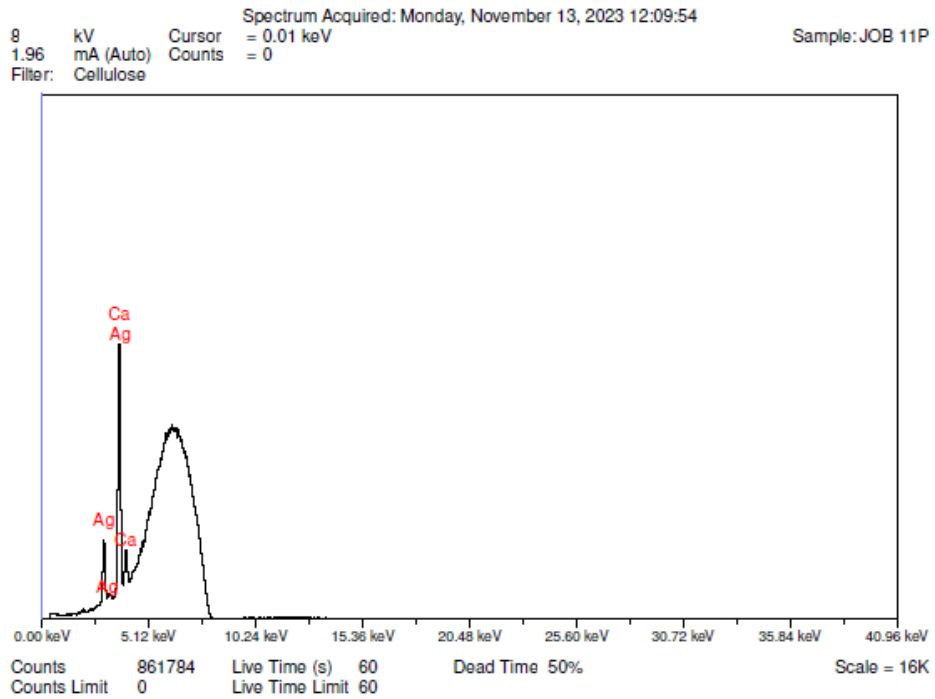
Voda v potoce obsahovala v obou případech nižší hodnotu TC pod místem vtoku vyčištěné odpadní vody a také celkové množství dusíku u vzorku odebraného dne 11. 3. 2024. Pouze u vzorku z 25. 8. 2023 vedla vysoká hodnota TN na odtoku ke znatelnému navýšení TN v potoce, viz Tabulka 7.

Tabulka 7 Hodnoty TC a TN na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní

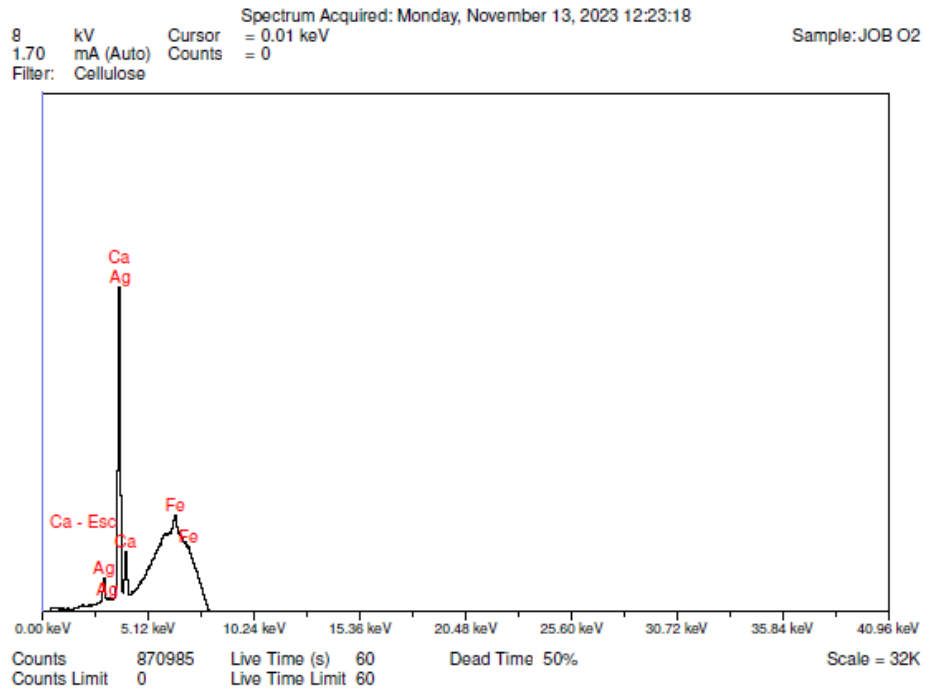
	TC 25.8.2023	TC 11.3.2024	TN 25.8.2023	TN 11.3.2024
Odtok	1,64	3,41	29,82	6,29
Potok nad odtokem	1,63	3,00	1,28	2,07
Potok pod odtokem	1,60	2,67	15,72	0,85

4.4.4 Energiově disperzní spektroskopie – Xray fluorescence

Pomocí metody EDX-XRF byla ve všech vzorcích jak na přítoku, tak i na odtoku identifikována přítomnost vápníku, zastoupená 0,01-0,96 %. U 4 vzorků na odtoku bylo zastoupeno také železo ve stopovém množství 0,01-0,1 %. Dále bylo u 5 vzorků na přítoku zaznamenáno nepodstatné množství india, arsenu, draslíku, chloru a stříbra a u 6 vzorků na odtoku, kromě uvedených prvků, také nepatrné množství niobia, molybdenu, argonu a titanu. Zastoupení těchto prvků však bylo pod hranicí 0,01 %, což je na hranici detekce. Kompletní přehled analýzy jednotlivých vzorků je uveden v Příloze P III. Na Obrázcích 29 a 30 jsou vyobrazena EDX spektra potvrzující přítomnost vápníku ve vzorcích a stopové množství dalších prvků. U vzorků z potoka byly naměřeny shodné hodnoty, a to 99,60 % H₂O a 0,40 % vápníku.



Obrázek 29 EDX spektrum vzorku č. 11 na přítoku, zdroj: vlastní

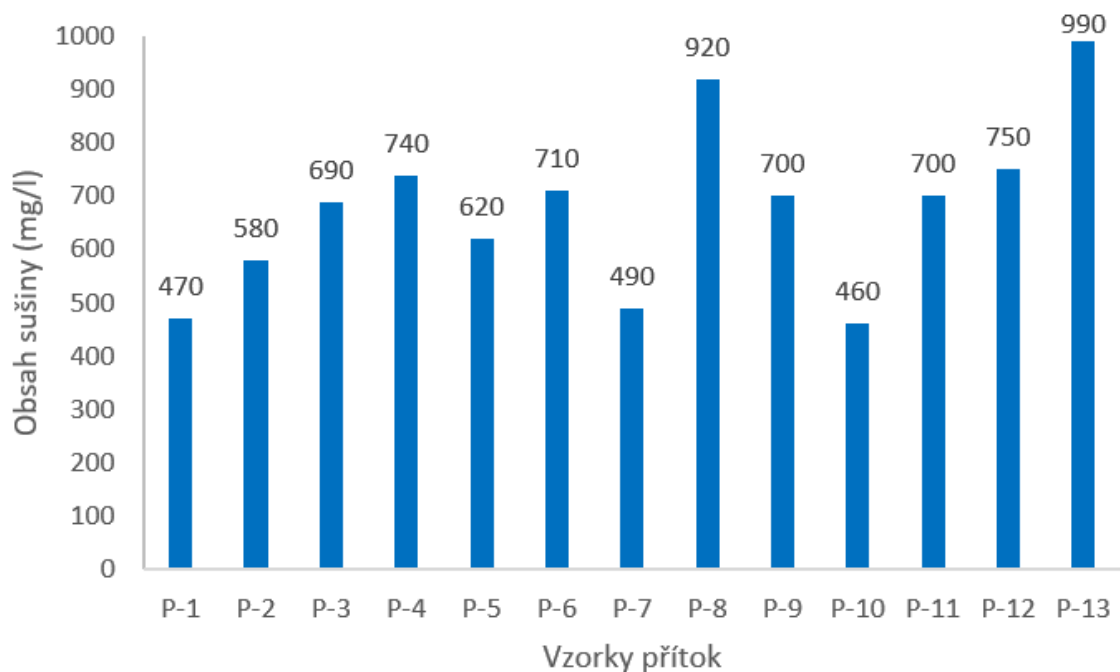


Obrázek 30 EDX spektrum vzorku č. 2 na odtoku, zdroj: vlastní

Analýza neprokázala nadlimitní přítomnost prvků u žádného z analyzovaných vzorků.

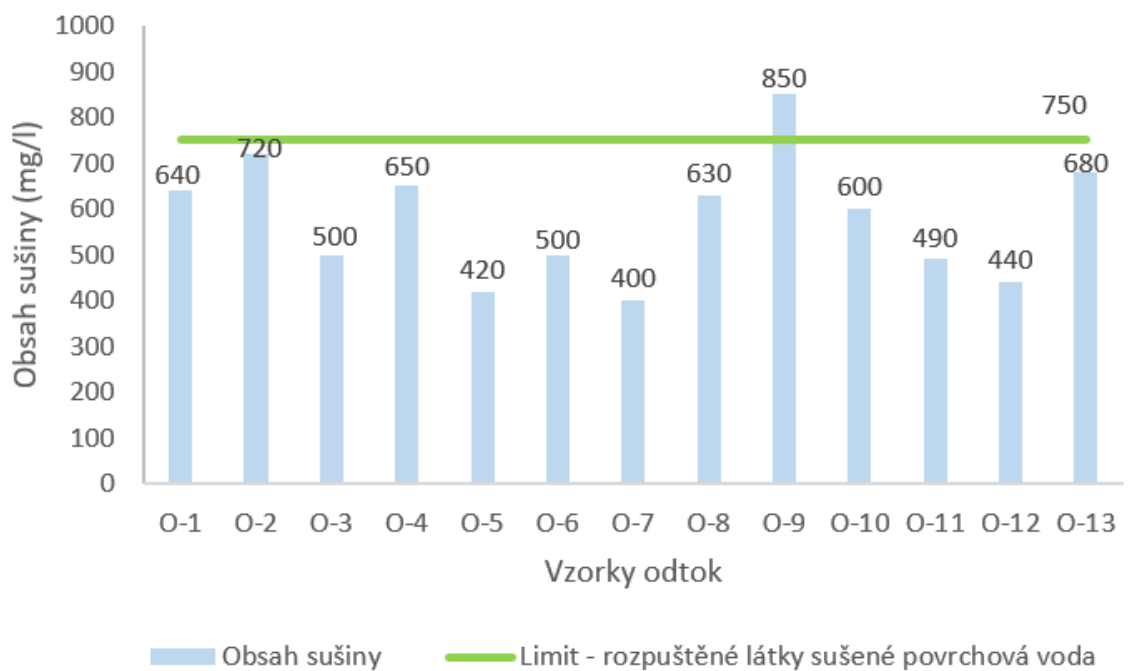
4.4.5 Vážkové stanovení vlhkosti a sušiny

Vzorky odebrané na přítoku obsahovaly v průměru 678 mg/l sušiny s minimem 460 mg/l a maximem 990 mg/l (kompletní přehled výsledků vážkového stanovení vlhkosti a sušiny je uveden v Příloze P IV). Jednotlivé vzorky vykazují značné rozdíly v naměřeném množství sušiny, viz Obrázek 31, nicméně se zde neprojevil žádný vztah mezi dnem odběru a množstvím sušiny. Maximální hodnota sušiny, která je o 115 % vyšší než hodnota minimální, byla naměřena u vzorku č. 13, který byl odebrán ve čtvrtek.

