



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

MIKROFILTRACE A FILTRACE – VYUŽITÍ V TECHNOLOGII ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

MICROFILTRATION AND FILTRATION – THE USE IN WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominika Čičatková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Mgr. Renata Komendová, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1882/2022 Akademický rok: 2022/23
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Studentka: **Dominika Čičatková**
Studijní program: Environmentální chemie, bezpečnost
a management
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. Mgr. Renata Komendová, Ph.D.**

Název bakalářské práce:

Mikrofiltrace a filtrace – využití v technologii čištění odpadních vod

Zadání bakalářské práce:

1. Vypracování literární rešerše, týkající se problematiky čištění odpadních vod, procesů filtrace a mikrofiltrace a výběr vhodných ukazatelů účinnosti čištění odpadních vod.
2. Odběr vzorků odpadních vod na nátok a odtoku mikrosíťového bubnového a diskového filtru na vybraných čistírnách odpadních vod.
3. Analýza vzorků odpadních vod na vybrané ukazatele.
4. Zhodnocení dosažených výsledků a porovnání naměřených dat s výsledky zahraničních partnerů.

Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2023:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Dominika Čičatková
studentka

doc. Mgr. Renata Komendová,
Ph.D.
vedoucí práce

vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2023

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou čištění odpadních vod pomocí membránového procesu zvaného mikrofiltrace. Zaměřuje se na porovnání vybraných ukazatelů znečištění odpadních vod, jejichž hodnoty byly stanoveny ve vzorku odpadní vody na nátoky a odtoky mikrosítového bubnového a diskového filtru na vybraných čistírnách odpadních vod. Čistírny byly vybrány na základě toho, zda vlastní některý z uvedených typů filtrů od společnosti IN-EKO TEAM s.r.o. Vybrané ukazatele byly stanoveny v celkem dvanácti vzorcích pocházejících z šesti čistíren odpadních vod. Ze získaných dat bylo zjištěno, že se výše uvedená filtrační zařízení podílejí na zlepšení kvality vypouštěných odpadních vod a mohou tak předcházet problémům spojených se znečištěním vodních recipientů.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the issue of wastewater treatment using a membrane process called microfiltration. It focuses on the comparison of selected indicators of wastewater pollution, the values of which were determined in the influent and effluent samples of a microscreen drum filter and a disc filter at selected wastewater treatment plants. The treatment plants were selected based on whether they owned any of the listed filter types from IN-EKO TEAM s.r.o. The selected indicators were determined in a total of twelve samples from six wastewater treatment plants. From the data obtained, it was found that the above filtering devices contribute to improving the quality of the effluent discharged and can thus prevent problems associated with pollution of water recipients.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikrofiltrace; filtrace; odpadní voda; čistírna odpadních vod; ukazatel znečištění, limity odpadních vod

KEY WORDS

Microfiltration; filtration; wastewater; wastewater treatment plant; pollution indicator, waste water limits

ČIČATKOVÁ, Dominika. Mikrofiltrace a filtrace – využití v technologii čištění odpadních vod. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/146154>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce Renata Komendová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc. Mgr. Renatě Komendové Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování této bakalářské práce věnovala. Dále bych ráda poděkovala vedení společnosti IN-EKO TEAM s.r.o. za umožnění vypracování této bakalářské práce. Mé poděkování také patří Ing. Martinu Smolíkovi a Ing. Tomáši Rozmahelovi, zaměstnancům společnosti, za velkou pomoc při realizaci odběru vzorků. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a partnerovi za podporu během mého celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	8
2.1	Odpadní vody	8
2.2	Splaškové odpadní vody	8
2.2.1	Složení splaškových odpadních vod	8
2.3	Průmyslové odpadní vody	9
2.3.1	Složení průmyslových odpadních vod	10
2.4	Městské odpadní vody	10
2.4.1	Složení městských odpadních vod	10
2.5	Čistírny odpadních vod.....	11
2.5.1	Dělení čistíren odpadních vod.....	11
2.6	Technologická linka čistírny odpadních vod.....	11
2.7	Primární stupeň čištění - mechanické předčištění	12
2.7.1	Lapák šterku	12
2.7.2	Česle	12
2.7.3	Lapáky písku	14
2.7.4	Flotace	15
2.7.5	Usazovací nádrž	16
2.8	Sekundární stupeň čištění – biologické čištění.....	16
2.8.1	Oxická oblast.....	17
2.8.2	Anoxická oblast.....	17
2.8.3	Anaerobní oblast	18
2.8.4	Technologie sekundárního stupně čištění	18
2.9	Kalové hospodářství	18
2.9.1	Primární kal	18
2.9.2	Sekundární kal.....	19
2.9.3	Terciární kal	19
2.9.4	Zpracování čistírenských kalů.....	20
2.9.5	Využití čistírenských kalů.....	23
2.10	Terciární stupeň čištění.....	24
2.10.1	Membránové procesy	25
2.11	Mikrofiltrace	27
2.11.1	Technologie mikrofiltrace	28
2.12	Ukazatele znečištění odpadních vod.....	30
2.12.1	Chemická spotřeba kyslíku CHSK.....	30
2.12.2	Biochemická spotřeba kyslíku BSK.....	31

2.12.3	Sloučeniny dusíku	31
2.12.4	Sloučeniny fosforu	31
2.12.5	Nerozpuštěné látky NL.....	32
2.12.6	Teplota a pH	32
2.12.7	Konduktivita.....	32
2.13	Limity parametrů vody na odtoku z čistíren odpadních vod.....	32
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	33
3.1	Použité přístroje, chemikálie a pomůcky.....	33
3.1.1	Přístroje a pomůcky.....	33
3.2	Odběr vzorků odpadních vod z čistíren.....	33
3.3	Stanovení vybraných parametrů vzorků	34
3.3.1	Gravimetrické stanovení nerozpuštěných látek.....	34
3.3.2	Stanovení pH a konduktivity	35
3.3.3	Stanovení chemické spotřeby kyslíku pomocí sady mobilní analytiky	35
3.3.4	Stanovení biochemické spotřeby kyslíku	35
3.3.5	Stanovení celkového fosforu pomocí sady mobilní analytiky	36
3.3.6	Stanovení celkového dusíku pomocí sady mobilní analytiky	37
3.3.7	Kolorimetrické stanovení dusičnanů	37
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	38
4.1	Stanovení hodnoty pH	38
4.2	Stanovení konduktivity.....	38
4.3	Stanovení nerozpuštěných látek	39
4.4	Stanovení chemické spotřeby kyslíku	40
4.5	Stanovení biochemické spotřeby kyslíku	42
4.6	Stanovení celkového fosforu	43
4.7	Stanovení celkového dusíku	44
4.8	Stanovení dusičnanového dusíku.....	45
4.9	Porovnání výsledků se zahraničními partnery	45
5	ZÁVĚR.....	49
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	50
7	PŘÍLOHY	56

1 ÚVOD

Voda představuje nejdůležitější složku životního prostředí, bez které by na Zemi nebyl život. I přes to, že zásoby vody jsou vyčerpitelné, často dochází k jejímu plýtvání a tím pádem i k jejímu znečišťování. Využitím vody dochází ke změnám jejího složení a také vlastností. Čištění vody představuje důležitý krok ve snižování dopadu tohoto celosvětového environmentálního problému na planetu a naši společnost.

Voda, která byla jakýmkoliv způsobem využita, odchází veřejnou kanalizací do zařízení, které se nazývá čistírna odpadních vod. Je tomu tak v případě, že se v daných lokalitách veřejná kanalizace nachází.

Většina čistíren odpadních vod v České republice provozuje alespoň dva cykly čištění vod. Dodatečným a prozatím dobrovolným stupněm pro většinu čistíren odpadních vod v České republice je terciární stupeň čištění, který se zabývá dočištěním a snížením obsahu některých parametrů ve znečištěné vodě. Mezi terciární stupeň čištění se řadí proces mikrofiltrace, který pracuje na principu mechanické filtrace a zachytává částice větší než 0,1 μm .

Aby mohla být odpadní voda vypuštěna do vodního recipientu, musí splňovat limity stanovené legislativou. Tyto limity musí být dodržovány veškerými čistírnami odpadních vod v České republice. V případě, že by tomu tak nebylo, docházelo by ke značnému znečištění vodních toků a k rozsáhlému úhynu nejenom vodních živočichů. Nedodržování limitů by se mohlo promítnout i do zdraví člověka.

Tato bakalářská práce vznikla díky spolupráci se společností IN-EKO TEAM s.r.o., která vyrábí vodohospodářská zařízení nejen pro čistírny odpadních vod. Hlavní zaměření společnosti je právě na mikrofiltraci odpadních vod. Pro experimentální část této bakalářské práce tedy byly vybrány zařízení typu mikrosítový bubnový a diskový filtr. Vzorby byly odebrány z čistíren odpadních vod, které vlastní jedno z těchto dvou zařízení.

Cílem této bakalářské práce je porovnat účinnost terciárního dočištění na vybraných čistírnách odpadních vod a zhodnotit kvalitu vypouštěné vody z daných čistíren. Dále také posouzení, zda jsou výsledky v souladu s nařízením vlády č. 401/2015 Sb., které se týká maximálních přípustných hodnot znečištění vypouštěných odpadních vod. V neposlední řadě bakalářská práce obsahuje také porovnání získaných dat s výsledky, které byly obdrženy od zahraničních partnerů společnosti.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Odpadní vody

V České republice se ročně vyprodukuje téměř jedna miliarda m³ odpadních vod. Většina těchto vod je po použití nějakým způsobem čištěna.

Znečištěné vody jsou klasifikovány jako vody, u kterých došlo k fyzikálním, chemickým a biologickým změnám vlastností, které omezují či znemožňují jejich opětovné využití. Do znečištěných vod řadíme vody odpadní [1].

Odpadní vody pochází z obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických či jiných zařízení, ve kterých byly využity a byla v nich změněna jejich jakost – složení nebo teplota. Mezi odpadní vody se řadí také vody srážkové, které jsou spolu s nečistotami ze střech, ulic, parkovišť odváděné do veřejné kanalizace [2], [3].

Odpadní vody obsahují rozmanité formy kontaminantů. Jejich množství a koncentrace záleží na zdroji dané odpadní vody. V odpadních vodách nacházíme kontaminanty organického či anorganického původu v nerozpuštěné a rozpuštěné formě. Nerozpuštěné látky dělíme na usaditelné a neusaditelné. V odpadních vodách se běžně vyskytují komplexní organické látky a sloučeniny s vysokým obsahem fosforu a dusíku. V neposlední řadě kontaminanty odpadních vod zahrnují různé patogenní organismy jako jsou bakterie, viry či prvoci [3], [4], [5].

V rámci vývoje společnosti několika posledních desítek let se v odpadních vodách čím dál více objevují látky vyvolávající značné obavy. Tyto látky mohou negativně působit na zdraví člověka a narušovat stabilitu ekosystémů. Znečištěná voda, která prošla čistírnou odpadních vod, by podle zákona měla vykazovat takovou kvalitu, aby odpovídala jeho kritériím. Ve znečištěné vodě se ale často nachází nebezpečné látky, jejichž množství nejsou nijak limitovány. Jedná se především o léčiva, přípravky pro osobní hygienu, pesticidy či drogy.

Jedním z prokázaných problémů spojeným s výskytem léčiv ve vodách je feminizace samců pstruha potočního vlivem přítomnosti zbytků hormonů nejenom z antikoncepcí, ale třeba i z léků na osteoporózu či některé druhy rakoviny. Současné technologie čištění odpadních vod nejsou schopny tyto látky z odpadních vod dokonale odstranit.

Zbytky antibiotik v odpadních vodách zase zapříčiňují to, že se bakterie vůči nim stávají více rezistentní a jednoduše si na jejich přítomnost zvyknou. Bakterie jsou schopny být rezistentní vůči takovým koncentracím antibiotik, které se využívají při léčbě infekcí v medicíně [4], [6].

Odpadní vody jsou rozdělovány do tří hlavních skupin - vody splaškové, městské a průmyslové [2].

2.2 Splaškové odpadní vody

Jedná se o odpadní vody pocházející z domácností, ubytování, ze stravovacích zařízení, nákupních center či nemocnic apod. Jsou zde řazeny splašky z WC, koupelen, kuchyní či prádelen. Splašková voda je po použití odváděna kanalizačním systémem do čistíren odpadních vod (ČOV), kde se dále několika kroky čistí [2], [7], [8].

2.2.1 Složení splaškových odpadních vod

Splaškové vody obsahují organické a anorganické látky, dále také obsahují řadu živých i neživých mikroorganismů, které se do odpadních vod dostávají především z fekálií. Další

zdroj může představovat nedostatečně dezinfikovaná voda z nemocnic. Splaškové vody jsou proto řazeny mezi velmi rizikové vzhledem k jejich infekčnosti.

Senzorické vlastnosti vody neboli vzhled a pach, jsou jedním z ukazatelů závadnosti splaškových vod. Zavadnost těchto vod ale vždy spočívá v jejich složení. Barva splaškových vod bývá šedá až hnědá a vzhledem k vysokému obsahu rozptýlených nerozpuštěných látek jsou vody silně zakalené. Hlavní podíl znečišťujících látek obsažených ve splaškových vodách představují fekálie a moč, a to až z 80 %. Ve splaškových vodách se nachází také produkty lidské činnosti z domácností, které byly spláchnuty do veřejné kanalizace, například zbytky jídel či prací a čisticí prostředky [5], [9].

Anorganické látky obsažené ve splaškové vodě pochází především z moče, velký podíl však připadá na prací a čisticí prostředky, které obsahují velké množství sloučenin fosforu. Chloridy obsažené ve splaškových vodách pocházejí převážně z moče, jejich specifická produkce se může pohybovat v rozmezí 7 až 9 g/obyvatel za den. Jak již bylo zmíněno výše, sloučeniny fosforu pochází i z prací a čisticích prostředků, kde se vyskytují ve formě polyfosforečnanů. Fosfor obsažený v moči se vyskytuje ve formě orthofosforečnanů. Celková produkce fosforu dosahuje 1,6 g/obyvatel za den. Sloučeniny dusíku obsažené ve splaškových vodách jsou ve formě amoniakálního dusíku, močoviny a ve volně vázaných aminokyselinách. Kvůli hydrolýze močoviny na amoniakální dusík se poměr forem dusíku mění v čase. Produkce dusíku dosahuje 11 g/obyvatel za den.

Látky organického původu obsažené ve splaškových vodách dělíme na biologicky rozložitelné a na látky biologicky těžko rozložitelné. Mezi organické látky řadíme sacharidy a další organické bezdusíkaté látky, které jsou kvantitativně nejvíce zastoupené v kapalné fázi splaškových vod. Tuhá fáze splaškových vod obsahuje polysacharidy například ve formě škrobu, celulózy a produkty jejich rozkladu. Dalšími organickými látkami obsaženými ve splaškových vodách jsou lipidy – látky s hydrofobním charakterem. Do skupiny lipidů řadíme tuky, fosfolipidy a vosky. Produkce lipidů dosahuje 15 g/obyvatel za den [10].

2.3 Průmyslové odpadní vody

Tento typ odpadních vod pochází z výrobních procesů, ve kterých byly vody použity a znečištěny. Jejich složení závisí na typu výrobního procesu. Mezi průmyslově znečištěné vody se řadí také chladicí vody či vody ze zemědělství [2].

Průmyslově znečištěné vody je potřeba před vypuštěním do veřejné kanalizace mechanicky a chemicky předčistit. Předčištění je navrhováno podle typu provozu. Předčištěná voda z provozu, která nemá takové složení, aby mohla být vypuštěna do vodního recipientu, dále pokračuje veřejnou kanalizací do čistírny odpadních vod. Zde se úroveň znečištění pomocí různých procesů sníží na maximálně přípustnou hodnotu znečištění [11].

Současně ale musí mít průmyslové objekty dle zákona č. 254/2001 Sb. (vodní zákon) a dle §16 povolení od vodoprávního úřadu k vypouštění průmyslových odpadních vod do veřejné kanalizace. Dále také musí průmyslové objekty zřídit kontrolní místo, způsob měření objemu vypouštěných odpadních vod a způsob předání zjištěných výsledků vodoprávnímu úřadu [12].

2.3.1 Složení průmyslových odpadních vod

Jak již bylo zmíněno výše, znečištění průmyslových odpadních vod závisí na charakteru výroby a je proměnlivé. Nejsilněji znečištěné vody v průmyslu bývají technologické odpadní vody. Tyto vody se dostávají do přímého kontaktu s výrobky během výrobního procesu a mohou obsahovat: organické látky biologicky rozložitelné i nerozložitelné, toxické anorganické nebo organické látky, kyseliny, zásady či alkalicky nebo kyselě reagující soli, látky radioaktivní, látky způsobující mikrobiologické znečištění apod.

Příkladem pro znečištění průmyslových odpadních vod může být potravinářský průmysl, produkuje přibližně 15 % veškerých průmyslových odpadních vod a 50 % organického znečištění pocházejícího z průmyslu [3].

Maximálně přípustné hodnoty znečištění pro odpadní vody vypouštěné ze strojního průmyslu udává nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Podrobnosti o ukazatelích a jejich přípustných hodnotách jsou uvedeny v Tab. 1 [13].

Tab. 1 Maximálně přípustné hodnoty znečištění odpadních vod ze strojního průmyslu [13]

Parametr znečištění	Hodnota (mg/l)
Nerozpuštěné látky (NL)	50,0
N-NH ₄ ⁺	30,0
P _{celk.}	3,0
C ₁₀ – C ₄₀	2,0
Adsorbovatelné, organicky vázané halogeny (AOX)	2,0
Kadmium	0,2
Železo	2,0

2.4 Městské odpadní vody

Představují směs splaškových a průmyslových odpadních vod. Zahrnují také vody dešťové či jiné vody, které se dostaly do kanalizačních sítí [2].