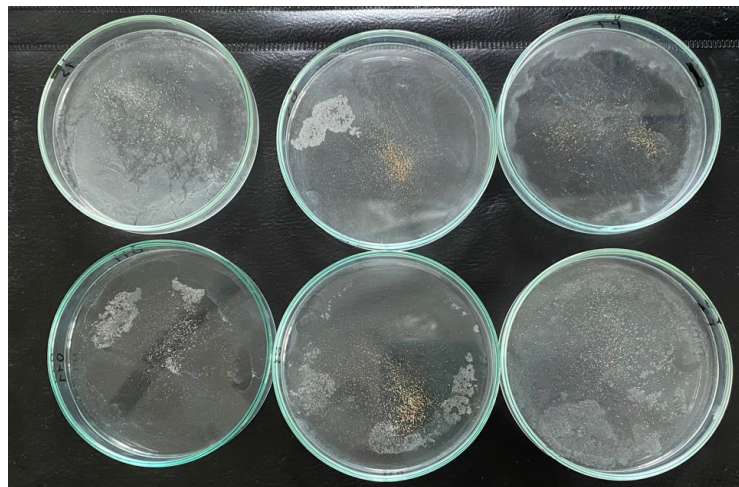


Obrázek 31 Obsah sušiny na přítoku, zdroj: vlastní

Průměrná hodnota sušiny vzorků na odtoku byla naměřena o 100 mg/l nižší než na přítoku. I v případě odtoku je množství sušiny u jednotlivých vzorků značně nesourodé. Protože není legislativně daný limit pro množství sušiny ve vypouštěné odpadní vodě, je na Obrázku 32 jako limitní hodnota použit ukazatel „rozpuštěné látky sušené“ pro povrchovou vodu. Množství sušiny však v sobě zahrnuje i látky nerozpuštěné, proto se jedná pouze o velmi orientační průměr, protože přesně nevíme, kolik sušiny je tvořeno rozpuštěnými látkami. Ale vzhledem k tomu, že 12 vzorků ze 13 je pod hranicí limitu, tak lze výsledky hodnotit jako velmi dobré. Sušina šesti zkoumaných vzorků je vidět na Obrázku 33.



Obrázek 32 Obsah sušiny na odtoku, zdroj: vlastní



Obrázek 33 Petriho misky se sušinou po vysušení vzorků, zdroj: vlastní

Vzorky z potoka vykazují vyšší hodnoty pod ČOV než nad, ale stále v limitu pro rozpuštěné látky pro povrchovou vodu, viz Tabulka 8.

Tabulka 8 Hodnoty sušiny na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní

Odběr vzorku 25.8.2023	Sušina (mg/l)
Odtok	630
Potok nad odtokem	370
Potok pod odtokem	590

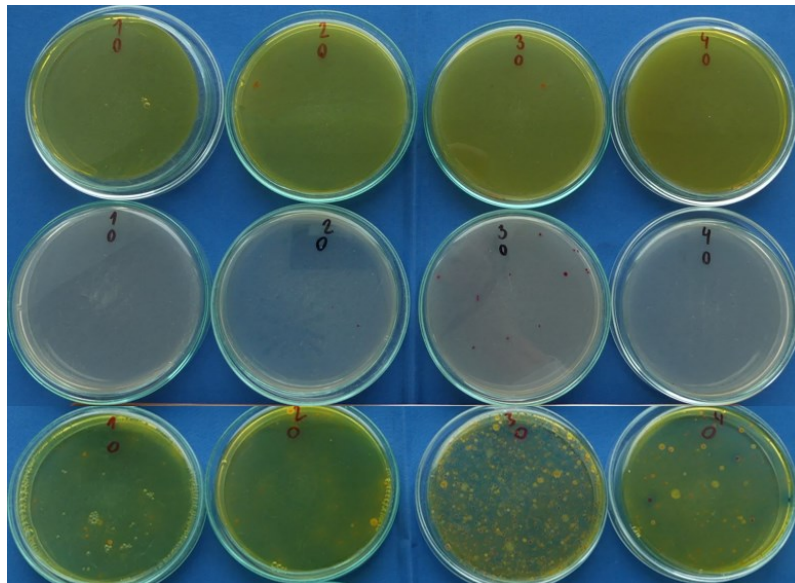
4.4.6 Laboratorní mikrobiologický rozbor

U zamražených vzorků byl proveden mikrobiologický rozbor pouze na přítomnost psychrofilních a mezofilních mikroorganismů. U vzorků na přítoku nebyla, stejně jako u předešlých analýz, shledána souvislost se zvyšující se mírou znečištění během víkendových dnů. Celkově bylo u všech těchto vzorků naměřeno násobně vyšší množství mezofilních mikroorganismů než organismů psychrofilních. Hodnoty na odtoku pak vykazovaly výsledky minimálně o 1 řád nižší než vzorky na přítoku. U čerstvě odebraných vzorků bylo kromě přítomnosti výše zmíněných mikroorganismů zkoumáno také množství koliformních bakterií, termotolerantních koliformních bakterií, enterokoků a intestinálních enterokoků, které slouží jako indikátory fekálního znečištění. Vzhledem k tomu, že pro vypouštěné odpadní vody nejsou legislativně mikrobiologické rozborů upraveny, byly pro srovnání použity hodnoty pro povrchové vody dané Nařízením vlády č. 401/2015 Sb. a Vyhláškou č. 428/2001 Sb., viz Tabulka 9. Z naměřených hodnot vyplývá, že množství termotolerantních koliformních bakterií i intestinálních enterokoků je u všech vzorků pod stanoveným limitem pro povrchové vody. Množství termotolerantních koliformních bakterií, ač je jejich celkové množství nižší než u intestinálních enterokoků, dosahuje více jak sedminásobku množství na odtoku. Rozdíl mezi vzorky z potoka je pak zanedbatelný. Mikrobiologický rozbor nebyl proveden cíleně na selekci bakterií E.Coli, ale vzhledem k tomu, že se jedná o koliformní bakterii, bylo jejich množství použito pro srovnání s limity pro E.Coli. Množství koliformních bakterií je výrazně vyšší než u předešlých ukazatelů, viz Obrázek 34. Hodnota na přítoku je více jak 50krát vyšší než na odtoku, a i ve vodě v potoce je jejich množství zvýšené. I tak, kromě vzorku na přítoku, nedosahují maxima pro jakost surové povrchové vody dle Vyhlášky č. 428/2001 Sb. Kompletní přehled mikrobiologické analýzy všech vzorků je uveden v Příloze P V.

Tabulka 9 Celkové počty vybraných mikroorganismů a legislativní limity, zdroj: vlastní

Ukazatel	Jednotka	Maximum pro povrchové vody dle NV č. 401/2015	Vyhl.428/2001 - kateg.jakosti surové vody A1-A3	Vzorky ze dne 11.3.2024			
				Potok nad vtokem	Potok pod vtokem	Přítok	Odtok
Escherichia coli	KTJ/100 ml	2 500	50-50000	2800*	7900*	1600000*	30000*
Termotolerantní koliformní bakterie	KTJ/100 ml	2 000	20-20000	<100	100	750	<100
Intestinální enterokoky	KTJ/100 ml	4 000	20-10000	<100	150	1100	450

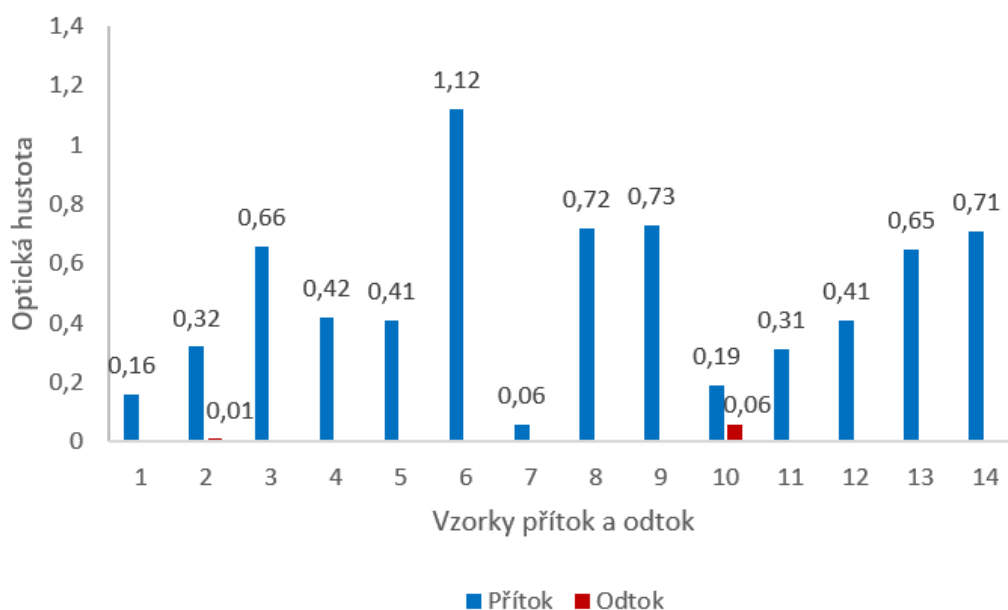
*) počty koliformních bakterií



Obrázek 34 Horní řada: termotolerantní koliformní bakterie; prostřední řada: intestinální enterokoky; dolní řada: koliformní bakterie, zdroj: vlastní

4.4.7 Optická hustota

Hodnoty optické hustoty naměřené u vzorků odebraných na přítoku vykazovaly rozpětí mezi 0,06-1,12, což ukazuje na zvýšenou přítomnost mikroorganismů (dle kalibrace přístroje hodnota 0,5 ukazuje na přítomnost 10^8 Escherichia Coli). Přestože hodnoty na přítoku vykazují značné kolísání, viz Obrázek 35, ani v tomto případě nebyl potvrzen žádný vztah mezi dnem v týdnu a mírou znečištění. Naopak vzorky na odtoku vykazovaly známky minimálního znečištění mikroorganismy pouze u dvou vzorků, viz Obrázek 33.



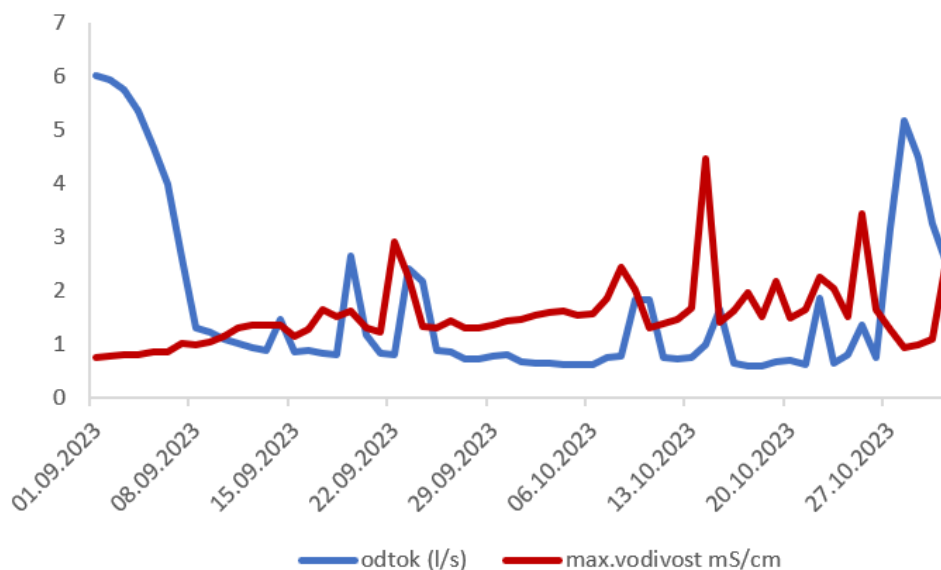
Obrázek 35 Hodnoty optické hodnoty na přítoku a odtoku, zdroj: vlastní

4.4.8 Diskuse

V úvodní části kapitoly byly hodnoceny výsledky rozborů vzorků provedených akreditovanými laboratořemi na KČOV Hostětín ve vztahu k nařízeným legislativním limitům a ve vztahu k hodnotám naměřeným na vybraných tradičních ČOV. Výsledkem tohoto srovnání je konstatování, že kořenová čistírna nemá problém plnit legislativní limity, a to ani v případě KČOV Hostětín, která má limity stanovené výrazně nižší, než jsou pro danou kategorii čistírny dané nařízením vlády. Také v porovnání s tradičními čistírnami jsou výsledky KČOV Hostětín nejen konkurenceschopné, ale také výrazně lepší než u většiny uvedených tradičních čistíren, a to i u hodnot množství fosforu v době, kdy čistírna nevyužívala chemického srážení.

Otázkou je dopad v oblasti dodržování legislativních limitů s ohledem na plánovanou novelizaci evropské směrnice o čištění městských odpadních vod. V případě, že vstoupí v platnost ve znění jejího dosavadního návrhu z roku 2022, dotkne se její implementace nejen kořenových čistíren. Dle tohoto návrhu je snížena velikost obcí pro povinné budování centralizovaného čištění z 2 000 EO na 1 000 EO a naopak se zvyšují požadavky na kvalitu vypouštěných odpadních vod v podobě nižších limitů pro jejich vypuštění. Především požadavky na hodnoty dusíku v množství 6 mg/l a fosforu 0,5 mg/l jsou velmi přísné. Návrh směrnice se také zabývá kvartérním čištěním (prozatím u velkých ČOV), které má zabezpečit odstranění vybraných mikropolutantů, jejichž hlavními zdroji jsou léčiva a kosmetika (Environment.ec.europa.eu, 2022).

Druhá část kapitoly byla zaměřena na analýzu vlastních vzorků. Záměrem bylo zjistit, zda se projevuje vliv víkendových dnů na míře znečištění odpadních vod na přítoku, což se nepotvrdilo u žádné z provedených analýz. Vysvětlením může být to, že se změnilo chování obyvatel a víkendové dny využívají spíše k relaxaci než k domácím pracím. Dalším důvodem by mohla být jednotná kanalizace, díky které dochází na jednu stranu k velkému naředění splaškových vod, na stranu druhou obsahuje velké množství splachu, který znečištění zvyšuje. Tuto myšlenku by podporovalo porovnání množství vypouštěných vod s vodivostí (OÚ Hostětín, 2024), viz Obrázek 36, kdy v období cca od 20. 9. do 27. 10. 2023 mají obě křivky stejný trend, avšak křivky před a po tomto období mají spíše opačný charakter.



Obrázek 36 Hodnoty odtoku a vodivosti na KČOV Hostětín v období 1.9.-31.10.2023, zdroj: vlastní

Dalším cílem analýzy vlastních vzorků bylo zjistit, zda vypouštěná vyčištěná odpadní voda neobsahuje nadlimitní množství znečištění v jiných než legislativou daných parametrech znečištění. Jak vyplynulo z provedené energiově disperzní spektrometrie, ve vodě bylo obsaženo pouze malé množství vápníku a v některých vzorcích stopové množství železa případně zanedbatelné množství dalších prvků pod detekčním limitem, tedy nebyly detekovány žádné závadné látky. Také naměřené množství celkového uhlíku dosahoval celkově nízkých hodnot s výrazným snížením na odtoku. Pouze ukazatel TN vykazoval vyšší hodnoty na odtoku než na přítoku, i když stále v limitu. Vzhledem k tomu, že dle NV 401/2015 Sb. jsou jednou z podmínek pro stanovení množství dusíku také teplota odpadní vody min. 12 °C, mohlo být navýšení množství celkového dusíku způsobeno zamražením vzorků (1-13). Kdy mohlo zamražení způsobit zvýšenou produkci metabolitů přeživších mikroorganismů. Dalším důvodem mohla být odložená analýza z důvodu závady přístroje, kdy byly vzorky po rozmražení ponechány několik dnů v chladničce, což mohlo vést také ke znehodnocení vzorků. Čerstvé vzorky vykazovaly výrazně nižší hodnoty celkového dusíku jak na odtoku, tak v potoce pod výpustí z čistírny.

V rámci mikrobiologického rozboru pak bylo naměřeno u zamražených vzorků převažující množství mezofilních mikroorganismů nad psychrofilními, v obou případech s výrazným snížením průměrných hodnot na odtoku, což mohlo způsobit právě zamražení vzorků. V případě čerstvě odebraných vzorků byl naopak vyšší počet psychrofilních organismů, což

může být důsledkem nízkých teplot, které nejsou optimální pro růst mezofilních organismů. Bakterie indikující fekální znečištění, které mají z hlediska kvality vypouštěné odpadní vody velký význam, se pohybovaly v množství přípustném pro vody povrchové, v případě termotolerantních koliformních bakterií a intestinálních enterokoků bylo jejich množství na odtoku i v potoce velmi uspokojivé.

5 EKONOMIKA A ANALÝZA SWOT ALTERNATIVNÍCH ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD

Ekonomická výhodnost je důležitým aspektem v procesu rozhodování, zda zvolit výstavbu tradiční ČOV nebo přistoupit k realizaci kořenové čistírny. Významnou roli hrají nejen investiční náklady na pořízení ČOV, ale také náklady provozní, které budou provoz čistírny provázet po celou dobu její životnosti. Vzhledem k tomu, že realizace ČOV je investice na několik desetiletí, je nutné zohlednit veškeré další souvislosti, které z realizace stavby vyplývají.

5.1 Finanční náklady

Standardně se k hodnocení většiny veřejných zakázek přistupuje s cílem dosáhnout nejlepšího možného řešení za co nejnižší cenu. K tomuto účelu slouží vyhlášení veřejného výběrového řízení na elektronickém tržišti, kde je uvedena přesná specifikace zakázky, na jejímž základě pak potenciální dodavatelé zasílají své cenové nabídky. Následně jsou tyto nabídky vyhodnoceny, zda plní veškeré požadavky stanovené v zadání a je vybrána nejlepší možná varianta, zpravidla ta nejlevnější.

5.1.1 Náklady na výstavbu

Pro přesné porovnání investičních nákladů na výstavbu bychom potřebovali mít pro konkrétní ČOV vypracované dva projekty, jeden na variantu klasické ČOV a druhý na kořenovou, na základě kterých by byly vytvořeny cenové kalkulace. Teprve tak by mohla být relativně přesně vyhodnocena finanční výhodnost plánované investice. Relativně přesně proto, že standardně konečná cena realizace neodpovídá ceně nabídnuté, ale je navýšena o vícenáklady, které při výstavbě vzniknou. Dalším důvodem je místo realizace. V případě realizace KČOV se jedná o velké množství použitého kameniva a rozsáhlé výkopové práce. Významný vliv na cenu tak bude mít jednak vzdálenost, na kterou bude kamenivo dováženo a také podloží. Z tohoto důvodu se může cena stejného projektu provedeného na jiném, byť nedalekém místě, lišit o desítky procent. Také fakt, že každá obecní kořenová čistírna je originálním projektem, nikoliv projektem poskládaným z prefabrikátů, znemožňuje zobecnění nákladů nutných k výstavbě. Z výše uvedeného vyplývá, že v rámci diplomové práce není reálné jednoznačně posoudit, zda je finančně výhodnější realizace stavby konvenční či kořenové čistírny odpadních vod. Vždycky záleží na konkrétním projektu, místě realizace a také formě realizace.