Součástí městských odpadních vod jsou také vody infekční. Tyto vody pochází z infekčních oddělení nemocnic, mikrobiologických laboratoří apod. Tento typ odpadních vod obsahuje choroboplodné zárodky či různé patogenní organismy v takovém množství, že vyžadují zvláštní čištění před vypouštěním do stokové sítě. Vypouštěním infekčních vod do stokové sítě se zabývá česká technická norma ČSN 75 6406 [7].

2.4.1 Složení městských odpadních vod

Městské odpadní vody mají velmi proměnlivou kvalitu i kvantitu obsažených látek. Koncentrace nerozpuštěných látek silně závisí na meteorologických faktorech. Městské odpadní vody představují směs různých typů odpadních vod. Celkový fosfor se v městských odpadních vodách objevuje v jednotkách mg/l, amoniakální dusík či dusík vázaný v organických sloučeninách se v městských odpadních vodách obsažen v desítkách mg/l.

Teplota představuje důležitou vlastnost městských odpadních vod, jelikož určuje rychlost biochemických reakcí. Průměrná roční teplota těchto odpadních vod se pohybuje mezi 10 až 20 °C. Nižší teploty jsou způsobeny vlivem ročních období, naopak vyšší teploty jsou způsobeny vypouštěním teplejších průmyslových odpadních vod [14].

2.5 Čistírny odpadních vod

2.5.1 Dělení čistíren odpadních vod

Čistírny odpadních vod jsou rozdělovány podle druhu čistírenského procesu a podle jejich velikosti. Velikost čistíren je dána počtem ekvivalentních obyvatel (EO). Tato uměle zavedená jednotka slouží pro zařazení dané čistírny do velikostní kategorie a vypočítává se z maximálních průměrných týdenních hodnot zatížení čistírny na přítoku během jednoho roku. Jednotka jednoho EO představuje produkci 60 g BSK₅ na osobu a den. BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní) je definována jako „*hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku v roztoku, která byla spotřebována během biochemické oxidace organických látek za stanovených podmínek*“. Ukazatel BSK₅ tedy představuje, jak velké znečištění vody jsme schopni biologicky odstranit [2], [3], [13].

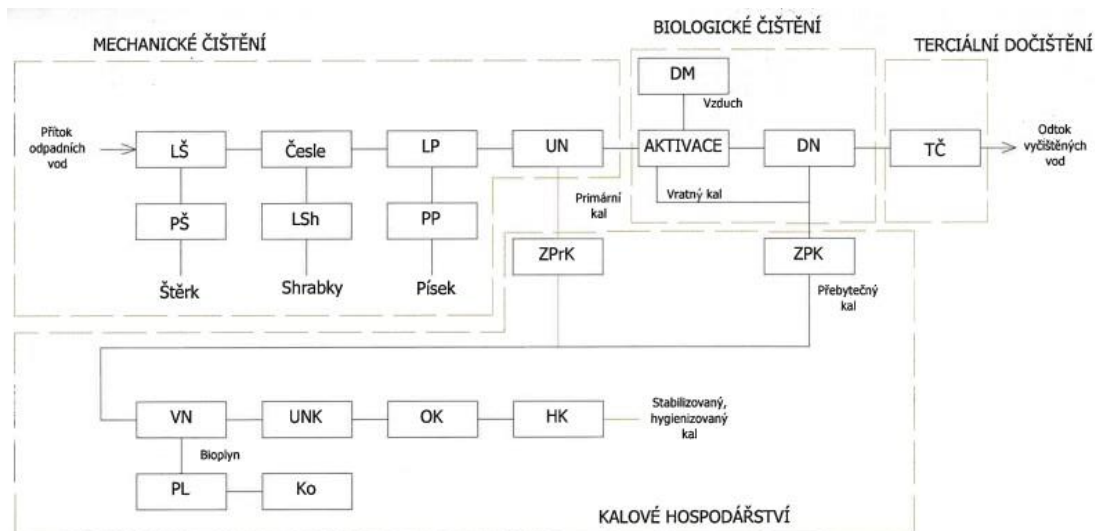
Čistírny odpadních vod se dle velikosti rozdělují do pěti skupin [3]:

1. skupina – méně než 500 EO
2. skupina – 501 až 2 000 EO
3. skupina – 2 001 až 10 000 EO
4. skupina – 10 001 až 100 000 EO
5. skupina – nad 100 000 EO

Podle druhu čistírenského procesu se čistírny dělí na mechanické a mechanicko-biologické. V České republice je častějším typem mechanicko-biologický typ čistírny [15].

2.6 Technologická linka čistírny odpadních vod

Čištění odpadních vod v čistírnách se dělí do několika stupňů čištění. Primární stupeň čištění, který zahrnuje mechanické předčištění, sekundární stupeň čištění zahrnující biologické čištění, který využívá aktivity mikroorganismů a terciární stupeň čištění, který je zařazen v případě potřeby odstranění látek, které biologický stupeň čištění kompletně neodstraní. Obecné schéma čistírny je zobrazeno na Obr. 1.



Obr. č. 11 Obecné blokové schéma velké čistírny odpadních vod

LŠ ... lapák štěrku	UN ... usazovací nádrž	ZPK... zahuštění přebytečného kalu	PL .. Plynojem
PŠ ... pračka štěrku	DM ... strojovna dmychadel	VN ... vyhřívací nádrž	Ko.. Kotelna
LSh ... lis na shrabky	DN ... dosazovací nádrž	UNK...uskladňovací nádrž kalu	
LP ... lapák písku	TČ ... terciální čištění	OK... odvodnění kalu	
PP ... pračka písku	ZPrK...zahuštění primárního kalu	HK... hygienizace kalu	

Obr. 1 Obecné schéma čistírny odpadních vod [9]

2.7 Primární stupeň čištění - mechanické předčištění

Tento důležitý typ předčištění se nachází na všech druzích čistíren odpadních vod. Dochází zde k odseparování nerozpuštěných částic, například listů, textilií, štěrku, které by mohly poškodit další části čistírny [9].

2.7.1 Lapák štěrku

Jedná se o první zařízení přítomné v čistírně odpadních vod. Lapák štěrku separuje částice větší než 35 mm, tedy štěrku, pomocí sedimentace. Žlab, kterým přitéká znečištěná voda, je prohlouben a rozšířen. Rychlost proudu vody se sníží, a tak se těžší částice usazují u dna. Usazené částice jsou poté odebrány [16].

2.7.2 Česle

Skládají se z vertikálních nebo nakloněných ocelových tyčí neboli česlic, které slouží k dalšímu zachycení plovoucích nečistot. Česle dělíme podle velikosti průlin mezi pruty česlí na hrubé a jemné. Velikost průlin mezi hrubými česlemi může být 5 až 20 cm. Průliny u jemných česlí mohou mít vzdálenost 10 až 20 mm [10].

Důležitou podmínkou je rychlost proudění odpadní vody česlemi. Ta nesmí klesnout pod 0,6 m/s, aby nedošlo k usazování pevných látek. Zároveň rychlost vody nesmí přesáhnout 1,4 m/s z toho důvodu, aby se částice, které jsou schopny deformace, neprotlačily otvory.

Pevné částice, které jsou zadrženy na česlích, se nazývají shrabky. Složení shrabků zahrnuje organické látky rostlinného a živočišného původu. Shrabky mají velkou hmotnost z důvodu jejich vodnaté struktury. Snížení obsahu vody ve shrabkách se provádí pomocí lisů. Po odvodnění se shrabky skládají, kompostují nebo spalují. Odstraňování shrabků neboli stírání

česlí je prováděno buď ručně nebo strojově. Strojově stírané shrabky padají do kontejneru, na transportní pás nebo mohou být vynášeny šnekovým dopravníkem [9], [10].



Obr. 2 Česle ručně stírané [57]



Obr. 3 Česle strojně stírané [57]

Praktickou alternativou mohou být samočisticí česle, které jsou tvořeny nekonečným pásem s průlinami. Pás se otáčí, zubová část segmentu vynáší zachycené shrabky a v horní části nad vodou shrabky vypadávají do připraveného kontejneru nebo na dopravník [10].



Obr. 4 Samočisticí česle [57]

2.7.3 Lapáky písku

Představují zařízení, která slouží k zachytávání písku a částic o velikosti zrn 0,2 až 0,25 mm. Odstraňování písku je důležité z důvodu jeho snadného usazování v různých místech čistírny a následného znehodnocování kalového hospodářství. Velké množství písku v dalších technologických krocích na ČOV by mohlo vést ke snižování užitého objemu kalu, písek by zvyšoval energetickou a ekonomickou náročnost čistícího procesu tím, že by zhoršoval promíchávání a provzdušňování kalu. Písek je po odseparování proprán tlakovou vodou v zařízení nazývaném pračka písku. Následně je takto upravený písek možné využít ve stavebnictví [9].

Lapáky písku se rozdělují podle způsobu odstraňování písku na ruční a strojní a dále dle směru průtoku písku na horizontální a vertikální. Mezi horizontální lapáky písku řadíme například komorový lapák písku, který představuje podélný usazovací žlab s akumulacním prostorem na zachycování písku. Je navrhován pro odpadní vody obsahující pouze minerální částice a za předpokladu, že je jejich rychlost proudění neměnná.

Do vertikálních lapáků je voda přiváděna na dno, odkud stoupá určitou rychlostí. Částice zachycené v lapáku jsou strojně odstraňovány. Vertikální lapáky mají kruhový či čtvercový profil.

Mezi vertikální lapáky řadíme například vírový lapák písku, který pracuje na základě odstředivé síly, pomocí které jsou oddělovány látky s různou hustotou [10].



Obr. 5 Vertikální lapák písku [57]

2.7.4 Flotace

Jedná se o separační proces, který se používá pro oddělení dispergovaných částic z kapaliny. Proces oddělování spočívá ve spojení částic s mikrobublínkami plynu za vzniku flotačních komplexů, které jsou lehčí než voda a tím pádem se shromažďují na její hladině.

Flotaci rozdělujeme na flotaci volnou a tlakovou. Volná flotace spočívá ve využití aeračních elementů s póry o velikosti 5 až 20 mm. Nevýhodou je možné ucpání pórů při přerušení dodávky vzduchu.

Tlaková flotace pracuje na principu nasycení vody vzduchem pod tlakem, který je následně zrušen. To vede k vyloučení rozpuštěného vzduchu ve formě bublinek [10].

Během procesu flotace mohou být do odpadní vody přidávány kromě vzduchu i chemické látky, které vytvoří hustou pěnu na hladině a nečistoty se vysráží do vloček. Vločky jsou poté pomocí vzduchu vynášeny k hladině, kde jsou spolu s pěnou odebírány stíráním. Flotace probíhá v kruhových nebo hranatých nádržích [17], [18].



Obr. 6 Flotace hranatá [57]

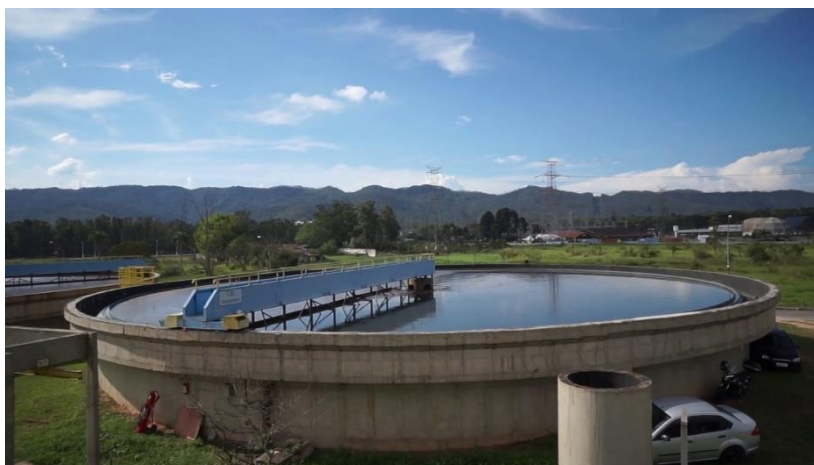


Obr. 7 Flotace kruhová [57]

2.7.5 Usazovací nádrž

Slouží k odstranění usaditelných nerozpuštěných látek o velikosti částic menších než 0,2 mm pomocí sedimentace. Usazovací nádrže jsou posledním krokem před sekundárním (biologickým) stupněm čištění. Vlivem zpomalení proudu vody nastane sedimentace částic, která je dána gravitací a závisí na velikosti a tvaru částic a hustotě dané kapaliny. Sedimentující částice dopadají na šikmé dno nádrže, po kterém sjíždí do jímky.

Tuky a oleje obsažené v odpadní vodě se vlivem nižší hustoty usazují na hladině vody, odkud jsou stírány do jímky pomocí stíracích lišt. Usazovací nádrže mají kruhový nebo hranatý tvar [9], [10], [19].



Obr. 8 Usazovací nádrž [57]

2.8 Sekundární stupeň čištění – biologické čištění

Biologické čištění probíhající v čistírnách odpadních vod využívá biologické pochody, které v přírodních vodách neustále přirozeně probíhají. Biologické čištění odpadních vod tyto

pochody napodobuje a zintenzivňuje. Dochází k využití mikroorganismů, které jsou schopny svojí aktivitou rozkládat organickou hmotu. Tento děj se nazývá aktivační proces.

Sekundární stupeň čištění je založen na principu oxidačně-redukčních biochemických reakcí. Tyto reakce se dělí podle konečného akceptoru elektronů a tím i oxidačně-redukčního potenciálu na tři oblasti, a to na oxickou, anoxickou a anaerobní oblast. Vlivem vývoje čistících metod dochází k odstraňování nejen organických látek, ale například i k odstraňování dusíku a fosforu [9].

2.8.1 Oxická oblast

V oxické oblasti se nachází rozpuštěný kyslík, který se stává konečným akceptorem elektronů. Vedle oxidace probíhá v této oblasti také nitrifikace. Během procesu nitrifikace dochází k biochemické oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany a dále na dusičnany. Nitrifikace probíhá v oxických podmínkách za pomoci nitrifikačních bakterií, které využívají CO_2 jako zdroj uhlíku a energii získávají oxidací amoniakálního dusíku.

Nitrifikace probíhá ve dvou fázích – nitritace a nitratace. Během nitritace dochází k oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany. Na tomto procesu se podílí bakterie rodu *Nitrosomonas*, které mají menší růstovou rychlost než bakterie podílející se na procesu nitratace. Během druhé reakce dochází k nitrataci. Zde probíhá oxidace dusitanů na dusičnany pomocí bakterie rodu *Nitrobacter*. Průběh nitrifikace je znázorněn v Tab. 2 [9], [10].

Tab. 2 Průběh nitrifikace [10]

Stupeň	Proces	Reakce	Rod bakterií	Růstová rychlost
první	nitritace	$2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	<i>Nitrosomonas</i>	menší
druhý	nitratace	$2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^-$	<i>Nitrobacter</i>	větší
celkově	nitrifikace	$\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$		

2.8.2 Anoxická oblast

V anoxické oblasti není přítomen rozpuštěný kyslík, ale jsou zde přítomny oxické sloučeniny dusíku - dusitany a dusičnany. Konečným akceptorem elektronů je pak dusík ve formě dusitanů a dusičnanů. Tím při oxidaci organických látek dochází k denitrifikaci [9].

Denitrifikace je biochemický proces redukce dusičnanů na oxidy dusíku a dále až na elementární dusík. Ten je následně odvětráván do ovzduší, a tím je z vody odstraňován. Denitrifikace navazuje na proces nitrifikace z důvodu odbourání jejího konečného produktu – dusičnanů. V případě, že by tomu tak nebylo, došlo by pouze ke změně amoniakální formy dusíku na dusičnany a celkový dusík na odtoku by byl stejný jako na nátoce. Dále by v dosazovací nádrži docházelo k redukci dusičnanů na plynný dusík. To by způsobilo změnu podmínek z aerobních na anoxické a takto uvolněný dusík by stoupal k hladině a nesl s sebou vločky kalu, které by se tak dostaly do odtoku [10].

2.8.3 Anaerobní oblast

V anaerobní oblasti není přítomen kyslík, ani oxické dusíkaté sloučeniny. Konečným akceptorem elektronů jsou organické sloučeniny, jejichž jedna část je oxidována a druhá redukována [9].

2.8.4 Technologie sekundárního stupně čištění

Jak již bylo zmíněno výše, hlavní proces probíhající během biologického čištění odpadních vod je nazýván aktivační proces. Během tohoto procesu, vlivem působení mikroorganismů, dochází k tvorbě aktivovaného kalu. Tvorba aktivovaného kalu spočívá v růstu mikroorganismů, tím dochází k odstranění substrátu z roztoku a ke zvyšování koncentrace kalu v systému.

Nejčastěji využívanou technologickou variantou biologického čištění jsou aktivační nádrže.

2.8.4.1 Aktivační nádrž

V aktivační nádrži dochází ke tvorbě aktivovaného kalu. Aktivovaný kal je tvořen shlukem mikroorganismů, většinou bakterií, které jsou agregovány takzvanou bioflokulací. Bioflokulace představuje zbytnění buněčné stěny bakterií tvorbou extracelulárních polymerů, složených převážně z polysacharidů, bílkovin a dalších organických látek. Bioflokulace probíhá za provzdušňování odpadní vody v aktivační nádrži a za přítomnosti aerobních bakterií.

Směs aktivovaného kalu a odpadní vody odtéká z aktivační nádrže do dosazovací nádrže. Zde se tyto dvě složky oddělí pomocí sedimentace. Vyčištěná odpadní voda odtéká do dalších technologických kroků čistírny, zahuštěný aktivovaný kal je vrácen zpět do aktivační nádrže z toho důvodu, aby mohl probíhat čistící proces. Nadbytek aktivovaného kalu je ze systému odváděn jako kal přebytečný [10].

2.9 Kalové hospodářství

Kalové hospodářství představuje důležitou součást čistíren odpadních vod. I když kaly představují pouze 1 – 2 % objemu čistěných vod, obsahují 50 – 80 % znečištění, které je přiváděno odpadními vodami do čistíren. Z tohoto hlediska je kalové hospodářství spojeno s vysokými finančními náklady, které se promítají do ceny čištění odpadních vod. Zpracování kalů totiž představuje přibližně 50 % provozních nákladů čistíren [20].

Biologicky odbouratelné látky, které byly v biologickém stupni čištění zredukovány, jsou kumulovány v čistírenských kalech. Kal představuje směs pevných látek a vody, která je různými metodami oddělována z odpadních vod. Podle toho, z jaké části systému kalového hospodářství je kal odebrán, rozlišujeme kal primární, sekundární a terciární [10].

2.9.1 Primární kal

Primární kal je oddělován od surové vody v usazovacích nádržích. Jeho složení závisí především na charakteru přiváděné odpadní vody a na vlastnostech stokové sítě. Převažuje spíše biologický charakter. Kal představuje šedou suspenzi s pevnými částicemi o různých velikostech. Koncentrace těchto částic v primárním kalu je mezi 2 – 7 %. Vzhledem k tomu, že primární kal obsahuje velké množství organických látek a mikroorganismů, dochází neustále k rozkladným biochemickým procesům i po jeho separaci. Rozkladné procesy probíhající

v primárním kalu mohou být identifikovány změnou zbarvení kalu do tmavošedé či černé barvy nebo nepříjemným zápachem [9], [21].

Složení primárního kalu je podle zastoupení jednotlivých typů organických látek znázorněno v Tab. 3.

Tab. 3 Složení primárního kalu podle zastoupení jednotlivých typů organických látek [9]

Parametr	Obsah (hmotnostní %)
Tuky (extrahovatelné látky)	5,7 – 44,0
Bílkoviny	19,0 – 28,0
Celulóza, hemicelulóza, lignin	12,8 – 25,4
Huminové látky	do 4,0
N _{celk.}	2,0 – 4,5
P _{celk.}	0,5 – 2,1
Fe	2,1 – 3,5
Al	1,3 – 2,5
Anorganická složka celkem	25,0 – 30,0

2.9.2 Sekundární kal

Sekundární kal, nazývaný také přebytečný, je oddělován během biologického stupně čištění z dosazovacích nádrží. Obsahuje přebytečnou biomasu, a také zbytky organických látek, které nebyly rozloženy. Složení sekundárního kalu je dáno skladbou surové odpadní vody a použitým způsobem čištění [10].

Složení sekundárního kalu je popsáno v Tab. 4.

Tab. 4 Složení sekundárního kalu [9]

Parametr	Obsah (hmotnostní %)
Uhlík v organické složce biomasy	47,0 – 52,0
Kyslík v organické složce biomasy	31,0 – 38,0
Vodík v organické složce biomasy	7,0 – 8,0
Dusík v organické složce biomasy	7,0 – 11,0
Fosfor v organické složce biomasy	1,1 – 2,6
Anorganické látky	30,0 – 40,0

Produkce sekundárního kalu je závislá na několika faktorech, jako je například technologický návrh biologického stupně čištění, stáří kalu, teplota vody či účinnost dosazovací nádrže [9].

2.9.3 Terciární kal

Terciární kál, též nazývaný kal chemický, je produktem srážecích reakcí, které se využívají ke snížení obsahu fosforu ve vyčištěné vodě, v odděleně upravované kalové vodě či ke zlepšení sedimentačních vlastností kalů. S ohledem na to, že k procesům mohou být použity různé

chemické látky, se liší složení i množství terciárního kalu. Podle toho, kde se srážení aplikuje, může být terciární kal součástí primárního či sekundárního kalu. V případě, že srážení probíhá odděleně, vzniká samostatný terciární chemický kal. Samostatný kal se tvoří například v terciárním stupni čištění odpadních vod [9].

2.9.4 Zpracování čistírenských kalů

Čistírenské kaly tvoří skupinu odpadů, které jsou charakteristické velkým množstvím hmoty. Její redukování představuje velký ekonomický a technický problém.

Kaly mohou obsahovat až 99 % vody, což znemožňuje jejich likvidaci. Pro jejich další zpracování je tedy potřeba přebytečnou vodu odstranit [22].

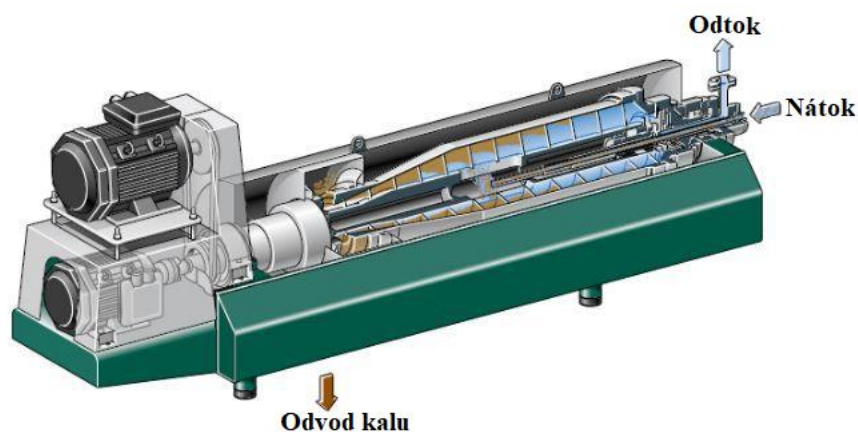
2.9.4.1 Zahušťování kalu

Jedná se o první a velmi důležitý proces při zpracování kalu v kalovém hospodářství. Během zahušťování kalu dochází k odstranění části volné vody. Obsah sušiny po zahuštění by se měl ideálně pohybovat mezi 4,5 až 6 %. S tímto obsahem sušiny má kal tekutou konzistenci, která je potřebná pro jeho snadné čerpání k dalšímu zpracování [9], [10].

V městských ČOV se primární a přebytečný kal zpracovávají dohromady jako směs. Přebytečný kal je veden z dosazovací nádrže do nádrže usazovací, kde dochází ke smíchání s kalem primárním. Vzniklý směsný kal je veden do zahušťovací nádrže, kde dochází ke snížení obsahu sušiny kalu na požadovanou hodnotu [23].

Zahušťování může být uskutečňováno gravitačně či strojně. Gravitační zahušťování je prováděno pomocí prosté sedimentace v nádržích. Strojní zahušťování probíhá v odstředivkách nebo v různých typech zahušťovačů.

Odstředivky na zahušťování kalů představují přístroje o malé velikosti, které mají malou spotřebu provozní vody na proplach. Současně během jejich provozu nedochází k úniku aerosolů či zápachu z kalů. Naproti tomu mají odstředivky vysoké investiční, ale i provozní náklady. Kvalita zahuštěného kalu je dána počtem otáček – čím vyšší otáčky, tím vyšší účinnost. Použitím odstředivek lze dosáhnout hodnot sušiny v kalu 4 – 6 % [9], [10].

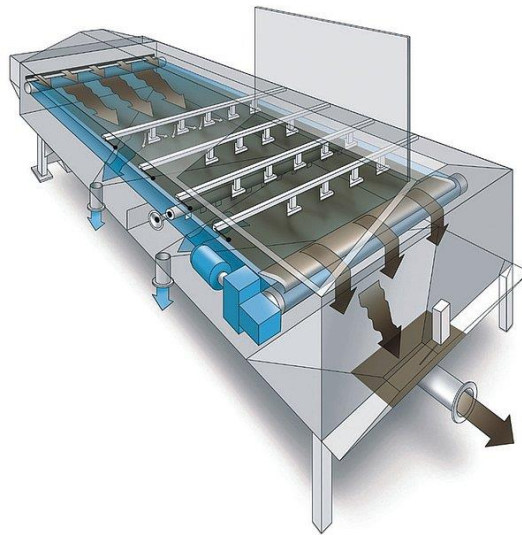


Obr. 9 Zahušťovací odstředivka [51]

Dalšími zařízeními pro zahušťování kalu jsou zahušťovače, které pracují na principu filtrace přiváděného kalu přes síto za přídavku flokulantu. Flokulanty jsou chemické látky, které podporují shlukování nejmenších částic do vloček. Díky flokulantům se výrazně urychlí oddělování částic od kapaliny. Potřebné množství přidávaného flokulantu závisí na druhu kalu a typu zahušťovače. V případě, že je koagulace nedokonalá, spotřeba flokulantu se zvyšuje [10], [24].

Zahušťovače fungují v cyklech, ve kterých dochází k pozastavení filtrace tzv. propíráním síta. Výhodou zahušťovačů jsou nízké provozní náklady a malá spotřeba energie. Pomocí tohoto zařízení můžeme dosáhnout 6% obsahu sušiny kalu.

Příkladem zahušťovače je pásový zahušťovač. Zařízení pracuje na principu založeném na pohybu kalu po nekonečném sítu, které je vedeno přes nosné válce. Shluky vloček kalu zůstávají na sítu, naopak voda, která sítem projde, je odváděna. Zahuštěný kal na konci procesu odpadáva [10].



Obr. 10 Pásový zahušťovač [52]

2.9.4.2 Stabilizace kalu

Jedná se o proces, který upravuje konečné vlastnosti kalu tak, aby byl vhodný pro další využití. Ve stabilizovaném kalu je množství rozložitelných organických látek a biologická aktivita kalu snížena na takovou hodnotu, že nedochází ke spontánnímu biologickému rozkladu.

Stabilizace kalu může být prováděna několika způsoby, a to biologicky (anaerobní či aerobní fermentace), termicky či chemicky.

Anaerobní fermentace neboli methanizace či vyhnívání představuje proces probíhající v anaerobních podmínkách pomocí mikroorganismů, které jsou schopny rozkládat biologicky rozložitelné organické látky obsažené v surovém kalu. Během tohoto procesu je uvolňován bioplyn. Anaerobní fermentace probíhá ve vyhnívacích nádržích, ze kterých je kal s časovým odstupem vypouštěn a dále je nahrazen čerstvým surovým kalem. Část vyhnívaného kalu v nádrži zůstává, aby došlo k promíchání a ke styku anaerobních bakterií s organickou hmotou ze surového kalu [10], [25], [26].

Aerobní stabilizace probíhá za aerobních podmínek pomocí mikroorganismů, které oxidují organickou hmotu na CO_2 a H_2O . Stabilizace může být uskutečňována ve stejné nádrži, ve které

probíhá aktivační proces nebo v samostatných nádržích. V případě, že probíhá v aktivační nádrži, dochází k prodloužení doby zdržení kalu v nádrži na více než 25 dní. Množství kyslíku dodávaného do systému závisí na množství rozložené organické hmoty.

Termická stabilizace probíhá v nádržích válcovitého tvaru. Během termické stabilizace je využíváno reakčního tepla, které je uvolněno při biochemických reakcích rozkladu organických látek. Nádrže jsou provzdušňovány kyslíkem či vzduchem, díky čemuž lze dosáhnout teploty 60 – 80 °C. Vysoké teploty zabezpečují dobrou hygienizaci kalu [10].

V průběhu chemické stabilizace nastává zvýšení pH kalu na hodnotu 12 a výše přidáváním oxidu nebo hydroxidu vápenatého. Vlivem působení alespoň 2 hodin při této hodnotě pH dojde k zániku patogenů, avšak organická hmota nebude rozložena. Chemická stabilizace nepatří mezi často využívané metody, jelikož po snížení pH - působením vzdušného CO₂ se kal stane opět septickým [25].

2.9.4.3 Odvodňování kalu

Odvodňování kalu slouží k dalšímu snížení obsahu vody v kalu, a tím i jeho celkového objemu. Odvodněný kal obsahuje 20 – 50 % sušiny, má pevnou konzistenci podobnou zemině. Z důvodu vysoké finanční náročnosti finálního zpracování kalu, je vhodné k redukci objemu kalu využívat odvodnění. Díky tomu dojde ke snížení nákladů na likvidaci kalu.

Odvodňování může být přirozeného či strojního typu. Přirozené odvodňování probíhá na kalových polích, která představují mělké nádrže s betonovým dnem, na němž se nachází filtrační vrstva ze šterku a písku. V této vrstvě se nachází drenáž, která odvádí odseparovanou vodu z kalu. Po získání požadovaného odvodnění je kal transportován k finálnímu zpracování [10], [25].

Před strojním odvodněním je potřeba kaly upravit takovým způsobem, aby se částice kalu shlukovaly do vloček. Pro tyto potřeby se využívá termická a chemická úprava. Během termické úpravy dochází ke zvýšení teploty nad 100 °C za vysokého tlaku a během chemické úpravy je přidáván anorganický či organický flokulant v tekutém stavu.

Příkladem strojního odvodnění jsou kalolisy. Jedná se o komorové lisy, ve kterých probíhá tlaková filtrace s přerušovaným provozem. Zařízení obsahuje několik filtračních desek obalených filtračními plachetkami. Během plnění kalolisu kalem se od sebe desky vzdálí. Po naplnění kalolisu dojde ke stlačení komor s kalem, přebytečná voda je odváděna filtrace přes plachetky. Tlak vyvinutý ke stlačení dosahuje 1 – 1,6 MPa. Po opětovném oddálení desek dojde k vypadnutí odvodněného kalu vlivem gravitace [10].



Obr. 11 Kalolis [53]

Jednou z novodobých metod odvodnění stabilizovaných kalů je využití mokřadních rostlin. Princip této metody spočívá ve využití transpirační schopnosti rostlin k vegetaci v anaerobním prostředí za přívodu kyslíku do kořenové zóny a ke tvorbě biomasy díky využívání nutrientů z kalů. Metoda probíhá ve vybudovaných kalových lagunách, které jsou od okolního prostředí odděleny ochrannou geotextilií. Pro výzkum byl využit rákos obecný či orobinec širokolistý [27].

2.9.4.4 Hygienizace kalu

Za hygienizovaný kal považujeme kal, který podstoupil takovou úpravu, že množství patogenních mikroorganismů bylo sníženo na požadovanou hodnotu [26].

Mezi patogenní mikroorganismy, nacházející se běžně v kalech, patří například bakterie *Salmonella*, koliformní bakterie či enterokoky.

Hygienizace kalu představuje důležitý technologický proces, bez kterého by nebylo možné kal následně využít například v zemědělství jakožto složku hnojiv nebo přímou aplikací do půd. Přirozený proces hygienizace probíhá také během některých metod stabilizace kalu.

Jednou z metod hygienizace kalu je pasterizace. Jedná se o proces, během kterého je kal na krátkou dobu zahřát na určitou teplotu, například na 70 °C na 30 minut. Minimální teplota vhodná pro pasterizaci je 60 °C, ideální je teplota mezi 65 – 70 °C.

Radiace představuje další metodu hygienizace kalu. Během ní dochází k ozařování kalu pomocí paprsků beta nebo gama [10].

2.9.5 Využití čistírenských kalů

Důležitou podmínkou dalšího využití kalu je jeho stabilizace a hygienizace. Kal může být likvidován či dále využit, přičemž více preferovaná je možnost dalšího využití. To platí ale jen v případě, že kal neobsahuje například těžké kovy, které zabraňují využití v zemědělství [9], [25].

2.9.5.1 Využití kalu v zemědělství

Jedná se o nejčastější způsob dalšího využití kalu, protože čistírenský kal obsahuje velké množství látek potřebných k růstu rostlin. Jedná se o organické látky, dusík, fosfor či vápník. V zemědělství se proto využívá jako hnojivo. Výhodami tohoto využití je recyklace odpadního produktu čistíren, zvyšování množství živin v půdě, zlepšení sorpčních vlastností půdy díky obsahu organických látek. Naopak nevýhodami využití může být riziko přenosu patogenů na člověka či zvířata, zvyšování koncentrace těžkých kovů a jiných nežádoucích látek v půdách, zápach. Podmínky pro využití kalu v zemědělství jsou definovány v zákoně o odpadech č. 541/2020 Sb. pod §68.

Dalším způsobem využití kalu v zemědělství je jeho kompostování. Jedná se o proces rozkladu organické hmoty pomocí termofilních anaerobních mikroorganismů. Vlivem vyšší teploty při kompostování v podstatě dochází k druhotné stabilizaci a hygienizaci. Tento proces probíhá v kompostárnách, kde je kal nejdříve doplněn o plnivo (piliny, kůra) a následně je takto připravená směs vytvarována do komolého jehlanu. Při kompostování dochází vlivem rozkladu organických látek k uvolňování tepla. Teplota ohřívaného materiálu může dosahovat až 80 °C

a je udržována po dobu 21 dní. Během této doby jsou vrstvy kompostu několikrát proházeny kvůli dostatečné homogenizaci materiálu [10], [25], [28].



Obr. 12 Kompost [58]

2.9.5.2 Využití kalu ve stavebnictví

Tento způsob využití kalů je vhodný pro kaly s obsahem nežádoucích látek, jako jsou například těžké kovy či polychlorované bifenylly. Tyto kaly jsou v omezeném množství přidávány do některých stavebních materiálů, mezi které patří cihly a cement. Ke zpracování těchto materiálů se využívá vysokých teplot, díky kterým jsou nežádoucí látky spáleny, a naopak anorganický podíl kalu v materiálu zůstává [10].

2.9.5.3 Spalování a skládkování kalu

Kaly, které z důvodu obsahu nežádoucích látek nelze zpracovat předchozími procesy, je nutné úplně likvidovat. K těmto účelům se využívá spalování a skládkování.