Pro alespoň orientační představu jsou v Tabulce 10 uvedeny náklady na výstavbu tradiční ČOV v obci Radkovice u Hrotovic (400 EO) a KČOV Klokočná (300 EO), vycházející z reálných uskutečněných projektů. Informace jsou čerpány z veřejných portálů, kde jsou zveřejněny údaje o veřejných zakázkách. U obou projektů byly uzavřeny smlouvy v roce 2021 a obě obce čerpaly na výstavbu dotace. V případě ČOV Radkovice u Hrotovic se jedná o zakázku včetně kanalizace, kde byla podepsána smlouva v celkové výši 43 474 572 Kč včetně DPH. Zajímavá je skutečnost, že nabídku do výběrového řízení podalo 15 dodavatelů, přičemž nejdražší nabídka byla vyšší o více jak 49 % od vítězné (Veřejná zakázka: Kanalizace a ČOV obce Radkovice u Hrotovic, 2021), takže počet přihlášených dodavatelů má také velký vliv na konečnou cenu projektu. Z výše uvedené smluvní ceny tvoří náklady na ČOV cca 30 % a na kanalizaci cca 70 %.

Do výběrového řízení na výstavbu KČOV Klokočná se přihlásil pouze jeden dodavatel, se kterým byla podepsána smlouva na částku 9 359 239,37 Kč bez DPH (11 324 679,64 Kč s DPH) (Kořenová čistírna odpadních vod Klokočná - opakování, 2021).

Tabulka 10 Náklady na realizaci výstavby ČOV, zdroj vlastní

Položky	KČOV Klokočná (Kč)	Položky	ČOV Radkovice u Hrot. (Kč)
Zemní práce	1 687 074	Stavební část	6 490 958
Anaerobní separátor	2 050 949	Zdravotně technické instalace	197 487
Česle	80 123	Vzduchotechnika	46 778
Objekt pro obsluhu	258 852	Elektroinstalace	305 793
Šachty	788 554	Zpevněné plochy	584 925
Kanalizace	1 174 291	Oplocení	169 178
Kořenová pole	2 920 742	Přípojka vody	214 691
Kalové pole	499 330	Přípojka elektrická	410 428
Terenní úpravy	992 860	Stroje a zařízení	3 316 715
Vodovodní přípojka	75 555	Technologická elektroinstalace	1 236 540
Elektroinstalace	148 878		
Technologie	444 796		
Vedlejší náklady	202 675		
Celkové náklady v Kč vč. DPH	11 324 680	Celkové náklady v Kč vč. DPH	12 973 493
Náklady na 1 EO vč. DPH	37 749	Náklady na 1 EO vč. DPH	32 434

Z Tabulky 10 je zřejmé, že v těchto dvou případech jsou nižší náklady na výstavbu klasické ČOV. Avšak v tabulce není zahrnuto navýšení konečné ceny výstavby ČOV Radkovice o 2 376 280,30 Kč vč. DPH (Veřejná zakázka: Kanalizace a ČOV obce Radkovice u Hrotovic, 2021), protože se jedná o navýšení ceny kompletní zakázky a přesně nelze stanovit navýšení pouze za ČOV. I tak je zřejmé, že reálný rozdíl v nákladech na 1 EO je

nižší. Nicméně ani cena v tabulce, ani upravená o navýšení ceny, neodpovídá reálné ceně, kterou obce zaplatily, protože zde nejsou zahrnuté dotace. Ceny po odpočtu dotací jsou uvedeny v Tabulce 11.

Tabulka 11 Náklady na realizaci ČOV, zdroj: vlastní dle (Základní údaje stavby; Závěrečný účet za rok 2022, 2023)

	KČOV Klokočná (Kč)	ČOV Radkovice u Hrot. (Kč)
Celková cena bez dotace	11 324 680	12 973 493
Cena na 1 EO bez dotace	37 749	32 434
Dotace SFŽP	8 560 749	4 789 505
Dotace krajská	664 800	1 359 000
Konečná cena pro obec	2 099 131	6 824 988
Cena na 1 EO s dotací	5 248	22 750

Přestože byla cena na jednoho EO u KČOV Klokočná vyšší, díky získaným dotacím se reálná částka za EO, kterou obec zaplatí, dostala na čtvrtinovou úroveň ceny, kterou zaplatila obec Radkovice. V případě realizace kořenové čistírny je důležitým předpokladem pro nižší celkové náklady také vlastnictví obecních pozemků danou obcí. Vzhledem k vyšším nárokům na plochu by se v případě odkupu pozemků od soukromých vlastníků cena realizace podstatně navýšila.

5.1.2 Provozní náklady

Jak vyplynulo z předchozí kapitoly, v případě výstavby obecních čistíren se jedná o náklady v řádech několika milionů korun. Díky poskytnutým dotacím je však možné tuto částku značně snížit. Co však díky dotacím snížit nelze, jsou provozní náklady, které bude muset obec hradit následujících několik desetiletí, a které se pak promítnou do výše stočného. Proto je výše provozních nákladů jedním z nejdůležitějších hledisek pro rozhodování, jaký typ ČOV si vybrat.

Ani provozní náklady však nelze paušalizovat, protože velký vliv na jejich výši má technologické vybavení čistírny. Čím více technologií, tím vyšší časové i kvalifikační nároky na obsluhu, elektrickou energii a také zvýšené náklady na opravy, případně výměny, jednotlivých zařízení. V Tabulce 12 jsou vyčísleny provozní náklady ČOV VZ Měřín (VZ Měřín, 2024) a KČOV Hostětín (OÚ Hostětín, 2024).

Tabulka 12 Srovnání provozních nákladů, zdroj: vlastní

Položky	ČOV VZ Měřín*	KČOV Hostětín**
Chemikálie	16 762	22 000
Ostatní materiál	10 855	0
Elektrická energie	203 868	16 000
Mzdy	163 600	25 000
Odpisy	380 256	158 000
Ostatní provozní náklady externí	96 000	86 550
Celkové provozní náklady	871 341	307 550
*) údaje za rok 2022		
**) údaje pro rok 2024		

Ve výše uvedené tabulce jsou uvedena sice reálná čísla nákladů uvedených čistíren, nicméně tyto náklady nejsou konstantní a v čase se mohou měnit. I tak potvrzují to, že provozní náklady klasických ČOV jsou, vzhledem k jejich technologické výbavě, podstatně vyšší než u čistíren kořenových, a to zejména v případě energií a mzdových nákladů. Obecně jsou provozní náklady uvedeny v Tabulce 13.

Tabulka 13 Obecné srovnání provozních nákladů, zdroj: vlastní

Náklady	ČOV	KČOV
Mzdové náklady	✓	↓
Chemikálie	✓	✓
Elektrická energie	✓	↓
Technologie - opravy, výměna	✓	↓
Likvidace kalu	✓	✓
Laboratorní rozbory	✓	✓
Revize zařízení	✓	x

Výhodou kořenových čistíren je, že je lze vybudovat i bez nutnosti elektrické energie k jejímu provozu, případně bývá čistírna vybavena jednoduchým čerpadlem k možnosti přečerpání vody pro opakované čištění, takže spotřeba elektrické energie je minimální. Naproti tomu zařízení v podobě dmychadel či míchadel u klasických ČOV mají nároky na elektrickou energii vysoké. Také cena technologického zařízení, viz Tabulka 10, je násobně vyšší než v případě kořenových čistíren, z tohoto důvodu se dají předpokládat také vysoké nároky na jejich opravy a obnovu.

Díky jednoduchému provozu jsou u kořenových čistíren také podstatně nižší časové i kvalifikační nároky na obsluhu, což je důvodem nižších mzdových nákladů.

5.2 SWOT analýza



Nástroj: Canva.com

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zhodnotit, zda jsou kořenové čistírny vhodnou alternativou čištění odpadních vod pro malé obce v České republice.

Chtít po přírodě, aby nás svou přirozenou funkcí zbavila chemického koktejlu, který jsme si všude kolem sebe namíchali, je přece jen troufalé. Ale jak diplomová práce ukázala, pokud se přírodě pomůže vytvořit optimální podmínky pro její přirozené procesy, není to nemožné. Dle mého názoru se podařilo prokázat, že jsou kořenové čistírny rovnocennými konkurenty tradičním čistírnám v oblasti kvality čištění odpadních vod. Další nespornou výhodou je technologická jednoduchost a z ní vyplývající nízké provozní náklady a nižší uhlíková stopa, kterou po sobě čistírny zanechávají.

Je pravdou, že během psaní diplomové práce jsem se setkala jak s příznivci této technologie, tak s radikálními odpůrci z řad odborníků, kteří tvrdí, že Česká republika nemá vhodné přírodní podmínky pro tento typ čištění. Bylo zřejmé, že se během více než třiceti let provozování této technologie setkali s čistírnami, jež byly vybudované s horizontálně podpovrchově protékanými filtry, které jak ukázal čas, mají přece jen nižší čistící účinnost než současné kořenové čistírny odpadních vod II. generace s vertikálními pulzně skrápěnými filtry. Stejně jako v jiných odvětvích, i v případě kořenových čištění, došlo během let k výraznému zvýšení kvality čistícího procesu a je škoda tyto technologie zavrhnout kvůli počátečním nedostatkům či zanedbané péči. Skončila snad lodní doprava po potopení Titaniku nebo letecká po nesčetném počtu havárií? Ne, létáme a plavíme se neustále dál, a co víc, v současnosti jsou to způsoby bezpečnější než automobilová doprava. Dokonce jsme neupustili ani od jaderných reaktorů po havárii v Černobyli. Tak proč i přes počáteční, ne úplně hladký průběh, nedát šanci kořenovým čistírnám? Za více jak 30 let provozu urazily velký kus cesty a řada provedených výzkumů a nově realizovaných čištění potvrzují, že se podařilo počáteční nedokonalosti „odladit“.

Myslím, že pro řadu malých obcí, které mají k dispozici dostatečně velký pozemek a vhodné hydrogeologické podmínky, jsou kořenové čistírny ideální volbou.