Spalování probíhá ve spalovnách tuhého komunálního odpadu, spalovnách kalů či cementárnách. Během spalování dochází k oxidaci organické hmoty na CO_2 a H_2O , voda je následně vypařena a patogeny zničeny. Nevýhodou této metody je vznik spalin, které musí být kontrolovány a čištěny. Vzniklý popel je následně skládkován.

Během skládkování dochází k uložení kalu na skládkách komunálního odpadu. Skládkování lze využít pouze tehdy, pokud kal vyhovuje všem legislativním požadavkům [10].

2.10 Terciární stupeň čištění

Na většině komunálních čistíren odpadních vod je sekundární stupeň čištění stupněm konečným a biologicky vyčištěná voda následně odchází do vodního recipientu. V současné době se ale zpříšňují limity týkající se množství některých nutrientů a dalšího znečištění ve vodě na odtoku z čistíren. V nové podobě vodního zákona, který bude platit od roku 2024, bude nařízena povinnost zařadit terciární stupeň čištění na každou čistírnu odpadních vod v České republice,

kteřá přesahuje kapacitu 10 000 EO. Toto nařizení nyní platí pouze pro čistírny odpadních vod, s kapacitou větší než 100 000 EO [29].

Terciární stupeň čištění slouží k dodatečnému snížení obsahu znečištění ve vyčištěné vodě. Mezi technologie terciárního stupně čištění patří filtrace či další membránové procesy sloužící k separaci nerozpuštěných látek nebo také chemické srážení fosforu. Technologie terciárního stupně čištění jsou schopny odstranit také patogeny, dochází tak k částečné hygienizaci vody. Technologie terciárního stupně pracují na principu doplňujícího biologického či fyzikálně – chemického procesu [30].

2.10.1 Membránové procesy

Základním principem těchto procesů je průchod molekul vody a částic o určité velikosti či náboji polopropustnými membránami. K těmto procesům řadíme filtrace, mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmózu. Filtrace a mikrofiltrace představuje mechanický záchyt částic, které jsou větší než velikost otvorů ve filtrační tkanině. U ostatních typů filtrací se navíc uplatňuje působení adsorpčních a dalších sil.

Typ polopropustné membrány je určován velikostí částic, které je schopna zachytit. Jednotlivé typy membránových procesů zobrazuje *Tab. 5*.

Tab. 5 Typy membránových procesů [25]

Proces	Velikost zachycených částic
Mikrofiltrace	> 0,1 μm
Ultrafiltrace	10 – 100 nm
Nanofiltrace	1 – 10 nm
Reverzní osmóza	0,1 – 1 nm

Látky mají sklon k vyrovnání koncentrace v celém svém roztoku, ve kterém se nacházejí. To platí pouze za předpokladu, že jim v tom nebrání přepážka, kterou může představovat polopropustná membrána. Tento sklon je vyjadřován osmotickým tlakem. V případě, že na jedné straně membrány působíme mechanickým tlakem, roztok poté proniká skrz membránu a částice, které jsou větší, než otvory membrány se na této membráně zachycují a jejich koncentrace se zde zvyšuje. Zmíněný mechanický tlak, ale musí překonat tlak osmotický, působící v opačném směru, a který se zvyšuje se zvětšujícím se rozdílem látkových koncentrací na obou stranách membrány. Velikost mechanického tlaku tedy stoupá s množstvím zachycených látek na membráně.

Membrány by měly mít vysokou rozdělovací schopnost, průtočnost a mechanickou pevnost. Měly by mít odolnost vůči čištění, chemickým přípravkům a vůči bakteriím. V neposlední řadě také dlouhou dobu životnosti a nízkou cenu. Tyto vlastnosti poté zajistí technicky přijatelný a ekonomický provoz dané technologie. Nejčastěji využívané materiály pro výrobu membrán jsou upravené přírodní látky, jako jsou například acetáty celulózy nebo syntetické organické polymery typu polypropylen či polyamidy [25].

Téma mikrofiltrace je blíže popsáno v kapitole 2.11.

Ultrafiltrace slouží pro záchyt částic o velikosti od 10 nm do 0,1 μm . Nachází tedy využití v čištění olejových emulzí, při separaci hydroxidu kovů či zachycení virů. Dále může být ultrafiltrace využita při čištění odpadních vod z textilního průmyslu či prádelen. Principem je mechanické zachycení částic, které může probíhat dvojím způsobem. První způsob představuje separaci částic, které jsou větší než póry membrány - ty zůstávají na povrchu membrány. Naopak částice, které jsou menší, pronikají do pórů a adsorbují se na jejich povrchu. Čištění membrán záleží na velikosti separovaných částic. V případě, že jsou separovány částice větší než póry membrány, dochází k obyčejnému zpětnému proplachu. Pokud probíhá separace částic menších než velikost pórů, je využíván takzvaný chemicky posílený proplach.

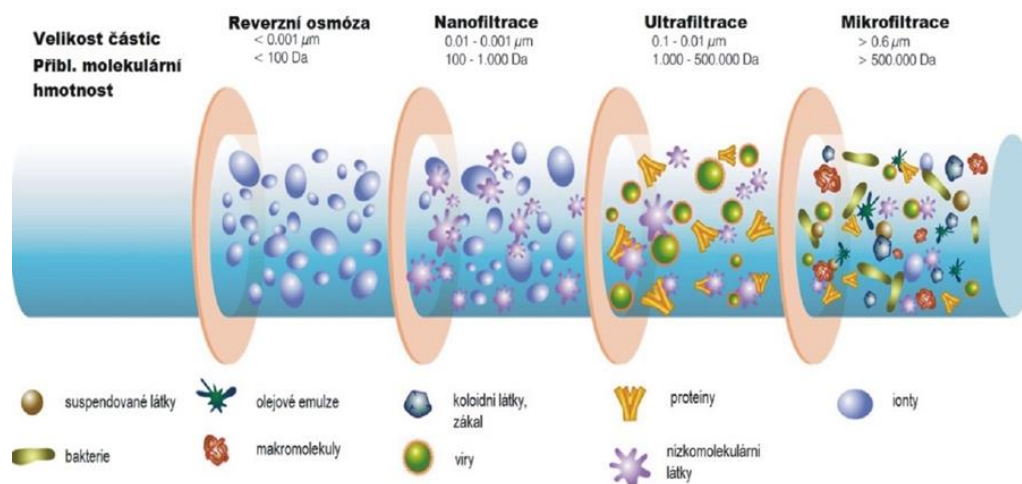
Membrány jsou tvořeny dvěma vrstvami – aktivní separační vrstvou s tloušťkou 0,1 až 0,5 μm a silnější podpurnou vrstvou s tloušťkou 150 – 300 μm . Materiálem vrstev jsou polymery. Nejvyužívanějším typem ultrafiltračních membrán jsou membrány s dutými vlákny [25], [31].



Obr. 13 Ultrafiltrační jednotka a ultrafiltrační membrány [54]

Nanofiltrace je využívána pro záchyt částic o velikosti od 1 do 10 nm, jako jsou například rozpustné organické sloučeniny. Dále jsou nanotechnologie schopny odstranit i pesticidy a mikroplasty, naopak minerály typu hořčík, vápník či draslík ve vyčištěné vodě zůstávají. Nanofiltrace umožňuje zakoncentrování roztoků a částečné odseparování solí. Nachází využití v čištění odpadních vod z organických syntéz nebo v čištění vod z chladících věží. Vyrábí se tubulární, vinuté a deskové nanofiltrační membrány [25], [32].

Reverzní osmóza představuje tlakový membránový proces, při kterém dochází k oddělení částic o velikosti 0,1 – 1 nm. Separace probíhá na základě rozdílné rozpustnosti a difúze rozpouštědla a rozpuštěných látek v membráně. V ideálním případě dochází pouze k průchodu rozpouštědla membránou a mikroorganismy, ionty a koloidy jsou z vody odseparovány. Membrána reverzní osmózy je tvořena homogenní maticí s neporézním a polymerním charakterem. Nejčastěji je vyráběna z polymerů typu polysulfony (PSU) či acetáty celulózy (CA). Moduly membrán jsou složeny z dutých vláken či z vinutých plátů [25], [33].



Obr. 14 Separční vlastnosti membránových procesů [55]

2.11 Mikrofiltrace

Mikrofiltrace představuje další z metod membránových procesů, který je využíván k zakoncentrování či čištění různých roztoků. Mikrofiltrace je také často využívána jako metoda předčištění pro další membránové procesy typu ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza. Jedná se o mechanický proces zachycení látek z odpadních vod pomocí síťového mechanismu.

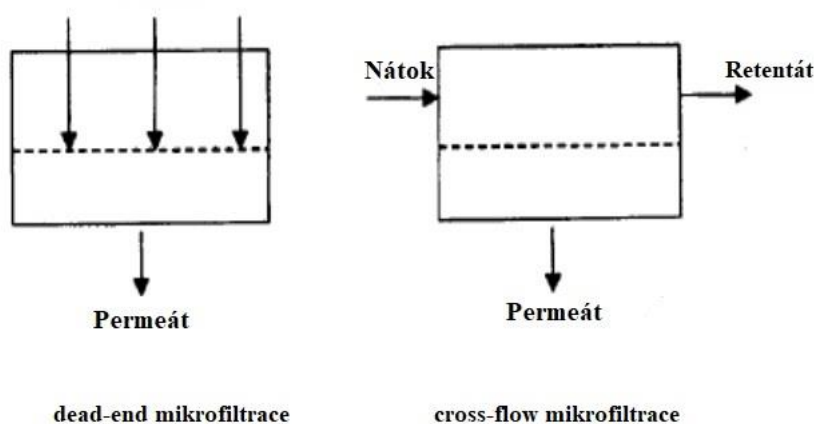
Mikrofiltrační membrány jsou schopné z odpadních vod odstranit částice větší než 0,1 μm, jako jsou například makromolekuly, prvoci, řasy a nerozpuštěné látky. Naopak mikroskopické částice, atomy, ionty či viry membránami procházejí a jejich odstranění z odpadních vod je potřeba provést navazujícími membránovými procesy. Pro odstranění rozpuštěných látek je potřeba nejprve předúprava vody, která zajistí shluk těchto částic do vloček a jejich následný záchyt na membráně. Množství částic, které projde mikrofiltrační membránou, je dáno velikostí pórů membrány.

Rychlost proudění roztoků skrz membránu se snižuje s časem. To je dáno ulpíváním částic na membráně a v ní. Současné technologie jsou vybaveny systémy, které po detekci zvýšené hladiny před membránou spustí její oplach a rychlost průtoku se opět zvýší.

Mikrofiltrační membrány jsou nejčastěji vyráběny z polymerních materiálů typu polyester (PES) či polypropylen (PP) [25], [34], [35], [36].

Rozlišujeme dva typy mikrofiltrace. Takzvanou dead – end mikrofiltraci a cross – flow mikrofiltraci. Při dead – end mikrofiltraci je proud kapaliny veden kolmo na membránu, kapalina a částice menší, než póry membrány jí prochází, a naopak částice větší jsou na ní zadržovány a vytváří filtrační koláč. Při uspořádání typu cross – flow je proud kapaliny veden rovnoběžně s povrchem membrány, menší částice společně s částí kapaliny prochází membránou. Větší částice, které neprojdou póry membrány, jsou odváděny dále proudem kapaliny a následně dochází k jejich zahuštění. Proces pronikání látek membránami se nazývá permeace. Směs, která je schopná projít membránou se nazývá permeát. Zbývající směs, která

membránou neprošla a byla zachycena na jejím povrchu se nazývá retentát. Typy mikrofiltrace jsou zobrazeny na Obr. 15 [37], [38].



Obr. 15 Typy mikrofiltrace dle [36]

2.11.1 Technologie mikrofiltrace

Technologie mikrofiltrace jsou založeny na principu běžné filtrace, rozdílem je pouze velikost částic, které membránami prochází. Membrány mikrofiltrace jsou schopny separovat částice od velikosti 0,1 μm .

K technologiím mikrofiltrace se řadí mikrosítový bubnový a diskový filtr vyráběné společností IN-EKO TEAM s.r.o., které spadají do dead-end mikrofiltrace.

Mikrosítový bubnový (FB) a diskový filtr (FD) jsou vhodné pro odstranění nerozpuštěných látek v komunálních ČOV, ale také například v rybích farmách, v potravinářském či papírenském průmyslu. Tyto filtry mohou být využity také při recyklaci chladicí vody v elektrárnách.

FB a FD jsou vyráběny ve dvou provedeních – do betonového kanálu a do ocelové vany [39].

2.11.1.1 Mikrosítový bubnový filtr (FB)

FB představuje filtrační zařízení, jehož filtrační část – filtrační buben – je tvořena filtračními obloučky. Nad filtračním bubnem se nachází oplachový systém a uvnitř bubnu kalový žlab. Filtr je opatřen krytem, který chrání všechny součásti filtru před povětrnostními vlivy.

Filtrační tkanina je přichycena na obloučku plastovou kostrou. Nejčastějším materiálem filtračních tkanin je polyester typu polyethylentereftalát (PET), s póry od 20 do 500 μm . Méně často využívané jsou tkaniny z nerezavějící oceli s póry od 20 do 60 μm .

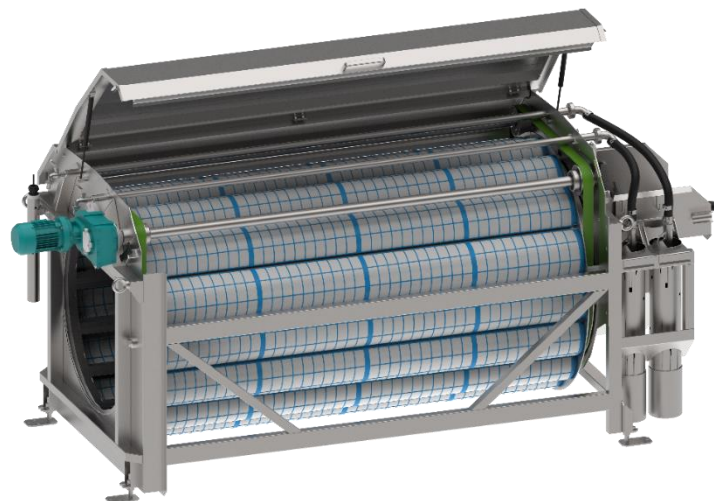
Oplachový systém filtru je tvořen potrubím s tryskami a slouží k přesunu nečistot z filtrační tkaniny do kalového žlabu. Oplachovým médiem je filtrem vyčištěná voda, která je do oplachového systému čerpána čerpadlem. Spuštěním oplachového systému se zvýší průtočnost tkaniny.

Principem FB je přítok vody s tuhými nečistotami do vnitřního prostoru filtračního bubnu. Nečistoty, které jsou větší než póry membrány, jsou zachytávány na vnitřní straně tkaniny a vyčištěná voda protéká přes filtrační tkaninu. S postupným přitékáním znečištěné vody se filtrační tkanina zanáší a hladina uvnitř i vně bubnu stoupá. Jakmile výška hladiny vody uvnitř

bubnu nastoupá do tzv. zapínací hladiny, je tato výška identifikována hladinovou sondou a buben filtru se začne otáčet. Současně s otáčením bubnu filtru se spustí oplachový systém a nečistoty ulpěné na filtrační tkanině jsou strhávány proudem oplachové vody. Nečistoty spolu s oplachovou vodou padají do kalového žlabu, odkud jsou odváděny do kalové jímky mimo filtr. Tím dojde k očištění tkaniny a k poklesu hladiny uvnitř bubnu. Filtr se přestane otáčet a tím začíná další filtrační proces. K tomuto procesu dochází automaticky. Kal přiváděný do kalové jímky je následně čerpán gravitačně nebo pomocí čerpadla. Hladina kalu v jímce je snímána kalovou sondou, která po dosažení určité hladiny spustí čerpání kalu.

V případě malého nátoku vody do filtru, který není identifikován hladinovou sondou, dochází ke spuštění preventivního oplachu filtru. Tento oplach je naprogramován z toho důvodu, aby zůstala filtrační tkanina funkční a nedocházelo tak k jejímu vysychání či zarůstání.

Díky využití již vyčištěné vody k proplachu tkanin, není nutné, aby byl filtr vybaven dodatečnými záchytnými nádobami pro oplachovou vodu. To vede ke snížení investičních nákladů a ekologickému využití vody. Dále díky automatickému zapínání a vypínání filtru dochází ke snížení spotřeby elektrické energie. Mikrosítový bubnový filtr v provedení do betonového kanálu je znázorněn na Obr. 16 [40].



Obr. 16 Mikrosítový bubnový filtr (FB) v provedení do betonového kanálu [40]

2.11.1.2 Diskový filtr (FD)

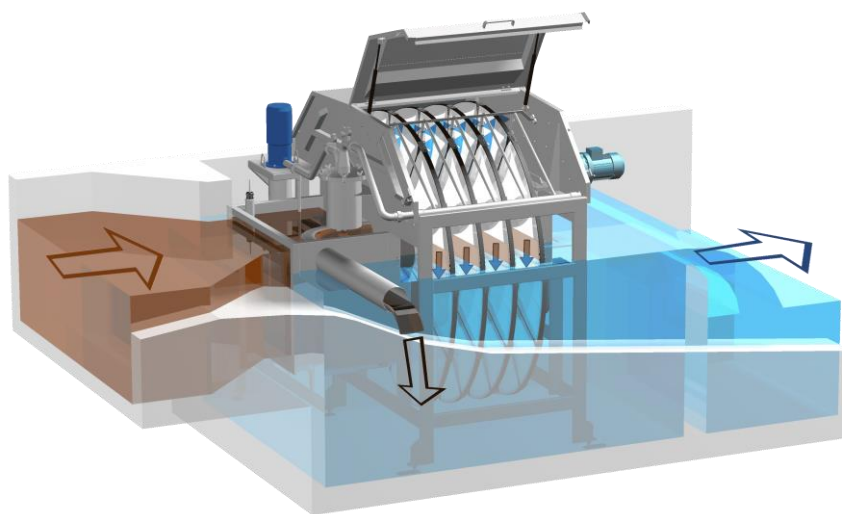
FD slouží k filtraci odpadní vody. Jeho filtrační část je tvořena hřídelí s filtračními segmenty. Mezi disky filtru se nachází oplachový systém s tryskami a uvnitř hřídele kalový žlab. Filtr je vybaven krytem, který slouží k ochraně filtru.

Jeden disk filtru se skládá z 12 filtračních segmentů, které mají tvar kruhové výseče. Segmenty jsou vyráběny z ABS plastu (akrylonitrilbutadienstyren) a doplněny o filtrační tkaninu z PET. Velikosti pórů filtrační tkaniny jsou 5, 10, 20, 30, 40 nebo 60 μm .

Oplachový systém slouží k přenosu nečistot zachycených na tkanině filtru do kalového žlabu. Stejně jako u FB je oplachovým médiem přefiltrovaná voda, ta je ale oproti FB přefiltrována externě ve filtru oplachu. Tato filtrace je důležitá z důvodu zabránění ucpaní trysek. Oplachový

system je doplněn o oplachovou rampu, složenou z oplachových ramen, které zasahují mezi disky filtru.

Princip FD je obdobný jako u FB. Dochází k nátoku znečištěné vody do vnitřního prostoru hřídele diskového filtru a dále do filtračních segmentů. Nečistoty jsou zachytávány na vnitřní straně segmentů a čistá voda protéká přes filtrační tkaninu. Prostupem znečištěné vody dochází k zanesení filtrační tkaniny, tím dochází ke zvýšení hladiny vody před a uvnitř filtru. Stejně jako u FB dochází k identifikaci výšky hladiny hladinovou sondou, ta spustí otáčení filtru a současně i jeho oplach. Nečistoty jsou oplachovou vodou odváděny do kalového žlabu a dále do kalové jímky. Kal je v kalové jínce monitorován kalovou sondou, která v případě potřeby spustí čerpání kalu z jímk. Princip diskového filtru se nachází na Obr. 17 [41].



Obr. 17 Diskový filtr (FD) a jeho princip [56]

2.12 Ukazatele znečištění odpadních vod

Ukazatele znečištění odpadních vod hrají důležitou roli v posouzení jejich závadnosti při vypouštění do vod povrchových. Jejich výčet a limity se nachází v nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [13].

2.12.1 Chemická spotřeba kyslíku CHSK

Chemická spotřeba kyslíku je definovaná jako „*hmotnostní koncentrace ekvivalentního množství dichromanu spotřebovaného rozpuštěnými a nerozpuštěnými látkami ve vzorku vody za určitých podmínek*“ [42].

Chemická spotřeba kyslíku představuje důležitý ukazatel, který je využíván ke stanovení množství organického znečištění v odpadní vodě. Parametr je udáván v mg/l. Je vyjadřován jako hmotnost kyslíku, která byla využita k úplné oxidaci organických látek ve vodě. Test chemické spotřeby kyslíku má široké uplatnění při hodnocení účinnosti procesů probíhajících v čistírnách odpadních vod, které jsou silně zatíženy organickým znečištěním. Další využití testu je například v testování jezerních a říčních vod na organické znečištění.

Pomocí výsledku testu chemické spotřeby kyslíku nelze určit koncentraci konkrétní látky, dochází spíše k měření účinku látek, které jsou vystaveny určitým podmínkám [43].

CHSK lze stanovit dvěma metodami – pomocí dichromanu draselného nebo manganistanu draselného. Pro stanovení CHSK v pitných a podzemních vodách, které obsahují nízkou koncentraci organických látek, se využívá metoda pomocí manganistanu draselného. Pro stanovení CHSK v odpadních vodách se využívá metoda pomocí dichromanu draselného [2].

2.12.2 Biochemická spotřeba kyslíku BSK

Definice biochemické spotřeby kyslíku je popisována jako „*hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného za stanovených podmínek biochemickou oxidací organických a/nebo anorganických látek ve vodě*“ a je vyjadřována v mg/l [44].

Tento ukazatel popisuje, kolik kyslíku bylo mikroorganismy spotřebováno na biochemickou oxidaci za přístupu kyslíku. Obecně platí, že čím je výsledná hodnota BSK vyšší, tím více je odpadní voda znečištěná rozpuštěnými organickými látkami [2].

Hodnota BSK je závislá na době, po kterou byl vzorek vody inkubovaný. Nejčastěji se využívá inkubace po dobu pěti dnů – potom je parametr označován jako BSK₅ [45].

Jak již bylo výše zmíněno, pomocí tohoto ukazatele lze stanovit kapacitu čistíren odpadních vod neboli počet ekvivalentních obyvatel (EO).

2.12.3 Sloučeniny dusíku

Sloučeniny dusíku lze ve vodách nalézt jak v organické, tak i anorganické formě. Koncentrace celkového dusíku je poté dána součtem koncentrací dusíku v obou těchto formách.

Mezi anorganické formy dusíku ve vodách patří dusičnany NO₃⁻, dusitany NO₂⁻ a dále amoniakální dusík ve formě NH₃ nebo NH₄⁺. Mezi sloučeniny obsahující organicky vázaný dusík spadají bílkoviny, močovina či peptidy. Distribuce těchto dusíkatých sloučenin je podmíněna biologickými procesy ve vodách.

Nejvíce dusíku v odpadních vodách nalezneme v močovině, ve které je dusík organicky vázaný. Organické látky, které obsahují vázaný dusík, podléhají biologické hydrolýze, jejímž konečným produktem je amoniakální dusík. Ten se ve splaškových vodách může nacházet až v desítkách mg/l. Amoniakální dusík je ve vodách obsažen buď v disociované (NH₄⁺) nebo nedisociované (NH₃) formě. Vzájemný poměr těchto dvou forem závisí na hodnotě pH a teplotě. Zvýšením teploty a pH vod dochází k disociaci NH₄⁺ na NH₃, a tím i k toxickému účinku na ryby, který je způsoben právě větší koncentrací volného NH₃ [2], [25], [45].

2.12.4 Sloučeniny fosforu

Fosfor se stejně jako dusík v odpadních vodách nachází v anorganické a organické formě. Nejčastěji se fosfor stanovuje jako celkový, ten je dán součtem koncentrací jeho organických a anorganických forem. Celkový fosfor je možné v odpadních vodách nalézt v rozpuštěné či nerozpuštěné podobě.

Mezi anorganické formy fosforu řadíme orthofosforečnany (PO₄³⁻) a polyfosforečnany. Polyfosforečnany se do odpadních vod dostávají z výrobků s komplexotvorným účinkem. Jedná se o prací a mycí prostředky, které jsou vypouštěny například z domácností. Vznik polyfosforečnanů je dán spojením více molekul orthofosforečnanů.

Organické formy fosforu pochází z biologických procesů typu biologického čištění odpadních vod či z rozkladu odumřelých živočichů a rostlin.

Sloučeniny fosforu a dusíku představují nutrienty, které svým zvýšeným výskytem ve vodách způsobují eutrofizaci vod. Proto je jejich koncentrace ve vyčištěných odpadních vodách sledována [25].

2.12.5 Nerozpuštěné látky NL

Jedná se o pevné látky, které lze odstranit filtrací nebo odstředěním. NL jsou schopné sedimentace. Jsou zde řazeny i látky koloidně dispergované [45].

2.12.6 Teplota a pH

Teplota splaškových vod je závislá na aktuálním ročním období, pohybuje se mezi 10 až 20 °C. Čím je teplota vyšší, tím dochází k urychlení biochemických pochodů, které ve vodě přirozeně probíhají.

Hodnota pH ovlivňuje téměř veškeré fyzikálně – chemické, chemické a biochemické procesy, které ve vodách probíhají. Splaškové vody mají pH v rozmezí 7 až 8,5, bývají tedy slabě alkalické [2], [45].

2.12.7 Konduktivita

Konduktivita neboli měrná vodivost představuje ukazatel, pomocí kterého můžeme stanovit celkový obsah rozpuštěných látek a nepřímo také obsah minerálních látek ve vodě. Základní jednotkou je Siemens na metr (S/m). Hodnota konduktivity také určuje míru schopnosti vody vést elektrický proud [46], [47].

2.13 Limity parametrů vody na odtoku z čistíren odpadních vod

V České republice platí nařízení vlády č. 401/2015 Sb. týkající se hodnot ukazatelů znečištění povrchových a odpadních vod. Dále také zahrnuje podmínky povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových, do kanalizací a citlivých oblastí. Maximálně přípustné hodnoty parametrů vypouštěných odpadních vod shrnuje tabulka níže.

Tab. 6 Limity parametrů vody na odtoku z ČOV [13]

Kapacita ČOV (EO)	CHSK _{Cr} (mg/l)	BSK ₅ (mg/l)	NL (mg/l)	N _{celk.} (mg/l)	P _{celk.} (mg/l)
<500	220	80	80	-	-
500 – 2 000	180	60	70	-	-
2 001 – 10 000	170	50	60	-	8
10 001 – 100 000	130	40	50	30	6
>100 000	125	30	40	20	3

Neexistence maximálně přípustné hodnoty daného parametru ve vyhlášce je zdůvodněna následovně: „Neexistence konkrétního emisního standardu nevylučuje možnost stanovení emisního limitu pro daný ukazatel při postupu podle §5 odst. 2 a 3.“

Chybějící emisní limity stanoví vodoprávní úřad maximálně do výše emisních standardů uvedených v Tab. 6. Vodoprávní úřad současně musí při stanovení limitů zohlednit stav dané povrchové vody [13].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použité přístroje, chemikálie a pomůcky

3.1.1 Přístroje a pomůcky

Spektrofotometr Spectroquant[®] Prove 300 (Merck)

Termoreaktor Spectroquant[®] TR 620 (Merck)

Analytické váhy SPB 31 (Scaltec)

pH testr 20 Waterproof (Oakton)

Konduktometr ECTestr 11+ multi-range (Oakton)

Sušárna (Memmert)

Filtry ze skleněných vláken (Whatman, GF/C No. 1822 – 055), aparatura pro filtraci za sníženého tlaku, zkumavky s víčkem, pipety, pipetovací balónky, kádinky, Petriho misky

Sady mobilní analytiky pro stanovení vybraných ukazatelů (Merck)

- stanovení chemické spotřeby kyslíku (1.14541.0001), rozsah 25 – 1500 mg/l
- stanovení celkového fosforu (1.00673.0001), rozsah 3 – 100 mg/l
- stanovení celkového dusíku (1.00613.0001), rozsah 0,5 – 15 mg/l

Sada papírků MQuant pro kolorimetrické stanovení dusičnanů, rozsah 10 – 500 mg/l (Merck)

Sada měřících hlavic pro stanovení biochemické spotřeby kyslíku (OxiTop[®]), míchací tyčinky, lahve na vzorky, termostat pro uchování vzorků

3.2 Odběr vzorků odpadních vod z čistíren

Vzorky byly odebrány z čistíren odpadních vod, které vlastní mikrosítový bubnový filtr či diskový filtr společnosti IN-EKO TEAM s.r.o. Vzorky byly odebrány z místa nátoky a odtoku filtru, tedy před a za filtrem. Odběr byl prováděn zaměstnanci společnosti IN-EKO TEAM s.r.o. Seznam vzorků, jejich označení a datum odběru, je znázorněn v Tab. 7. Jednotlivé vzorky odpadních vod byly odebrány do plastových vzorkovnic a následně byly až do měření uskladněny v lednici při 5 °C.

Tab. 7 Seznam vzorků

Čistírna	Místo odběru	Číslo vzorku	Typ filtru	Datum odběru
ČOV Světnov (1 700 EO)	Nátok	1	Mikrosíťový bubnový filtr	3.11.2022
	Odtok	2		
ČOV Herálec (1 300 EO)	Nátok	3	Mikrosíťový bubnový filtr	3.11.2022
	Odtok	4		
ČOV Světlá nad Sázavou (11 595 EO)	Nátok	5	Mikrosíťový bubnový filtr	3.11.2022
	Odtok	6		
ČOV Trhová Kamenice (1 100 EO)	Nátok	7	Diskový filtr	3.11.2022
	Odtok	8		
ČOV Postřelmov (6 300 EO)	Nátok	9	Mikrosíťový bubnový filtr	18.1.2023
	Odtok	10		
ČOV Ruda nad Moravou (3 000 EO)	Nátok	11	Mikrosíťový bubnový filtr	18.1.2023
	Odtok	12		

3.3 Stanovení vybraných parametrů vzorků

3.3.1 Gravimetrické stanovení nerozpuštěných látek

Pro toto stanovení bylo vybráno stanovení NL 105. Přesně odměřený, homogenizovaný vzorek odpadní vody s nerozpuštěnými látkami prochází filtrační aparaturou s filtrem ze skleněných vláken. Množství nerozpuštěných látek se získá vysušením filtru v sušárně při 105 °C po dobu jedné hodiny a následným vychladnutím filtru v exsíkátoru. Po vychladnutí byl filtr zvážen na analytických vahách s přesností na 4 desetinná místa. Pro stanovení byly zvoleny objemy vzorků 100 ml. Pouze u vzorků č. 7 a 8 byl zvolen objem 50 ml z důvodu velkého množství NL na nátok vzorku.

Výsledky všech vzorků byly vypočítány podle následujícího vztahu a vyjádřeny v mg/l.

$$\rho(NL\ 105) = \frac{1000 \cdot [m_2 - m_1]}{V_0}$$

Kde:

$\rho(NL\ 105)$... hmotnostní koncentrace nerozpuštěných látek (mg/l)

m_1 ... hmotnost filtru před stanovením (mg)

m_2 ... hmotnost filtru s nerozpuštěnými látkami (mg)

V_0 ... objem vzorku použitý pro stanovení (ml)

3.3.2 Stanovení pH a konduktivity

Ke stanovení hodnoty pH byl využit pH metr a ke stanovení konduktivity byl použit konduktometr. Poté, co se hodnota na daném přístroji ustálila, byla odečtena a zapsána.

3.3.3 Stanovení chemické spotřeby kyslíku pomocí sady mobilní analytiky

Stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK) odpovídá normě ČSN ISO 15705 (757521) a reakce probíhá na základě oxidace vzorku odpadní vody v prostředí kyseliny sírové, jehož katalyzátorem je síran stříbrný. Koncentrace vzniklých iontů Cr^{3+} je pak následně stanovena spektrofotometricky.

3 ml homogenizovaného vzorku byly pomocí pipety přidány do zkumavky s reakční směsí. Následně byla zkumavka se vzniklou směsí silně protřepána. Poté byly zkumavky zahřívány při teplotě 148 °C po dobu dvou hodin v termoreaktoru. Po této době byly zkumavky se vzorky nechány volně chladnout na laboratorní teplotu a následně změřeny ve fotometru [42].



Obr. 18 Vzorky umístěné v termoreaktoru [58]

3.3.4 Stanovení biochemické spotřeby kyslíku

Stanovení biochemické spotřeby kyslíku (BSK_5) je založeno na diferenčním měření podtlaku pomocí piezodporového elektronického tlakového čidla. Měření probíhá automaticky s denním ukládáním naměřených dat po dobu 5 dní.

Objem vzorku odpadní vody pro stanovení BSK_5 byl vypočítán s ohledem na výsledek CHSK vzorků (očekávaná hodnota $\text{BSK}_5 = 80 \%$ hodnoty CHSK). Následně byl vyhledán odpovídající měřicí rozsah a faktor v tabulce uvedené v návodu.

Měřicí lahve byly předem vypláchnuty vzorky odpadních vod a následně byly naplněny požadovaným objemem. Do vnitřku lahví byly vloženy magnetické míchací tyčinky a do hrdla

lahve byly nasazeny gumové zátky se schránkou, do které byly vloženy 2 pecičky NaOH. Na měřicí lahve byly našroubovány měřicí hlavice OxiTop[®], měřicí systém byl nastaven podle návodu a takto připravené lahve byly inkubovány 5 dní při teplotě 20 °C. Po pěti dnech měření byly odečteny výsledky.



Obr. 19 Stanovení BSK₅ [58]

3.3.5 Stanovení celkového fosforu pomocí sady mobilní analytiky

Toto stanovení odpovídá normě ČSN EN ISO 6878. V prostředí kyseliny sírové reagují orthofosforečnanové ionty s ionty molybdenanu za vzniku kyseliny fosfomolybdenové. Přidaná kyselina askorbová ji redukuje na fosfomolybdenovou modř, která se následně stanovuje fotometricky [48].

0,20 ml vzorku bylo pomocí mikropipety převedeno do reakční zkumavky. Poté byla přidána 1 dávka reagentu P – 1K (kyselina sírová). Takto připravený vzorek byl po dobu 30 min zahříván v termoreaktoru při 120 °C. Po uplynutí této doby byly vzorky nechány volně chladnout na laboratorní teplotu. Následně bylo přidáno 5 kapek reagentu P – 2K (ionty molybdenanu) a zkumavka byla promíchána. Nakonec byla přidána jedna dávka reagentu P – 3K (kyselina askorbová) a zkumavka byla opět promíchána. Po uplynutí reakční doby 5 min byly vzorky změřeny na fotometru.



Obr. 20 Stanovení celkového fosforu ve vzorku pomocí fotometru [58]

3.3.6 Stanovení celkového dusíku pomocí sady mobilní analytiky

Toto stanovení odpovídá normě ČSN EN ISO 11905-1 (757527). Organické a anorganické sloučeniny dusíku se přeměňují na dusičnany působením oxidačního činidla v termoreaktoru. V roztoku okyseleném kyselinou sírovou a kyselinou fosforečnou reaguje tento dusičnan s 2,6-dimethylfenolem (DMP) za vzniku 4-nitro-2,6-dimethylfenolu, který se následně stanoví fotometricky ve fotometru [49].