Vzhledem k tomu, že mé návštěvy kořenové čistírny v Hostětíně začaly krátce po proběhlé přestavbě, měla jsem možnost sledovat, jak se návštěvu od návštěvy mění vzhled čistírny ze staveniště na krásně upravenou čistírnu. Obdivovala jsem zápal, s jakým se zaměstnanci snažili co nejdříve dotáhnout do finálního stavu nejen funkční prvky čistírny, ale také její

okolí. Myslím, že nadšení je přesně to, co charakterizuje obce, které se pro kořenové čistírny rozhodnou, protože bez toho je provozovat nelze.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- BÁBÍČEK, Richard; BERNARD, Jindřich; HARCINÍK, Filip; HOŠEK, Václav; KRÁL, Pavel et al., 2023. *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. Čtvrté aktualizované a doplněné vydání. Praha: Tiskárna Praha-Viaprint pro Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, z.s. (SOVAK ČR). ISBN 978-80-907303-4-2.
- BERÁNKOVÁ, Martina, 2016. Odpadní voda – odpad nebo poklad? Online. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. Roč. 2016, č. 2, s. 43-45. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://doi.org/10.46555/VTEI.2016.01.006>. [cit. 2024-01-03].
- BLONDEL, Damien, 2020. *Understanding X-Ray Fluorescence: How Does XRF Work?* Online. In: EVIDENT. Dostupné z: <https://www.olympus-ims.com/en/insight/understanding-x-ray-fluorescence-how-does-xrf-work/>. [cit. 2024-03-09].
- ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. *ČSN online*. Online. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>. [cit. 2024-01-07].
- ČSN 75 0161: *Vodní hospodářství - Terminologie v inženýrství odpadních vod*, 2008. In: Praha: Český normalizační institut.
- ČSN 75 6401: *Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500*, 2014. In: Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN 75 6402: *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*, 2017. In: Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- ČSN 75 6406: *Nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení (ZZ) vypouštěnými do stokové sítě pro veřejnou potřebu*, 2020. In: Česká agentura pro standardizaci.
- ČSN EN 1085: *Čištění odpadních vod - Slovník*, 2007. In: Praha: Český normalizační institut.
- ČSN ISO 5667-3: *Kvalita vod - odběr vzorků - Část 3: Konzervace vzorků vod a manipulace s nimi*, 2019. In: Česká agentura pro standardizaci.
- ČSN ISO 5667-10: *Kvalita vod - odběr vzorků - Část 10: Návod pro odběr vzorků odpadních vod*, 2021. In: Česká agentura pro standardizaci.
- Denní úhrn srážek ve Zlínském kraji, lokalita Bojkovice*, 2024. Online. In: Chmi.cz. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>. [cit. 2024-03-17].
- DRABINOVÁ, Silvie a KUNSSBERGER, David, 2015. *Druhy odpadních vod*. Online. In: Poradme.se. Dostupné z: https://poradme.se/index.php?title=Druhy_odpadn%C3%ADch_vod#Autor_textu_a_datum_aktualizace. [cit. 2024-01-05].
- ES 91/271/EHS: SMĚRNICE RADY o čištění městských odpadních vod, 1991. In: *Úřední věstník Evropské unie*.

ES 91/676/EHS: SMĚRNICE RADY o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů, 1991. In: *Úřední věstník Evropské unie*.

FREMROVÁ, Lenka, 2020. *Nakládání s odpadními vodami ze zdravotnických zařízení*. Online. In: Sovak.cz. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/clanek/nakladani-s-odpadnimi-vodami-ze-zdravotnickych-zarizeni>. [cit. 2024-01-04].

Kořenová čistírna odpadní vod: Co to je a jak funguje?, 2023. Online. In: <https://www.covbezuradu.cz>. Dostupné z: <https://www.covbezuradu.cz/blog/cov/korenova-cistirna-odpadni-vod-co-to-je-a-jak-funguje>. [cit. 2024-02-22].

Kořenová čistírna odpadních vod Klokočná - opakování, 2021. Online. In: Portál pro vhodné uveřejnění. Dostupné z: <https://www.vhodne-uverejneni.cz/zakazka/korenova-cistirna-odpadnich-vod-klokocna-opakovani>. [cit. 2024-03-31].

KOTZUROVÁ, Iveta; HOLBA, Marek; POSPÍŠKOVÁ, Kristýna; KOLAŘÍK, Jan a FILIP, Jan, 2021. *Porovnání technologií odstraňování a recyklace fosforu na komunálních čistírnách v České republice*. Online. In: Vodnihospodarstvi.cz. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/porovnani-technologie-odstranovani-a%E2%80%AFrecyklace-fosforu-na-komunalnich-cistirnach-v-ceske-republice/>. [cit. 2024-01-26].

KRAUS, Michal, 2023. *Jak funguje tříkomorový septik?* Online. In: Zakra. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/jak-funguje-trikomorovy-septik>. [cit. 2024-01-13].

KRAUS, Michal, 2023a. *Top domácí čistička odpadních vod: Recenze a ceny (2024)*. Online. In: Zakra. Dostupné z: <https://www.zakra.cz/blog/co-je-domaci-cistirna-odpadnich-vod#blog-title-4>. [cit. 2024-01-13].

KRIŠKA, Michal a NĚMCOVÁ, Miroslava, 2015. *Kořenové čistírny odpadních vod. Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz*. Online. In: Vysoké učení technické v Brně, s. 145. Dostupné z: http://uvhk.fce.vutbr.cz/sites/default/files/kzp/pdf/korenove_cistirny_odpadnich_vod.pdf. [cit. 2024-02-14].

MLEJNSKÁ, Eva; ROZKOŠNÝ, Miloš a BAUDIŠOVÁ, Dana, 2015. *Optimalizace provozu a zvýšení účinnosti čištění odpadních vod z malých obcí pomocí extenzivních technologií*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka. ISBN 978-80-87402-44-3.

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.: o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, 2015. In: *Sbírka zákonů České republiky*.

NIVALA, Jaime; VAN AFFERDEN, Manfred; HASSELBACH, Ralf; LANGERGRABER, Guenter; MOLLE, Pascal et al., 2018. The new German standard on constructed wetland systems for treatment of domestic and municipal wastewater. Online. *Water Science and Technology*. 2018-12-28, roč. 78, č. 11, s. 2414-2426. ISSN 0273-1223. Dostupné z: <https://doi.org/10.2166/wst.2018.530>. [cit. 2024-04-03].

Ochrana vod, 2021. Online. In: Cizp.cz. Dostupné z: <https://www.cizp.cz/pusobnost/ochrana-vod>. [cit. 2024-01-07].

OÚ HOSTĚTÍN, 2024. *Provozní údaje a dokumentace*.

PITTER, Pavel, 2015. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-928-0.

Proposal for a revised Urban Wastewater Treatment Directive, 2022. Online. In: ENVIRONMENT.EC.EUROPA.EU. Dostupné z: https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-revised-urban-wastewater-treatment-directive_en. [cit. 2024-04-03].

Přehled výsledků vybraných ČOV, 2024. Online. In: Svas.cz. Dostupné z: <https://www.svas.cz/vse-o-vode/odpadni-voda/kvalita-odpadnich-vod/prehled-vysledku-vybranych-cov/>. [cit. 2024-03-24].

ROZKOŠNÝ, Miloš; KRIŠKA, Michal; ŠÁLEK, Jan; BODÍK, Igor a ISTENIČ, Darja, 2014. *Natural technologies of wastewater treatment*. Praha: Global Water Partnership Central and Eastern Europe. ISBN 978-80-214-4831-5.

SÍBRT, Marek, 2021. *Jak probíhá čištění vody u mechanicko-biologických čistíren odpadních vod*. Online. In: Komunální ekologie.cz. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/jak-probiha-cisteni-vody-u-mechanicko-biologickych-cistiren-odpadnich-vod>. [cit. 2024-01-25].

SMĚRNICE 2000/60/ES: EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky, 2000. In: *Úřední věstník Evropské unie*.

SOJKA, Jan, 2013. *Čistírny odpadních vod pro rodinné domy*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4504-6.

Statistická ročenka České republiky - 2023: 3-31. Produkce kalů v ČOV a způsob jejich zneškodnění, 2023. Online. In: Czso.cz. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/3-zivotni-prostredi-j1dmk5f1c8>. [cit. 2024-01-28].

Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2022, 2023. Online. In: Cenia.cz. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/publikace/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr/statisticka-rocenka-zivotniho-prostredi-cr-2022/>. [cit. 2024-01-04].

SÝKORA, Vladimír; KUJALOVÁ, Hana a PITTER, Pavel, 2016. *Hydrochemie pro studenty bakalářského studia*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-949-5.

ŠPERLING, Michal, 2020. *Vertikální kořenové ČOV – řešení pro 21. století. Mýty a data v porovnání s požadavky na nejlepší dostupné technologie*. Online. In: Ekolist.cz. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/michal-sperling-vertikalni-korenove-cov-reseni-pro-21.stoleti.myty-a-data-v-porovnani-s-pozadavky-na-nejlepsi-dostupne>. [cit. 2024-02-25].

ŠPERLING, Michal, 2021. *Kořenové čistírny pro domy a obce*. Online. In: Dvs.cz. Dostupné z: <https://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6812087>. [cit. 2024-02-22].

TOC-L Series: Total Organic Carbon Analyzer. Online. In: SHIMADZU. Dostupné z: <https://www.shimadzu.com/an/products/total-organic-carbon-analysis/toc-analysis/toc-l-series/index.html>. [cit. 2024-03-03].

Veřejná zakázka: Kanalizace a ČOV obce Radkovice u Hrotovic, 2021. Online. In: Ezak.tendera.cz. Dostupné z: https://ezak.tendera.cz/contract_display_1206.html. [cit. 2024-03-31].

Vybrané údaje majetkové evidence (VÚME) a Vybrané údaje provozní evidence (VÚPE) za rok 2022, 2024. Online. In: Eagri.cz. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/portal/mze/voda/vodovody-a-kanalizace/vybrane-udaje-z-majetkove-a-provozni-evidence-vodovodu-a-kanalizaci/vybrane-udaje-majetkove-evidence-vume-a-1>. [cit. 2024-04-16].

Vyhláška č. 428/2001 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), 2001. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 161/2001.

VYMAZAL, Jan, 2004. *Kořenové čistírny odpadních vod*. ENKI o.p.s. Třeboň.

VZ MĚŘÍN, 2024. *Provozní dokumentace ČOV VZ Měřín*.

Základní údaje stavby. Online. In: Klokocna.eu. Dostupné z: <https://www.klokocna.eu/obec-1/kanalizace-a-cov-klokocna/zakladni-udaje/>. [cit. 2024-04-01].

Zákon č. 254/2001 Sb.: o vodách a o změně některých zákonů, 2001. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ISSN 1211-1244.