10 ml homogenizovaného vzorku bylo pomocí pipety převedeno do prázdné zkumavky, byla přidána jedna mikrolžička reagentu N – 1K (peroxodisíran draselný) a roztok byl promíchán. Následně bylo přidáno 6 kapek reagentu N – 2K (hydroxid sodný) a po promíchání byla zkumavka zahřívána na 120 °C po dobu jedné hodiny. Po uplynutí této doby byly zkumavky nechány volně chladnout na laboratorní teplotu. Z vychladlé zkumavky byl pomocí pipety odebrán 1 ml vzorku a převeden do reakční zkumavky. Následně byl pomocí pipety přidán 1 ml reagentu N – 3K (DMP) a zkumavka byla protřepána a odstavena na dobu 10 min. Následně byla měřena ve fotometru.

3.3.7 Kolorimetrické stanovení dusičnanů

Papírky pro stanovení dusičnanů byly po dobu 1 s ponořeny do vzorků odpadních vod a následně byly odstaveny na 1 min. Podle zbarvení čtverečku bylo odhadnuto množství dusičnanů ve vzorku. Tato metoda sloužila pouze jako informativní.

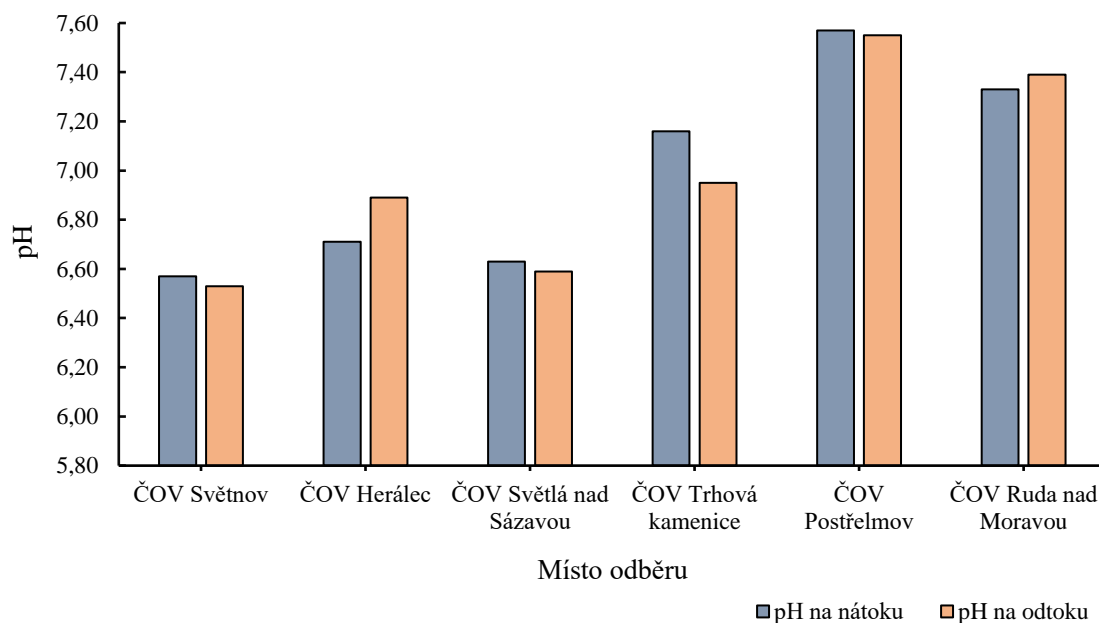
4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Stanovení hodnoty pH

Hodnoty pH všech odpadních vod se pohybovaly okolo hodnoty 7, nachází se tedy v neutrální oblasti viz Tab. 8. Největší pH na nátoku filtrů měla voda z ČOV Postřelmov, nejmenší hodnotu pH na nátoku má ČOV Světnov. Stejné pravidlo platí i na odtoku filtrů. Porovnání výsledků můžeme vidět na Obr. 21.

Tab. 8 Hodnoty pH na nátoku a odtoku filtru

Místo odběru	pH na nátoku	pH na odtoku
ČOV Světnov	6,57	6,53
ČOV Herálec	6,71	6,89
ČOV Světlá nad Sázavou	6,63	6,59
ČOV Trhová Kamenice	7,16	6,95
ČOV Postřelmov	7,57	7,55
ČOV Ruda nad Moravou	7,33	7,39



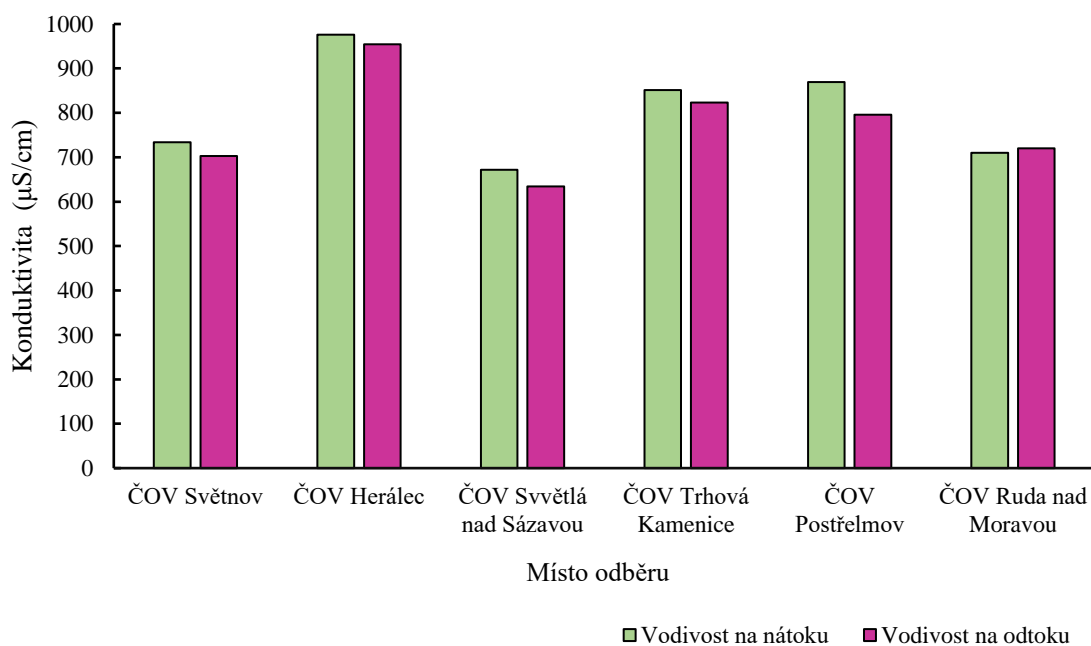
Obr. 21 Hodnoty pH vzorků odpadních vod

4.2 Stanovení konduktivity

Hodnoty konduktivity vzorků odpadních vod byly proměnlivé a pohybovaly se od 600 do 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Největší hodnoty konduktivity měl vzorek z ČOV Herálec, kde se hodnoty blížily k 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Výsledky jsou vypsány v Tab. 9. Porovnání výsledků konduktivity nalezneme na Obr. 22.

Tab. 9 Hodnoty konduktivity na nátoku a odtoku filtru

Místo odběru	konduktivita na nátoku ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	konduktivita na odtoku ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
ČOV Světnov	734	703
ČOV Herálec	976	954
ČOV Světlá nad Sázavou	672	634
ČOV Trhová Kamenice	851	823
ČOV Postřelmov	869	796
ČOV Ruda nad Moravou	710	720



Obr. 22 Hodnoty konduktivit vzorků odpadních vod

4.3 Stanovení nerozpuštěných látek

Množství nerozpuštěných látek v jednotlivých vzorcích se nachází v Tab. 10. Můžeme si povšimnout, že vzorek s největším množstvím nerozpuštěných látek, jak na nátoku, tak i odtoku filtru měl vzorek z ČOV Trhová Kamenice. Měřítka grafu na obrázku bylo upraveno tak, aby bylo porovnání naměřených hodnot přehlednější. V grafu tedy není plně znázorněna hodnota vzorku č. 8 z ČOV Trhová Kamenice. Vzorek s nejmenším obsahem nerozpuštěných látek je z ČOV Ruda nad Moravou.

Vzorky z ČOV Světnov, Herálec a Trhová Kamenice, které patří podle vyhlášky č. 401/2015 Sb. (viz Tab. 6) do skupiny s kapacitou čistírny od 500 – 2000 EO, splňují maximálně přístupný limit nerozpuštěných látek na odtoku z čistírny. Maximálně přípustný limit nerozpuštěných látek na odtoku z čistírny o kapacitě 500 – 2000 EO je 70 mg/l.

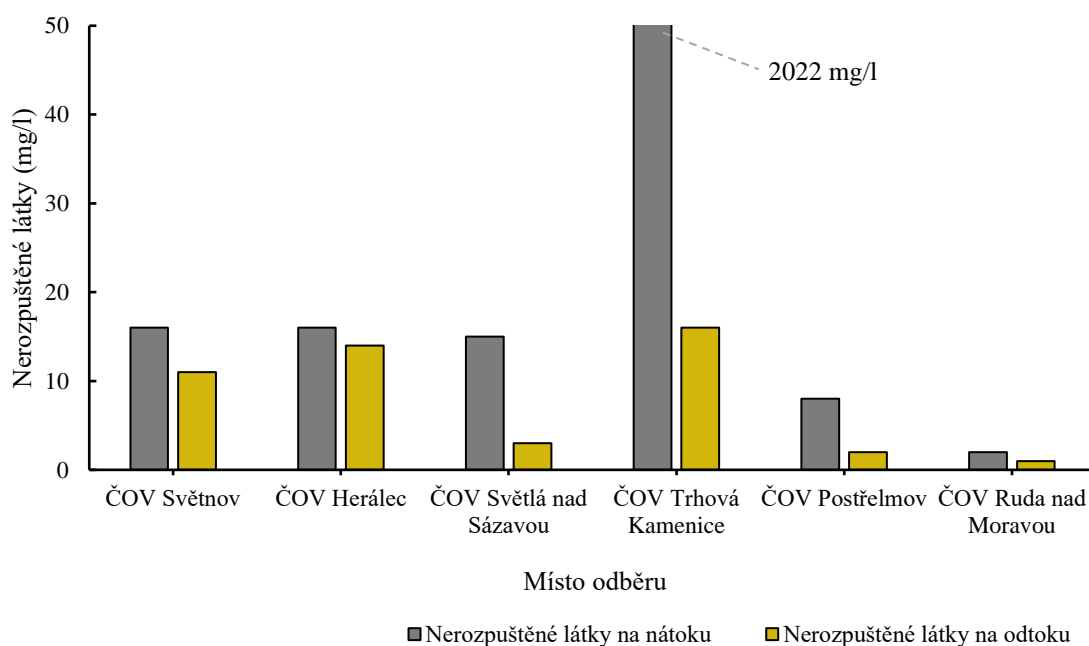
Vzorky z ČOV Postřelmov a Ruda nad Moravou, řadící se do skupiny s kapacitou čistírny od 2001 – 10000 EO, také splňují podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit nerozpuštěných látek na odtoku z čistírny o kapacitě 2001 - 10000 EO je 60 mg/l.

Vzorek z ČOV Světlá nad Sázavou patří podle vyhlášky do skupiny s kapacitou čistírny 10001 – 100000 EO a podle výsledku stanovení splňuje podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit nerozpuštěných látek na odtoku z čistírny o kapacitě 10001 - 100000 EO je 50 mg/l.

Vysoký obsah nerozpuštěných látek na nátoku filtru u vzorku z ČOV Trhová Kamenice byl způsoben okolnostmi při odběru vzorku vlivem malého průtoku vody a porušením sedimentační vrstvy na nátoku filtru. Tento vzorek tedy nemůžeme hodnotit jako reprezentativní.

Tab. 10 Množství nerozpuštěných látek na nátoku a odtoku filtru

Místo odběru	NL na nátoku (mg/l)	NL na odtoku (mg/l)
ČOV Světnov	16	11
ČOV Herálec	16	14
ČOV Světlá nad Sázavou	15	3
ČOV Trhová Kamenice	2022	16
ČOV Postřelmov	8	2
ČOV Ruda nad Moravou	2	1



Obr. 23 Množství nerozpuštěných látek ve vzorcích odpadních vod

4.4 Stanovení chemické spotřeby kyslíku

Naměřené hodnoty CHSK se pohybují v rozsahu od 30 až do 1210 mg/l. Výsledky tohoto parametru jsou tedy velmi proměnlivé. Největší hodnotu CHSK na nátoku má vzorek z ČOV Trhová Kamenice. Měřítka grafu na obrázku bylo upraveno tak, aby bylo porovnání naměřených hodnot přehlednější. V grafu tedy není plně znázorněna hodnota vzorku č. 8 z ČOV Trhová Kamenice. Na odtoku má největší hodnotu CHSK vzorek z ČOV Postřelmov. Vysoká hodnota CHSK u vzorku z ČOV Trhová Kamenice je dána velkým množstvím nerozpuštěných látek ve vzorku.

Vzorky z ČOV Světnov, Herálec a Trhová Kamenice, které patří podle vyhlášky č. 401/2015 Sb. (viz Tab. 6) do skupiny s kapacitou čistírny od 500 – 2000 EO, splňují maximálně přístupný limit chemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny. Maximálně přípustný limit chemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny o kapacitě 500 – 2000 EO je 180 mg/l.

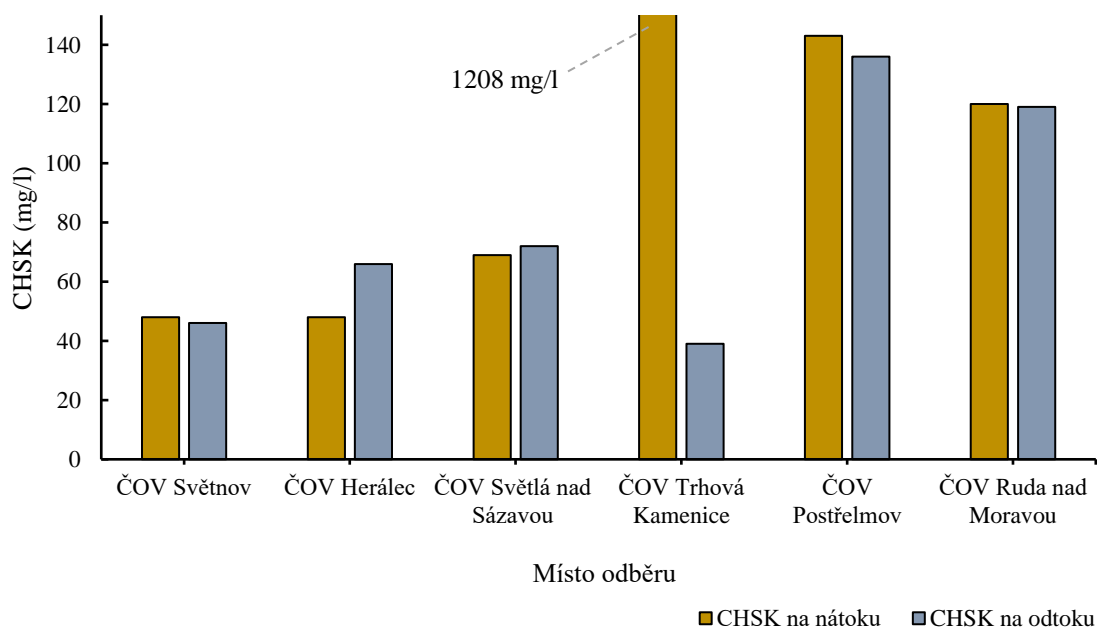
Vzorky z ČOV Postřelmov a Ruda nad Moravou, řadící se do skupiny s kapacitou čistírny od 2001 – 10000 EO, také splňují podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit chemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny o kapacitě 2001 - 10000 EO je 170 mg/l.

Vzorek z ČOV Světlá nad Sázavou patří podle vyhlášky do skupiny s kapacitou čistírny 10001 – 100000 EO a podle výsledku stanovení splňuje podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit chemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny o kapacitě 10001 - 100000 EO je 130 mg/l.

Vysoká hodnota chemické spotřeby kyslíku na nátoku filtru u vzorku z ČOV Trhová Kamenice byla způsobena okolnostmi při odběru vzorku vlivem malého průtoku vody a porušením sedimentační vrstvy. Tento vzorek tedy nemůžeme hodnotit jako reprezentativní.

Tab. 11 Množství chemické spotřeby kyslíku na nátoku a odtoku filtru

Místo odběru	CHSK na nátoku (mg/l)	CHSK na odtoku (mg/l)
ČOV Světnov	48	46
ČOV Herálec	48	66
ČOV Světlá nad Sázavou	69	72
ČOV Trhová Kamenice	1208	39
ČOV Postřelmov	143	136
ČOV Ruda nad Moravou	120	119



Obr. 24 CHSK na nátoku a odtoku filtrů

4.5 Stanovení biochemické spotřeby kyslíku

Naměřené hodnoty parametru BSK₅ mají rozmezí od 2 do 9 mg/l. Největší hodnota parametru na nátoku filtru byla naměřena u vzorku z ČOV Trhová Kamenice, naopak na odtoku filtru byla největší hodnota naměřena ve vzorku z ČOV Postřelmov.

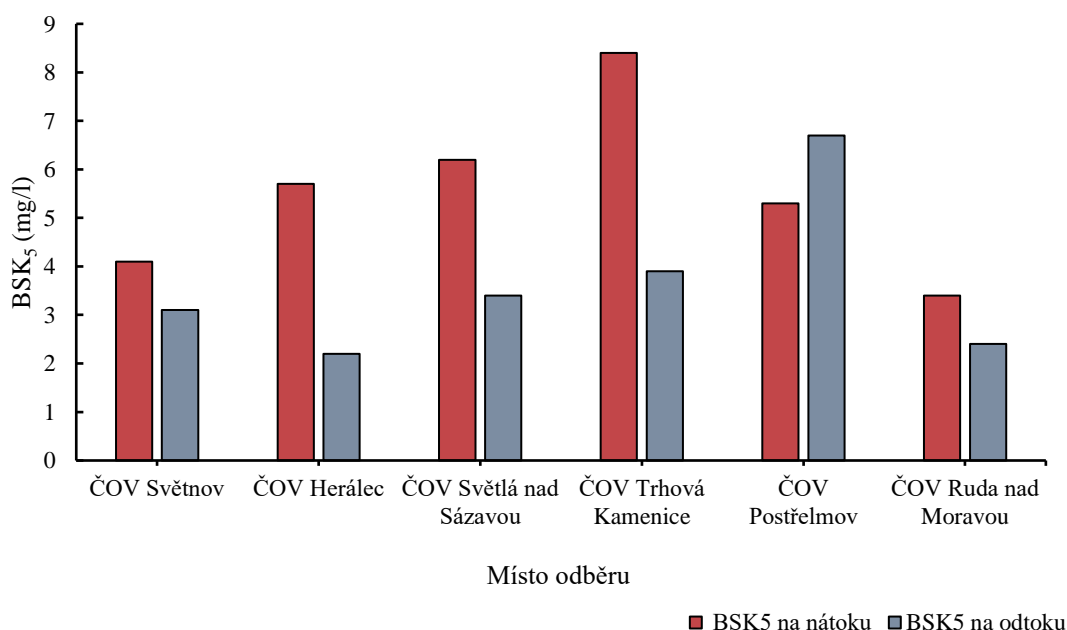
Vzorky z ČOV Světnov, Herálec a Trhová Kamenice, které patří podle vyhlášky č. 401/2015 Sb. (viz Tab. 6) do skupiny s kapacitou čistírny od 500 – 2000 EO, splňují maximálně přístupný limit biochemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny. Maximálně přípustný limit biochemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny o kapacitě 500 – 2000 EO je 60 mg/l.

Vzorky z ČOV Postřelmov a Ruda nad Moravou, řadí se do skupiny s kapacitou čistírny od 2001 – 10000 EO, také splňují podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit biochemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny o kapacitě 2001 - 10000 EO je 50 mg/l.

Vzorek z ČOV Světlá nad Sázavou patří podle vyhlášky do skupiny s kapacitou čistírny 10001 – 100000 EO a podle výsledku stanovení splňuje podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit biochemické spotřeby kyslíku na odtoku z čistírny o kapacitě 10001 - 100000 EO je 40 mg/l.

Tab. 12 Hodnoty BSK₅ na nátoku a odtoku filtru

Místo odběru	BSK ₅ na nátoku (mg/l)	BSK ₅ na odtoku (mg/l)
ČOV Světnov	4,1	3,1
ČOV Herálec	5,7	2,2
ČOV Světlá nad Sázavou	6,2	3,4
ČOV Trhová Kamenice	8,4	3,9
ČOV Postřelmov	5,3	6,7
ČOV Ruda nad Moravou	3,4	2,4



Obr. 25 Hodnoty BSK₅ na nátoku a odtoku filtrů

4.6 Stanovení celkového fosforu

Hodnoty celkového fosforu na nátoku a odtoku filtru jsou vcelku podobné. Jedinou výjimku tvoří vzorek z nátoku filtru z ČOV Trhová Kamenice, kde množství celkového fosforu na nátoku dosahuje hodnoty 35,6 mg/l. Druhá největší hodnota celkového fosforu byla naměřena u vzorku z ČOV Herálec, jehož hodnoty na nátoku a odtoku se pohybují okolo 6 mg/l. Nejmenší hodnoty byly naměřeny u vzorku z ČOV Světnov, ty se pohybují okolo 2,5 mg/l.

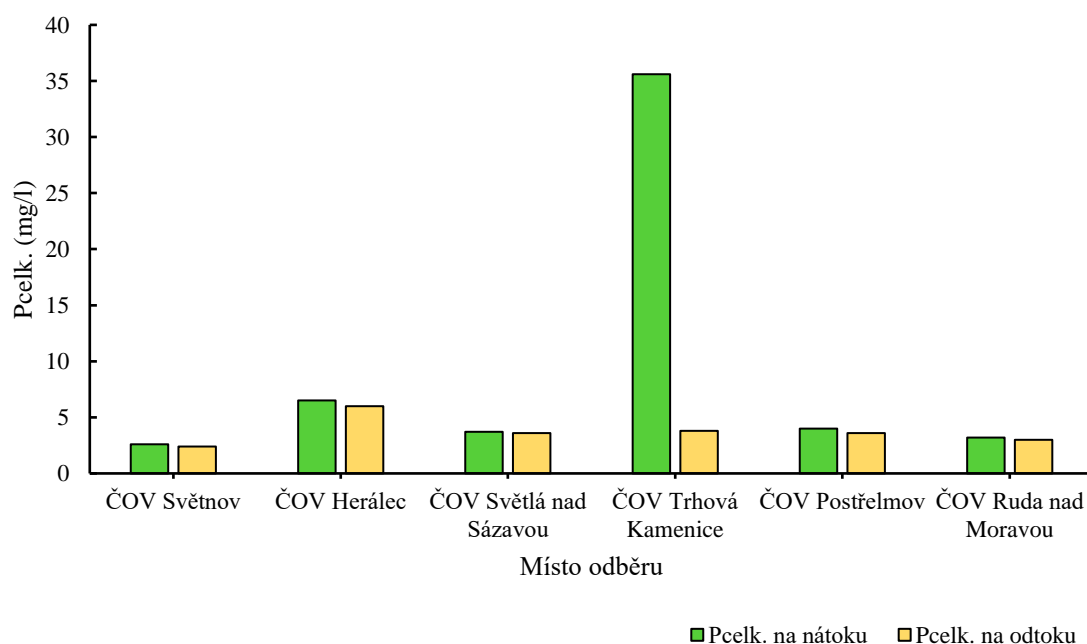
Vzorky z ČOV Postřelmov a Ruda nad Moravou, řadící se do skupiny s kapacitou čistírny od 2001 – 10000 EO, splňují podmínku vyhlášky č. 401/2015 Sb. Maximálně přípustný limit celkového fosforu na odtoku z čistírny o kapacitě 2001 - 10000 EO je 8 mg/l.

Vzorek z ČOV Světlá nad Sázavou patří podle vyhlášky do skupiny s kapacitou čistírny 10001 – 100000 EO a podle výsledku stanovení splňuje podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit celkového fosforu na odtoku z čistírny o kapacitě 10001 - 100000 EO je 6 mg/l.

Vysoká hodnota celkového fosforu na nátoku filtru u vzorku z ČOV Trhová Kamenice byla způsobena okolnostmi při odběru vzorku vlivem malého průtoku vody a porušením sedimentační vrstvy. Tento vzorek tedy nemůžeme hodnotit jako reprezentativní.

Tab. 13 Množství celkového fosforu na nátoku a odtoku filtru

Místo odběru	P _{celk.} na nátoku (mg/l)	P _{celk.} na odtoku (mg/l)
ČOV Světnov	2,6	2,4
ČOV Herálec	6,5	6,0
ČOV Světlá nad Sázavou	3,7	3,6
ČOV Trhová Kamenice	35,6	3,8
ČOV Postřelmov	4,0	3,6
ČOV Ruda nad Moravou	3,2	3,0



Obr. 26 Hodnoty celkového fosforu na nátoku a odtoku filtrů

4.7 Stanovení celkového dusíku

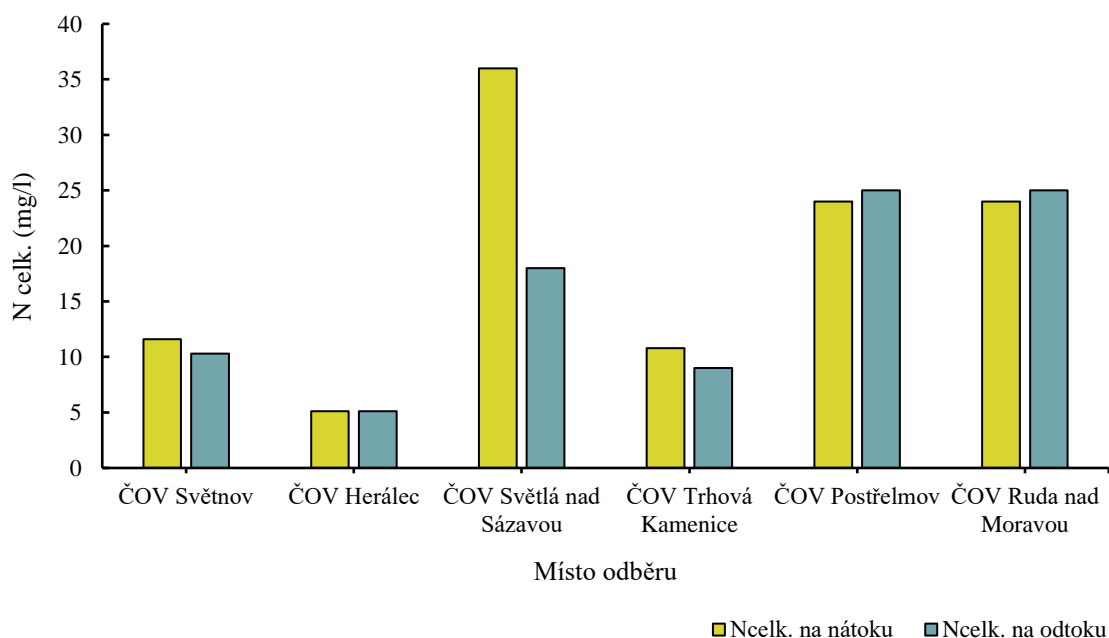
Výsledky stanovení celkového dusíku jsou proměnlivé. Nejmenší hodnoty byly naměřeny u ČOV Herálec, kde hodnota na nátoky a odtok filtru byla 5,1 mg/l. Naopak největší hodnota na nátoky byla opět u vzorku z ČOV Trhová Kamenice, tam výsledek dosáhl 36,0 mg/l. Hodnoty celkového dusíku u ČOV Postřelmov a ČOV Ruda na Moravou byly totožné a jak na nátoky, tak i na odtok filtru dosahovaly hodnoty okolo 25 mg/l.

Vzorek z ČOV Světlá nad Sázavou patří podle vyhlášky do skupiny s kapacitou čistírny 10001 – 100000 EO a podle výsledku stanovení splňuje podmínku vyhlášky. Maximálně přípustný limit celkového dusíku na odtok z čistírny o kapacitě 10001 - 100000 EO je 30 mg/l.

Vysoká hodnota celkového dusíku na nátoky filtru u vzorku z ČOV Trhová Kamenice byla způsobena okolnostmi při odběru vzorku vlivem malého průtoku vody a porušením sedimentační vrstvy. Tento vzorek tedy nemůžeme hodnotit jako reprezentativní.

Tab. 14 Množství celkového dusíku na nátoky a odtok filtru

Místo odběru	N _{celk.} na nátoky (mg/l)	N _{celk.} na odtok (mg/l)
ČOV Světnov	11,6	10,3
ČOV Herálec	5,1	5,1
ČOV Světlá nad Sázavou	36,0	18,0
ČOV Trhová Kamenice	10,8	9,0
ČOV Postřelmov	24,0	25,0
ČOV Ruda nad Moravou	24,0	25,0



Obr. 27 Hodnoty celkového dusíku na nátoky a odtok filtrů

4.8 Stanovení dusičnanového dusíku

Metoda stanovení dusičnanového dusíku sloužila jako orientační zkouška. Výsledky na nátoku a odtoku filtrů byly stejné. Ve vzorku z ČOV Světnov a Trhová Kamenice se nacházelo 11,0 mg/l. Ve vzorku z ČOV Herálec bylo stanoveno 5,6 mg/l. Ve vzorcích z ČOV Světlá nad Sázavou, Postřelmov a Ruda nad Moravou bylo 23,0 mg/l.

4.9 Porovnání výsledků se zahraničními partnery

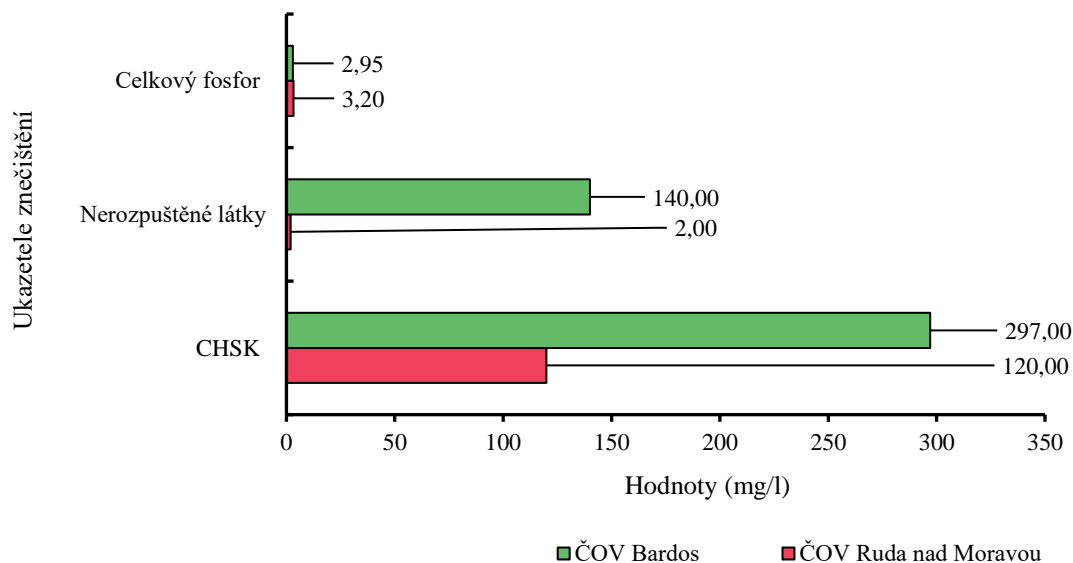
Pro porovnání získaných dat byly vybrány výsledky od společností Rheoserve Industrial Solutions LLC a Source, které jsou zahraničními partnery společnosti IN-EKO TEAM s.r.o. a vlastní alespoň jedno ze zařízení pro mikrofiltraci. Protokoly o zkouškách se nachází v přílohách této bakalářské práce.

Společnost Source instalovala filtrační zařízení v obci Bardos, která se nachází v jihovýchodní Francii. Tamější čistírna odpadních vod byla vybudována pro kapacitu 3 250 EO. Početně by se tedy dala srovnat s obcí Ruda nad Moravou, která byla zřízena pro kapacitu 3 000 EO. Pokud porovnáme výsledky naměřených hodnot pro parametr chemické spotřeby kyslíku, můžeme si povšimnout, že výsledky z obce Bardos jsou více než dvakrát větší než z obce Ruda nad Moravou. Konkrétně na nátoky filtru z obce Bardos bylo naměřeno 297 mg/l CHSK a v obci Ruda nad Moravou bylo naměřeno 120 mg/l CHSK. Na odtoku filtrů nedošlo oproti nátoky téměř k žádné změně, ve vzorku z obce Bardos bylo naměřeno 221 mg/l CHSK a ve vzorku z obce Ruda nad Moravou bylo naměřeno 119 mg/l.

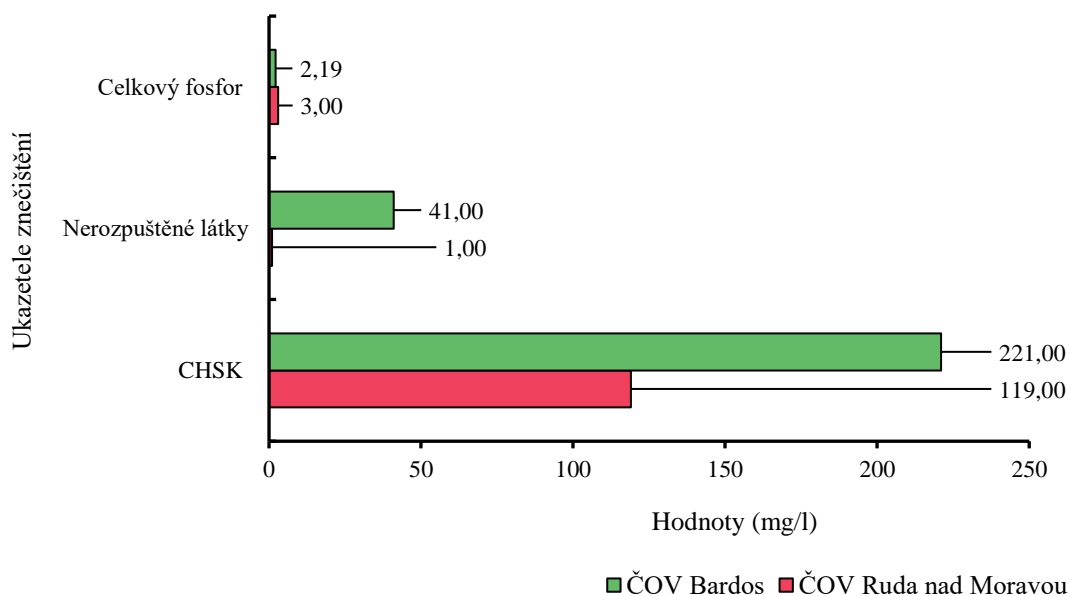
Při porovnání hodnot nerozpuštěných látek můžeme zaznamenat markantní rozdíly. Na nátoky filtru v obci Bardos bylo naměřeno 140 mg/l nerozpuštěných látek, na odtoku poté 41 mg/l. Co se týče naměřených hodnot nerozpuštěných látek v obci Ruda nad Moravou, na nátoky byly naměřeny 2 mg/l a na odtoku 1 mg/l.