Zákon č. 274/2001 Sb.: o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů, 2001. In: *Sbírka zákonů České republiky*.

Zákon č. 283/2021 Sb.: Stavební zákon, 2021. In: *Sbírka zákonů České republiky*.

ZÁRUBA, Kamil, 2016. *Analytická chemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 978-80-7080-950-1.

Závěrečný účet za rok 2022, 2023. Online. In: Hrotovicko.cz. Dostupné z: https://hrotovicko.cz/radkovice/radkovnew/upload/Zaverecny_ucet_za_rok_2022.pdf. [cit. 2024-04-01].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BAT	Nejlepší dostupné techniky (<i>Best Available Techniques</i>)
BSK	Biochemická spotřeba kyslíku
BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku během 5 dní
COD	Chemická spotřeba kyslíku (chemical oxygen demand)
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DPH	Daň z přidané hodnoty
EDX	Energiově disperzní spektroskopie
EO	Ekvivalentní obyvatel
ES	Evropská směrnice
EU	Evropská unie
HF	Horizontální filtr
CFU	Kolony tvořící jednotka (colony forming unit)
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
CHSK _{Cr}	Chemická spotřeba kyslíku dichromanem draselným
KČOV	Kořenová čistírna odpadních vod
KTJ	Kolony tvořící jednotka
MZe	Ministerstvo zemědělství
N	Dusík
NL	Nerozpuštěné látky
N-NH ₄	Amoniakální dusík
NV	Nařízení vlády
OV	Odpadní voda
P	Fosfor

PC	Osobní počítač
PE	Populační ekvivalent
pH	Potenciál vodíku
S	Siemens
TC	Celkový uhlík
TN	Celkový dusík
TOC	Celkový organický uhlík
VKF	Vertikální kořenový filtr
VZ	Vojenská zotavovna
ZZ	Zdravotnické zařízení

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vývoj spotřeby a ceny vody v letech 1990-2022, zdroj: vlastní.....	14
Obrázek 2 Zastoupení znečišťujících látek, zdroj: vlastní dle (ČSN 75 6401, 2014)	15
Obrázek 3 Podíl jednotlivých složek znečištění na TOC splaškových vod, zdroj: vlastní..	15
Obrázek 4 Zjednodušené schéma čistírny odpadních vod; zdroj: vlastní.....	31
Obrázek 5 Způsob zneškodnění kalů z ČOV v ČR v roce 2012 a 2022; zdroj: vlastní.....	38
Obrázek 6 Horizontální filtr na KČOV Hostětín, zdroj: vlastní	40
Obrázek 7 Vertikální filtr Hostětín vlevo krátce po osázení, vpravo v zimním období, zdroj: vlastní.....	41
Obrázek 8 Mapa obecních kořenových čistíren, zdroj: vlastní, nástroj: uMap	44
Obrázek 9 Situační plán KČOV Hostětín, zdroj: vlastní, nástroj: uMap.....	50
Obrázek 10 Průměrné hodnoty $CHSK_{Cr}$ na odtoku, zdroj: vlastní	53
Obrázek 11 Průměrné hodnoty BSK_5 na odtoku, zdroj: vlastní	53
Obrázek 12 Průměrné hodnoty NL na odtoku, zdroj: vlastní	53
Obrázek 13 Průměrné hodnoty N-NH ₄ na odtoku, zdroj: vlastní	54
Obrázek 14 Průměrné hodnoty P na odtoku, zdroj: vlastní	54
Obrázek 15 Vlevo odběr vzorku, vpravo odebrané vzorky vedle lahve s pitnou vodou, zdroj: vlastní.....	55
Obrázek 16 Místa odběru vzorků na přítoku a odtoku, zdroj: vlastní	56
Obrázek 17 Měření pH, zdroj: vlastní	57
Obrázek 18 Měření vodivosti, zdroj: vlastní	58
Obrázek 19 Vzorky připravené v autosampleru, zdroj: vlastní	59
Obrázek 20 Vzorky připravené k analýze v autosampleru přístroje, zdroj: vlastní.....	60
Obrázek 21 Sušení misek v exsikátoru, zdroj: vlastní	61
Obrázek 22 Měření optické hustoty, zdroj: vlastní.....	62
Obrázek 23 Hodnoty pH vzorků odebraných na přítoku, zdroj: vlastní.....	63
Obrázek 24 Hodnoty pH vzorků odebraných na odtoku, zdroj: vlastní	63
Obrázek 25 Naměřené hodnoty konduktivity na přítoku, zdroj: vlastní.....	64
Obrázek 26 Naměřené hodnoty konduktivity na odtoku, zdroj: vlastní.....	65
Obrázek 27 Naměřené hodnoty TC a TN na přítoku, zdroj: vlastní.....	66
Obrázek 28 Naměřené hodnoty TC a TN na odtoku, zdroj: vlastní	66
Obrázek 29 EDX spektrum vzorku č. 11 na přítoku, zdroj: vlastní.....	68
Obrázek 30 EDX spektrum vzorku č. 2 na odtoku, zdroj: vlastní	68
Obrázek 31 Obsah sušiny na přítoku, zdroj: vlastní	69
Obrázek 32 Obsah sušiny na odtoku, zdroj: vlastní.....	70

Obrázek 33 Petriho misky se sušinou po vysušení vzorků, zdroj: vlastní	70
Obrázek 34 Horní řada: termotolerantní koliformní bakterie; prostřední řada: intestinální enterokoky; dolní řada: koliformní bakterie, zdroj: vlastní	72
Obrázek 35 Hodnoty optické hodnoty na přítoku a odtoku, zdroj: vlastní.....	72
Obrázek 36 Hodnoty odtoku a vodivosti na KČOV Hostětín v období 1.9.-31.10.2023, zdroj: vlastní.....	74

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Porovnání cen vody v letech 1992 a 2022, zdroj: vlastní	13
Tabulka 2 Vybrané emisní limity pro povrchové a vypouštěné OV, zdroj: vlastní	49
Tabulka 3 Limity KČOV Hostětín v letech 2016-2024 a naměřená maxima, zdroj: vlastní	50
Tabulka 4 Průměrné a max. hodnoty na odtoku z KČOV Hostětín a vybraných tradičních ČOV v roce 2023, zdroj: vlastní	52
Tabulka 5 Hodnoty pH na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní	64
Tabulka 6 Hodnoty konduktivity na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní.....	65
Tabulka 7 Hodnoty TC a TN na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní.....	67
Tabulka 8 Hodnoty sušiny na odtoku a v potoce, zdroj: vlastní.....	70
Tabulka 9 Celkové počty vybraných mikroorganismů a legislativní limity, zdroj: vlastní.	71
Tabulka 10 Náklady na realizaci výstavby ČOV, zdroj vlastní.....	77
Tabulka 11 Náklady na realizaci ČOV, zdroj: vlastní dle (Základní údaje stavby; Závěrečný účet za rok 2022, 2023).....	78
Tabulka 12 Srovnání provozních nákladů, zdroj: vlastní	79
Tabulka 13 Obecné srovnání provozních nákladů, zdroj: vlastní.....	79

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Plnění emisních standardů ukazatelů přípustného znečištění v období 2016–2023 na KČOV Hostětín

Příloha P II: Srovnání průměrné míry a mezních hodnot znečištění na KČOV Hostětín a ČOV VZ Měřín

Příloha P III: Výsledky energiově disperzní spektroskopie – Xray fluorescence

Příloha P IV: Výsledky vážkového stanovení vlhkosti a sušiny

Příloha P V: Výsledky mikrobiologického rozboru

PŘÍLOHA P I: PLNĚNÍ EMISNÍCH STANDARDŮ UKAZATELŮ PŘÍPUSTNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ V OBDOBÍ 2016-2023 NA KČOV HOSTĚTÍN

Kategorie ČOV < 500 EO		CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺		N _{celk}		P _{celk}	
		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l		mg/l	
		p	max.	p	max.	p	max.	průměr	max.	průměr	max.	průměr	max.
Limit dle	NV č. 401/2015	150	220	40	80	50	80	x	x	x	x	x	x
Hodnoty BAT	NV č. 401/2015	110	170	30	50	40	60	x	x	x	x	x	x
Hostětín 300 EO - limity stanovené povolením VÚ	r. 2016-2017	70	x	20	x	25	x	x	x	x	x	x	x
	r. 2017-2020	110	170	30	50	40	60	x	x	x	x	x	x
	r. 2020-2024	100	150	25	40	25	40	15	30	x	x	1	2
	výjimka stavba	150	220	40	80	50	80	20	40	x	x	3	8
2016	18.07.2016	56,1		7,6		30,0							
	04.10.2016	44,5		13,0		18,4							
	12.12.2016	10,5		2,4		2,4							
	19.12.2016	2,4		9,0		2,0							
2017	07.02.2017	26,5		7,7		8,0		13,200					0,864
	21.04.2017	22,2		5,4		8,5		5,500					0,784
	18.07.2017	37,0		3,2		15,0		14,900					1,010
	01.11.2017	83,2		34,9		49,0		1,990					0,684
	Roční průměr							8,898					0,836
2018	26.04.2018	36,3		6,7		10,0		2,420					0,292
	12.07.2018	22,0		2,0		5,0		15,900					0,520
	05.09.2018	26,3		2,4		3,0		16,400					0,980
	14.11.2018	61,1		8,1		26,0		22,200					2,860
	Roční průměr							14,230					1,163
2019	25.03.2019	20,7		4,7		12,0		2,350					0,620
	24.06.2019	23,8		2,8		5,0		9,710					2,500
	29.08.2019	28,1		3,4		4,0		16,700					2,100
	26.11.2019	23,5		6,8		4,0		8,930					1,940
	Roční průměr							9,423					1,790
2020	27.04.2020	31,4		14,2		23,0		2,480					1,680
	15.07.2020	16,1		1,7		2,5		5,620					1,680
	02.09.2020	23,3		3,2		7,0		10,200					1,020
	02.12.2020	9,4		1,1		2,0		5,060					0,904
	Roční průměr							5,840					1,321
2021	18.02.2021	6,2		0,6		2,7		1,940					0,283
	20.04.2021	8,3		1,1		3,0		3,880					0,308
	25.08.2021	24,3		2,9		4,0		12,200					1,540
	09.09.2021	18,0		4,0		3,7		12,300					1,740
	Roční průměr							7,580					0,968
2022	10.01.2022	16,0		1,4		2,0		5,000					0,860
	19.04.2022	18,0		3,1		3,0		9,000					0,980
	17.08.2022	42,0		4,0		5,0		18,000					1,670
	17.10.2022	29,0		5,3		6,0		19,000					1,540
	Roční průměr							12,750					1,263
2023	01.02.2023	18,5		3,1		3,0		5,700					0,600
	29.06.2023	15,1		3,0		2,0		5,600					0,100
	14.08.2023	12,3		1,1		2,0		0,220					0,258
	06.10.2023	16,6		1,1		2,0		0,200					1,100
	11.12.2023	8,9		1,3		5,0		0,295					0,360
	Roční průměr							2,403					0,484
Překročení limitů znečištění													
Počet vzorků celkem		33		33		33		29/17*				celkem	29/17*
Překročení maxima (povolení VÚ)		0		0		1		0				průměr	1/4 let
Překročení p (povolení VÚ)		0		1		2		průměr	0				
Překročení maxima (NV č. 401/2015) m		0 m		0 m		0 m		0				m	0
Překročení p (NV č. 401/2015) p		0 p		0 p		0 p		0				p	0
*)celkový počet vzorků za období, kdy byl stanoven limit pro sledování ukazatele													
p = přípustná koncentrace (NV č. 401/2015 Sb. udává počet možných překročení limitu vzhledem k celkovému počtu vzorků, p = 1 nevyhovující/4-7 vz./rok)													

PŘÍLOHA P II: SROVNÁNÍ PRŮMĚRNÉ MÍRY A MEZNÍCH HODNOT ZNEČIŠTĚNÍ NA KČOV HOSTĚTÍN A ČOV VZ MĚŘÍN

Rok	Přítok	CHSK _{Cr} (mg/l)		BSK ₅ (mg/l)		NL (mg/l)		N-NH ₄ (mg/l)		P (mg/l)	
		ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín
2020	průměr	574,00	142,20	295,70	53,70	312,00	33,50	38,75	20,70	7,07	2,20
	minimum	295,00	65,40	104,70	24,50	168,00	18,00	6,30	6,50	3,43	0,90
	maximum	805,00	305,00	499,60	105,00	440,00	60,00	90,70	32,40	13,80	3,50
	max/min	2,73	4,66	4,77	4,29	2,62	3,33	14,40	4,98	4,02	3,89
2021	průměr	742,00	145,50	354,50	79,30	577,00	33,80	32,81	13,90	8,51	1,70
	minimum	101,00	31,50	51,30	18,10	154,00	9,50	2,85	3,00	0,96	0,40
	maximum	1470,00	339,00	844,30	194,00	2028,00	74,00	112,60	28,90	18,30	3,60
	max/min	14,55	10,76	16,46	10,72	13,17	7,79	39,51	9,63	19,06	9,00
2022	průměr	732,00	284,30	356,70	113,70	602,00	97,30	19,79	43,00	6,94	5,50
	minimum	259,00	48,00	166,30	19,20	114,00	13,00	2,71	6,00	4,20	0,80
	maximum	1677,00	653,00	618,40	261,20	992,00	250,00	36,80	80,00	11,70	11,20
	max/min	6,47	13,60	3,72	13,60	8,70	19,23	13,58	13,33	2,79	14,00
2023	průměr	460,00	137,70	263,80	63,80	305,00	64,40	30,51	22,70	6,12	3,70
	minimum	127,00	50,00	101,30	33,70	106,00	12,00	0,56	1,80	1,52	1,00
	maximum	1684,00	239,00	1098,10	109,00	636,00	129,00	78,60	41,50	14,10	7,80
	max/min	13,26	4,78	10,84	3,23	6,00	10,75	140,36	23,06	9,28	7,80

Rok	Odtok	CHSK _{Cr} (mg/l)		BSK ₅ (mg/l)		NL (mg/l)		N-NH ₄ (mg/l)		P (mg/l)	
		ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín	ČOV VZ Měřín	KČOV Hostětín
2020	průměr	33,10	20,00	3,10	1,00	18,00	8,60	2,56	5,84	1,13	1,32
	minimum	13,00	9,40	1,20	1,10	5,00	2,00	0,01	2,48	0,08	0,90
	maximum	88,00	31,40	12,40	14,20	40,00	23,00	8,65	10,20	5,96	1,68
	max/min	6,77	3,34	10,33	12,91	8,00	11,50	865,00	4,11	74,50	1,87
2021	průměr	35,40	14,20	2,20	2,10	19,00	3,40	2,75	7,58	0,72	0,97
	minimum	12,00	6,20	1,00	0,60	6,00	2,70	0,09	1,94	0,20	0,28
	maximum	61,00	24,30	4,50	4,00	31,00	4,00	16,60	12,30	1,66	1,74
	max/min	5,08	3,92	4,50	6,67	5,17	1,48	184,44	6,34	8,30	6,15
2022	průměr	30,10	26,30	1,90	3,50	15,00	4,00	1,11	12,75	0,85	1,26
	minimum	10,00	16,00	1,30	1,40	2,00	2,00	0,10	5,00	0,08	0,86
	maximum	48,00	42,00	3,10	5,30	38,00	6,00	2,57	19,00	1,76	1,67
	max/min	4,80	2,63	2,38	3,79	19,00	3,00	25,70	3,80	22,00	1,94
2023	průměr	27,20	14,30	1,90	1,90	12,00	2,80	1,84	2,40	0,88	0,48
	minimum	15,00	8,90	1,00	1,10	2,00	2,00	0,03	0,20	0,12	0,10
	maximum	46,00	18,50	2,90	3,10	27,00	5,00	10,20	5,70	1,38	1,10
	max/min	3,07	2,08	2,90	2,82	13,50	2,50	340,00	28,50	11,50	11,00

Údaje v tabulce čerpány z provozních dokumentací KČOV Hostětín (OÚ Hostětín, 2024) a ČOV Měřín (VZ Měřín, 2024).

PŘÍLOHA P III: VÝSLEDKY ENERGIOVĚ DISPERZNÍ SPEKTROSKOPIE – XRAY FLUORESCENCE

Číslo vzorku	Datum odběru	Den odběru v týdnu	Čas odběru h	Teplota vzduchu °C	Denní srážky** mm/m2	Průměrný denní odtok* l/s	EDX							
							Přítok				Odtok			
							H ₂ O (%)	Ca (%)	Fe (%)	< 0,1 %	H ₂ O (%)	Ca (%)	Fe (%)	< 0,1 %
1	22.06.2023	pátek	18:00	31,5	0,10	3,72	99,70	0,30	/	/	99,80	0,19	0,06	/
2	14.07.2023	pátek	11:00	25,0	0,00	3,10	99,99	0,01	/	/	99,00	0,96	0,03	Ag
3	15.07.2023	sobota	11:30	26,0	0,00	3,01	99,80	0,20	/	/	99,60	0,38	0,10	/
4	16.07.2023	neděle	11:30	28,0	0,30	0,75	99,70	0,30	/	/	99,70	0,30	0,00	/
5	04.08.2023	pátek	19:00	22,0	7,00	0,74	99,90	0,10	/	/	99,80	0,19	0,01	/
6	05.08.2023	sobota	14:00	23,0	13,50	2,32	99,75	0,25	/	/	99,90	0,10	0,00	K
7	06.08.2023	neděle	10:00	14,0	26,10	4,94	99,99	0,01	/	In, As	99,90	0,08	0,00	K, Nb, Mo
8	25.08.2023	pátek	18:00	30,0	0,00	0,82	99,90	0,07	/	Cl	99,80	0,20	0,00	/
9	26.08.2023	sobota	8:30	22,0	61,50	2,04	99,80	0,18	/	K	99,60	0,39	0,00	Ti
10	26.08.2023	sobota	18:00	26,0	61,50	2,04	99,80	0,19	/	/	99,95	0,05	0,00	/
11	13.09.2023	středa	10:00	17,0	5,70	0,88	99,70	0,20	/	Ag	99,90	0,09	0,00	Ar, Ag, In
12	13.09.2023	středa	18:00	20,0	5,70	0,88	99,60	0,40	/	/	99,90	0,04	0,00	In, As
13	14.09.2023	čtvrtek	14:00	21,5	0,20	1,48	99,60	0,30	/	Cl	99,90	0,10	0,00	/
Průměr						2,16	99,79	0,19			99,75	0,24	0,02	
Minimum						0,74	99,60	0,01			99,00	0,04	0,00	
Maximum						4,94	99,99	0,40			99,95	0,96	0,10	
* dle provozní dokumentace KČOV Hostětín														
** Údaje z ČHMI - Denní úhrn srážek ve Zlínském kraji, lokalita Bojkovice,														
dostupné z https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#														

PŘÍLOHA P IV: VÝSLEDKY VÁŽKOVÉHO STANOVENÍ VLHKOSTI A SUŠINY

Vzorek	miska vysušená (g)	miska + vzorek 10 ml (g)	Miska + vzorek vysušené (g)	Vzorek		Sušina		Voda		Vlhkost vzorku	Obsah sušiny
				m _{vz}		m _s		m _v		x _v =m _v /m _{vz} x100	x _s =m _s /m _{vz} x100
				g/10 ml	mg/l	g/10 ml	mg/l	g/10 ml	mg/l	%	%
P-1	36,9233	46,9723	36,9280	10,049	1004900	0,0047	470	10,0443	1004430	99,9532	0,0468
P-2	37,6058	47,7111	37,6116	10,1053	1010530	0,0058	580	10,0995	1009950	99,9426	0,0574
P-3	34,8143	44,9212	34,8212	10,1069	1010690	0,0069	690	10,1000	1010000	99,9317	0,0683
P-4	43,3191	53,3953	43,3265	10,0762	1007620	0,0074	740	10,0688	1006880	99,9266	0,0734
P-5	34,5096	44,5162	34,5158	10,0066	1000660	0,0062	620	10,0004	1000040	99,9380	0,0620
P-6	38,1382	48,1720	38,1453	10,0338	1003380	0,0071	710	10,0267	1002670	99,9292	0,0708
P-7	37,6848	47,6394	37,6897	9,9546	995460	0,0049	490	9,9497	994970	99,9508	0,0492
P-8	36,9845	46,9496	36,9937	9,9651	996510	0,0092	920	9,9559	995590	99,9077	0,0923
P-9	38,9138	48,9695	38,9208	10,0557	1005570	0,0070	700	10,0487	1004870	99,9304	0,0696
P-10	32,7715	42,8080	32,7761	10,0365	1003650	0,0046	460	10,0319	1003190	99,9542	0,0458
P-11	36,6436	46,6990	36,6506	10,0554	1005540	0,0070	700	10,0484	1004840	99,9304	0,0696
P-12	38,6786	48,6740	38,6861	9,9954	999540	0,0075	750	9,9879	998790	99,9250	0,0750
P-13	36,4514	46,4608	36,4613	10,0094	1000940	0,0099	990	9,9995	999950	99,9011	0,0989
Průměr přítok							678		1002782		0,0676
Minimum přítok							460		994970		0,0458
Maximum přítok							990		1010000		0,0989
O-1	35,2497	45,2633	35,2561	10,0136	1001360	0,0064	640	10,0072	1000720	99,93609	0,0639
O-2	36,1405	46,1324	36,1477	9,9919	999190	0,0072	720	9,9847	998470	99,92794	0,0721
O-3	34,0107	44,0000	34,0157	9,9893	998930	0,0050	500	9,9843	998430	99,94995	0,0501
O-4	38,9007	48,8782	38,9072	9,9775	997750	0,0065	650	9,971	997100	99,93485	0,0651
O-5	39,8424	49,7873	39,8466	9,9449	994490	0,0042	420	9,9407	994070	99,95777	0,0422
O-6	38,0716	48,0476	38,0766	9,976	997600	0,0050	500	9,971	997100	99,94988	0,0501
O-7	32,1590	42,1158	32,1630	9,9568	995680	0,0040	400	9,9528	995280	99,95983	0,0402
O-8	35,5277	45,4922	35,5340	9,9645	996450	0,0063	630	9,9582	995820	99,93678	0,0632
O-9	37,6070	47,5978	37,6155	9,9908	999080	0,0085	850	9,9823	998230	99,91492	0,0851
O-10	35,9333	45,9478	35,9393	10,0145	1001450	0,0060	600	10,0085	1000850	99,94009	0,0599
O-11	37,7765	47,7402	37,7814	9,9637	996370	0,0049	490	9,9588	995880	99,95082	0,0492
O-12	34,7944	44,8441	34,7988	10,0497	1004970	0,0044	440	10,0453	1004530	99,95622	0,0438
O-13	37,7644	47,8025	37,7712	10,0381	1003810	0,0068	680	10,0313	1003130	99,93226	0,0677
Průměr odtok							578		998432		0,0579
Minimum odtok							400		994070		0,0402
Maximum odtok							850		1004530		0,0851
Vzorky z potoka											
8 - nad	31,7985	41,7861	31,8022	9,9876	998760	0,0037	370	9,9839	998390	99,96295	0,0370
8 - pod	37,0555	47,0425	37,0614	9,9870	998700	0,0059	590	9,9811	998110	99,94092	0,0591

PŘÍLOHA P V: VÝSLEDKY MIKROBIOLOGICKÉHO ROZBORU

Vzorek č.	Celkové počty mezofilních mikroorganismů												
	Přítok						Odtok						
	Počet MO na miskách [CFU]		Průměr [CFU]	Ředění	Celkový počet MO		Počet MO na miskách [CFU]		Průměr [CFU]	Ředění	Celkový počet MO		
				[CFU/ml]	[CFU/100ml]					[CFU/ml]	[CFU/100ml]		
1.	211	209	210	-4	2,1E+06	2,1E+08	107	116	111	-3	1,1E+05	1,1E+07	
2.	263	261	262	-4	2,6E+06	2,6E+08	161	166	163	-3	1,6E+05	1,6E+07	
3.	288	290	289	-4	2,9E+06	2,9E+08	176	181	178	-3	1,8E+05	1,8E+07	
4.	269	271	270	-4	2,7E+06	2,7E+08	176	171	173	-3	1,7E+05	1,7E+07	
5.	273	275	274	-4	2,7E+06	2,7E+08	55	60	58	-3	5,8E+04	5,8E+06	
6.	221	223	222	-4	2,2E+06	2,2E+08	196	201	199	-3	2,0E+05	2,0E+07	
7.	113	109	111	-4	1,1E+06	1,1E+08	71	81	76	-3	7,6E+04	7,6E+06	
8.	249	247	248	-4	2,5E+06	2,5E+08	136	141	138	-3	1,4E+05	1,4E+07	
9.	105	103	104	-4	1,0E+06	1,0E+08	55	60	58	-3	5,8E+04	5,8E+06	
10.	483	475	479	-4	4,8E+06	4,8E+08	101	106	103	-3	1,0E+05	1,0E+07	
11.	257	259	258	-4	2,6E+06	2,6E+08	101	114	107	-1	1,1E+03	1,1E+05	
12.	255	257	256	-4	2,6E+06	2,6E+08	50	40	45	-2	4,5E+03	4,5E+05	
13.	296	294	295	-4	2,9E+06	2,9E+08	75	85	80	-2	8,0E+03	8,0E+05	
14.	33	44	38	-3	3,8E+04	3,8E+06	390	340	370	0	3,7E+02	3,7E+04	
Průměr zamražených vzorků					2,5E+06	2,5E+08						9,7E+04	9,7E+06
Celkový průměr					2,3E+06	2,3E+08						9,0E+04	9,0E+06
Minimum					3,8E+04	3,8E+06						3,7E+02	3,7E+04
Maximum					4,8E+06	4,8E+08						2,0E+05	2,0E+07
Vzorek č.	Celkové počty psychrofilních mikroorganismů												
	Přítok						Odtok						
	Počet MO na miskách [CFU]		Průměr [CFU]	Ředění	Celkový počet MO		Počet MO na miskách [CFU]		Průměr [CFU]	Ředění	Celkový počet MO		
				[CFU/ml]	[CFU/100ml]					[CFU/ml]	[CFU/100ml]		
1.	93	76	85	-1	8,5E+02	8,5E+04	127	133	130	-1	1,3E+03	1,3E+05	
2.	97	91	94	-3	9,4E+04	9,4E+06	30	36	33	-2	3,3E+03	3,3E+05	
3.	95	92	94	-3	9,4E+04	9,4E+06	76	75	75	-2	7,5E+03	7,5E+05	
4.	100	91	96	-3	9,6E+04	9,6E+06	58	65	62	-2	6,2E+03	6,2E+05	
5.	57	53	55	-3	5,5E+04	5,5E+06	48	42	45	-1	4,5E+02	4,5E+04	
6.	99	95	97	-3	9,7E+04	9,7E+06	50	61	56	-2	5,6E+03	5,6E+05	
7.	49	43	46	-1	4,6E+02	4,6E+04	43	48	46	-1	4,6E+02	4,6E+04	
8.	92	98	95	-3	9,5E+04	9,5E+06	58	52	55	-2	5,5E+03	5,5E+05	
9.	50	55	53	-2	5,3E+03	5,3E+05	67	61	64	-2	6,4E+03	6,4E+05	
10.	51	43	47	-1	4,7E+02	4,7E+04	55	68	62	-2	6,2E+03	6,2E+05	
11.	102	93	98	-1	9,8E+02	9,8E+04	101	97	99	-1	9,9E+02	9,9E+04	
12.	95	99	97	-2	9,7E+03	9,7E+05	30	38	34	-1	3,4E+02	3,4E+04	
13.	91	92	92	-3	9,2E+04	9,2E+06	38	49	44	-1	4,4E+02	4,4E+04	
14.	174	179	180	-3	1,8E+05	1,8E+07	100	118	110	-2	1,1E+04	1,1E+06	
Průměr zamražených vzorků					4,9E+04	4,9E+06						3,4E+03	3,4E+05
Celkový průměr					5,9E+04	5,9E+06						4,0E+03	4,0E+05
Minimum					4,6E+02	4,6E+04						3,4E+02	3,4E+04
Maximum					1,8E+05	1,8E+07						1,1E+04	1,1E+06

Vzorek 11.3. 2024	Koliformní bakterie						Enterokoky					
	Počet MO na miskách [CFU]		Průměr [CFU]	Ředění	Celkový počet MO		Počet MO na miskách [CFU]		Průměr [CFU]	Ředění	Celkový počet MO	
					[CFU/ml]	[CFU/100ml]					[CFU/ml]	[CFU/100ml]
Potok nad vtokem	28	28	28	0	2,8E+01	2800	1	0	1	0	1,0E+00	100
Potok pod vtokem	75	82	79	0	7,9E+01	7900	9	4	7	0	7,0E+00	700
Přítok	161	155	160	-2	1,6E+04	1600000	160	133	150	-1	1,5E+03	150000
Odtok	320	276	300	0	3,0E+02	30000	64	56	60	0	6,0E+01	6000
	<i>Termotolerantní koliformní bakterie</i>						<i>Intestinální enterokoky</i>					
Potok nad vtokem	0	0	<1	0	<1	<100	0	0	<1	0	<1	<100
Potok pod vtokem	0	1	1	0	1	100	2	1	2	0	1,5E+00	150
Přítok	7	8	8	0	7,5E+00	750	13	8	11	0	1,1E+01	1100
Odtok	0	0	<1	0	<1	<100	1	8	5	0	4,5E+00	450
	<i>Mezofilní mikroorganismy</i>						<i>Psychrofilní mikroorganismy</i>					
Potok nad vtokem	410	340	380	0	3,8E+02	3,8E+04	48	54	41	-2	5,1E+03	5,1E+05
Potok pod vtokem	346	255	300	0	3,0E+02	3,0E+04	325	334	330	-1	3,3E+03	3,3E+05
Přítok	33	44	38	-3	3,8E+04	3,8E+06	174	179	180	-3	1,8E+05	1,8E+07
Odtok	390	340	370	0	3,7E+02	3,7E+04	100	118	110	-2	1,1E+04	1,1E+06
Vzorek 25.8.2023	<i>Mezofilní mikroorganismy</i>						<i>Psychrofilní mikroorganismy</i>					
Potok nad vtokem	75	96	85	-3	8,5E+04	8,5E+06	185	199	192	0	1,9E+02	1,9E+04
Potok pod vtokem	63	63	63	-4	6,3E+05	6,3E+07	99	96	98	0	9,8E+01	9,8E+03
Přítok	249	247	248	-4	2,5E+06	2,5E+08	92	98	95	-3	9,5E+04	9,5E+06
Odtok	136	141	138	-3	1,4E+05	1,4E+07	58	52	55	-2	5,5E+03	5,5E+05