Naměřené hodnoty celkového fosforu těchto dvou vzorků byly velmi podobné. Vzorek pocházející z obce Bardos obsahoval na nátoky 2,95 mg/l a na odtoku 2,19 mg/l celkového fosforu. Vzorek z obce Ruda nad Moravou poté obsahoval 3,2 mg/l na nátoky a 3,0 mg/l na odtoku celkového fosforu. Celkové porovnání se nachází na Obr. 28 a Obr. 29.

Vysoké hodnoty chemické spotřeby kyslíku a nerozpuštěných látek u vzorků z ČOV Bardos byly způsobeny rekonstrukcí čistírny. V době odběru byla používána stará usazovací nádrž, ve které docházelo k nedostatečné sedimentaci. To způsobilo nadměrný přísun aktivovaného kalu na filtrační zařízení.



Obr. 28 Porovnání výsledků z ČOV Ruda nad Moravou a ČOV Bardos – nátok filtrů



Obr. 29 Porovnání výsledků z ČOV Ruda nad Moravou a ČOV Bardos – odtok filtrů

Pokud bychom výsledky od tohoto zahraničního partnera porovnávali s českou legislativou týkající se maximálně přípustných hodnot parametrů znečištění vypouštěných odpadních vod (viz Tab. 6), vzorky by prošly u parametrů celkového fosforu a nerozpuštěných látek. Hodnota chemické spotřeby kyslíku byla silně nadlimitní.

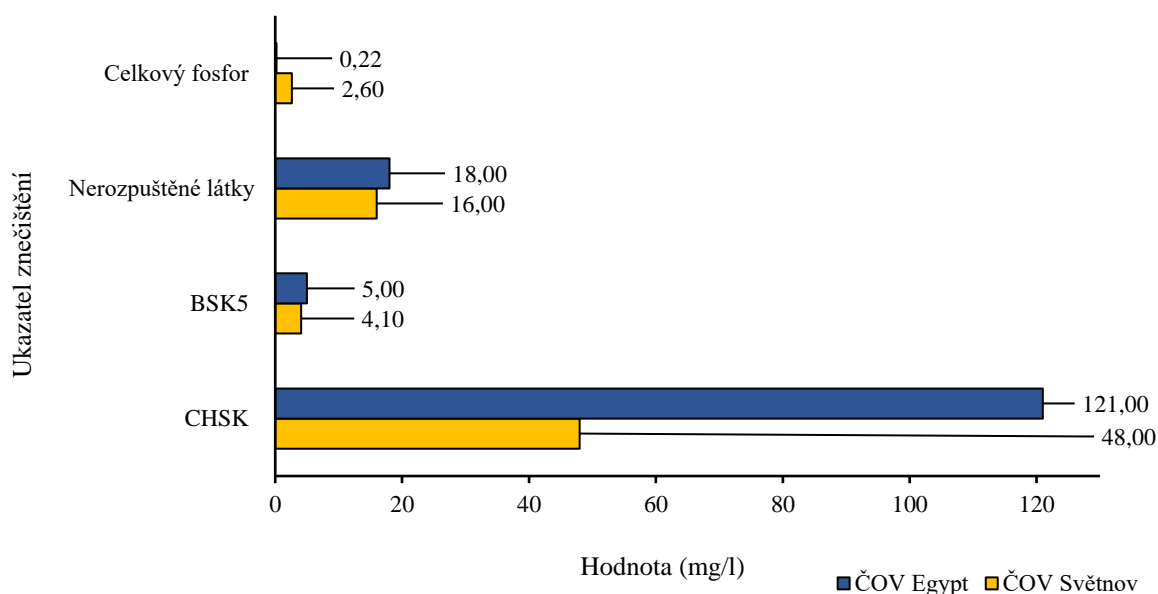
Limity týkající se maximálně přípustných hodnot parametrů znečištění vypouštěných odpadních vod pro tento vzorek jsou dány francouzskou legislativou, konkrétně zákonem o životním prostředí Code de l'environnement [50].

Společnost Rheoserve měla na starosti instalaci filtračního zařízení na čistírně odpadních vod v Egyptě. Čistírna byla vybudována pro kapacitu 2 000 EO. Početně by se tedy dala srovnat s ČOV Světnov, která byla zřízena pro kapacitu 1700 EO. Celkový fosfor stanovený ve vzorku na nátoku ČOV Egypt dosahoval 0,22 mg/l, což je oproti vzorku z ČOV Světnov poměrně zanedbatelná hodnota. Vzorek z ČOV Světnov obsahoval 2,60 mg/l celkového fosforu. Podobně je tomu i na odtoku filtrů. Ve vzorku z ČOV Egypt bylo naměřeno 0,10 mg/l celkového fosforu a ve vzorku z ČOV Světnov bylo stanoveno 2,40 mg/l.

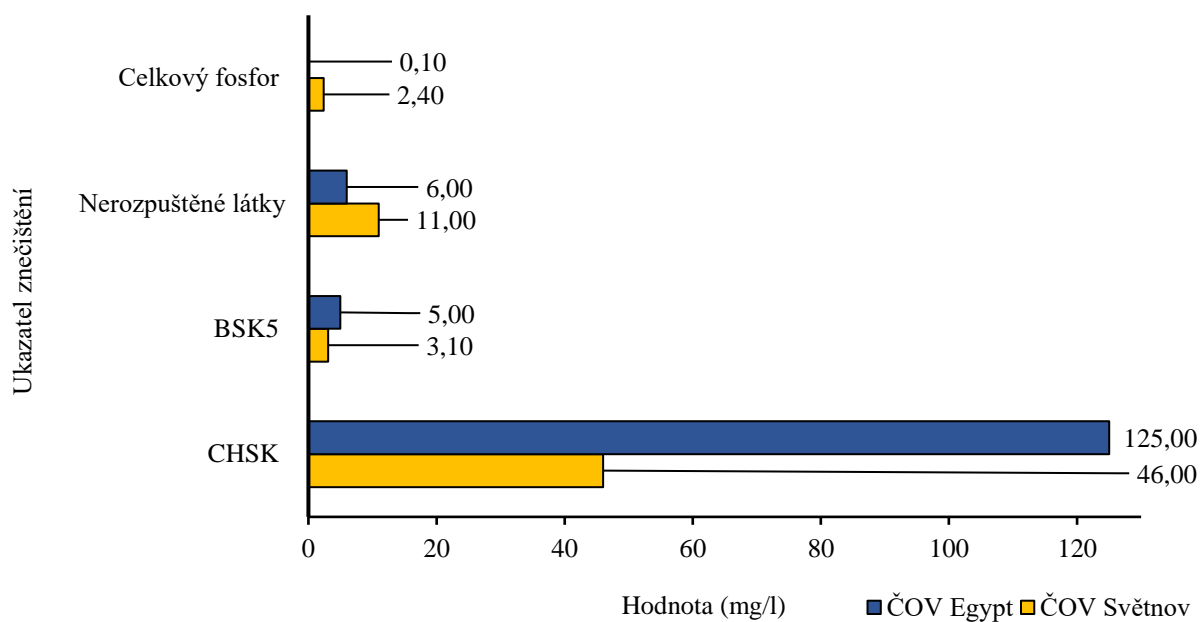
Hodnoty nerozpuštěných látek na nátoku filtrů u obou aplikací byly podobné. U zahraničního vzorku nerozpuštěné látky dosahovaly 18,00 mg/l a u vzorku z ČOV Světnov 16,00 mg/l.

Biochemická spotřeba kyslíku stanovená ve vzorku z ČOV Egypt byla na nátok a odtoku filtru stejná a dosahovala 5 mg/l. Hodnota biochemické spotřeby kyslíku u vzorku z ČOV Světnov se průchodem vody filtrem snížila z hodnoty 5 mg/l na 3,10 mg/l.

Porovnáme-li hodnotu chemické spotřeby kyslíku u obou vzorků, můžeme si povšimnout velkého rozdílu hodnot. Ve vzorku z ČOV Egypt bylo na nátok i odtoku filtru naměřeno okolo 125 mg/l CHSK. U vzorku z ČOV Světnov bylo na nátok i odtoku filtru stanoveno okolo 48 mg/l CHSK. Celkové porovnání se nachází na Obr. 30 a Obr. 31.



Obr. 30 Porovnání výsledků z ČOV Světnov a ČOV Egypt – nátok filtrů



Obr. 31 Porovnání výsledků z ČOV Světnov a ČOV Egypt – odtok filtrů

Pokud bychom výsledky od tohoto zahraničního partnera porovnávali s českou legislativou týkající se maximálně přípustných hodnot parametrů znečištění vypouštěných odpadních vod (viz Tab. 6), vzorky by prošly u všech stanovovaných parametrů, protože spadají do limitních mezí nařízení vlády.

5 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce studuje účinnost terciárního stupně čištění odpadních vod za použití mechanické filtrace. Dále také zkoumá, zda voda vypouštěná z vybraných čistíren odpadních vod splňuje limity stanovené nařízením vlády č. 401/2015 Sb. o vypouštění odpadních vod do vodních recipientů.

V celkem 12 vzorcích pocházejících z 6 čistíren odpadních vod byly stanoveny hodnoty ukazatelů znečištění, a to konkrétně množství nerozpuštěných látek, chemická a biochemická spotřeba kyslíku, celkový fosfor a dusík. U daných vzorků bylo změřeno i pH a konduktivita. Vzorky byly odebrány na nátok a odtoku mikrosítového bubnového a diskového filtru od společnosti IN-EKO TEAM s.r.o. Naměřené hodnoty byly porovnány se získanými výsledky od zahraničních partnerů společnosti. Výsledky byly porovnány na základě podobných kapacit čistíren.

Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. V první části je popsána teorie týkající se problematiky čištění odpadních vod. Jsou zde rozebrány jednotlivé technologické kroky čištění. Důraz je kladen na terciární stupeň čištění, kde je důkladně popsán proces mikrofiltrace. V této části se také nachází popis principu studovaných mikrofiltračních zařízení. Součástí teoretické části je i výčet a popis ukazatelů znečištění odpadních vod, které byly následně stanovovány v odebraných vzorcích. Závěr teoretické části je věnován výše zmíněnému nařízení, které se týká limitů parametrů vody na odtoku z čistíren odpadních vod.

Experimentální část práce se zabývá stanovením parametrů znečištění, konkrétně množstvím nerozpuštěných látek, chemickou a biochemickou spotřebou kyslíku, celkového fosforu a dusíku ve vzorcích odpadních vod před a za filtračním zařízením. Získané výsledky byly mezi sebou porovnány a následně také zhodnoceny podle výše zmíněného nařízení.

Hodnoty stanovovaných parametrů ve vzorcích na odtoku filtrů vykazovaly pokles oproti hodnotám stanovených na nátok filtrů. V některých případech došlo dokonce k signifikantnímu poklesu. Zároveň všechny stanovené parametry znečištění spadaly do limitních mezí nařízení č. 401/2015 Sb. Z tohoto důvodu odpadní vody vypouštěné ze zkoumaných čistíren odpadních vod splňují podmínky nařízení.

Na závěr byly získané výsledky porovnány s výsledky od zahraničních partnerů. Bylo zjištěno, že i přes porovnávání výsledků čistíren o podobné kapacitě se výsledky liší. V některých případech dokonce markantně. Pokud bychom výsledky zahraničních partnerů podrobovali limitům české legislativy, v mnoha případech by hodnoty silně převažovaly nad maximálně nařízenou limitní mezí.

Ze získaných výsledků by se tedy dalo vyvodit, že se výše zmíněná filtrační zařízení pozitivně podílí na zlepšení kvality vypouštěných odpadních vod. V některých případech je přítomnost terciárního stupně čištění dokonce nezbytná. V případě absence terciárního čištění by docházelo k silnému znečištění okolních vodních toků.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BINDZAR, Jan. *Základy úpravy a čištění vod*. 1. vydání. Praha: VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-729-3.
- [2] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [3] POŠTA, Josef. *Čistírny odpadních vod*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2005. ISBN 978-802-1313-668.
- [4] NATHANSON, Jerry A. Wastewater treatment. In: *Britannica* [online]. [cit. 2022-10-01]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment>
- [5] ŠVEHLA, Pavel. *Odpadní vody: cvičení*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Agronomická fakulta, Katedra agrochemie a výživy rostlin, 2004. ISBN 80-213-1208-4.
- [6] *Univerzita, věda z mnoha pohledů: Léky v odpadních vodách jsou časovanou bombou* [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2013 [cit. 2022-10-15]. ISBN 978-80-7394-418-6. Dostupné z: https://old.jcu.cz/veda-a-vyzkum/popularizace-vedy-a-vyzkumu/veda-z-mnoha-pohledu_fin.pdf
- [7] VÁCLAVÍK, Vojtěch. *Multimediální texty předmětu Vodohospodářská zařízení II* [online]. In: . VŠB Ostrava [cit. 2022-09-24]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ2/3_odpadni_vody.html
- [8] Vše o vodě: Odpadní voda. In: *Rakovnická vodárenská společnost* [online]. [cit. 2022-09-24]. Dostupné z: <https://www.ravos-sro.cz/vse-o-vode/odpadni-voda/>
- [9] VÍTĚZ, Tomáš a Bořivoj GRODA. *Čištění a čistírny odpadních vod*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008. ISBN 978-80-7375-180-7.
- [10] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Průručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, 2001. ISBN 80-860-2030-4.
- [11] ŠRÁMEK, Martin. *Průmyslové vody a jejich praktická řešení* [online]. In: . Asio, spol. s.r.o. [cit. 2022-09-24]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/435.prumyslove-vody-a-jejich-prakticka-reseni>

- [12] Zákon č. 254/2001 Sb. In: *Zákony pro lidi: Sbirka zákonů* [online]. [cit. 2022-09-24]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [13] ČESKÁ REPUBLIKA. *Nariadení vlády č. 401/2015 Sb.: Nariadení vlády 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*. In: . 2015, 166/2015. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>
- [14] *Vodní ekotoxikologie: Rozdělení odpadních vod* [online]. In: . Mendelova univerzita v Brně [cit. 2022-11-11]. Dostupné z: https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=2307&typ=html
- [15] *Vodovody, kanalizace a vodní toky - 2021: Český statistický úřad* [online]. In: . [cit. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2021>
- [16] TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1985.
- [17] Flotace (DAF): Princip flotace DAF. In: *Envipur* [online]. [cit. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.envi-pur.cz/upravny-pitne-vody-flotace-rozpustenym-vzduchem-daf/>
- [18] Flotace. In: *IN-EKO TEAM s.r.o.* [online]. 2022 [cit. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.in-eko.cz/produkty/flotace/>
- [19] Usazovací nádrže. In: *YouTube* [online]. 2022 [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=xDhfC_ntyPo&ab_channel=Pra%C5%BESk%C3%A9vodovodyakanalizace
- [20] HARTIG, Karel, Ing., CSc. Problematika kalového hospodářství. *Vodní hospodářství* [online]. 2021 [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/problematika-kaloveho-hospodarstvi/>
- [21] GURJAR, B. a Vinay TYAGI. *Sludge management*. Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 978-1-138-02954-5.
- [22] KUPEC, Jan. *Zpracování odpadních vod a čistírenských kalů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2002. ISBN 80-731-8058-8.

- [23] DOHÁNYOS, Michal, Nina STRNADOVÁ a Jan KOLLER. *Čištění odpadních vod*. Vyd. 1. (dot.). Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1995. ISBN 80-708-0207-3.
- [24] HELÁNOVÁ, Veronika. Co jsou flokulanty a k čemu slouží. *PRŮMYSL: Magazín o průmyslu* [online]. Inform Data a.s., 2019 [cit. 2022-11-02]. Dostupné z: <https://prumysl.inform.cz/vyroba/co-jsou-flokulanty-a-k-cemu-slouzi/>
- [25] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. 2., dopl. vyd. Brno: ARDEC, 2006. ISBN 80-86020-50-9.
- [26] FOLADORI, Paola, Gianni ANDREOTTOLA a Giuliano ZIGLIO. *Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants*. London: IWA, 2010. ISBN 978-184-3392-781.
- [27] ŠÁLEK, Jiří. The exploitation of swamp plants for dewatering liquid sewage sludge. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* [online]. 2014, 54(2), 107-116 [cit. 2022-11-06]. ISSN 12118516. Dostupné z: [doi:10.11118/actaun200654020107](https://doi.org/10.11118/actaun200654020107)
- [28] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o odpadech. In: *Sbírka zákonů*. 2020, 222/2020, 541/2020. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541/zneni-20210101#cast2>
- [29] VAKINFOCZ. Návrh směrnice přijaté Komisí k pravidlům EU o čištění městských odpadních vod. *Vakinfo.cz* [online]. [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: <https://www.vakinfo.cz/navrh-smernice-prijate-komisi-k-pravidlum-eu-o-cistenim-mestskych-odpadnich-vod/>
- [30] FOLLER, Jan. Třetí stupeň čištění: Je možné snadné řešení?. *Vodní hospodářství* [online]. 2021 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/treti-stupen-cistenim/>
- [31] Ultrafiltrace při úpravě vody. *Tzbinfo: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. 2001-2022 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/13403-ultrafiltrace-pri-uprave-vody>
- [32] HAVEL, Petr. Nanofiltrace: Moderní technologie na čištění vody 100% odstraňuje mikroplasty. *Vitalia* [online]. 2022 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z:

<https://www.vitalia.cz/clanky/nanofiltrace-moderni-technologie-na-cistení-vody-100-odstraní-mikroplasty/>

- [33] ŠKVORVAN, Ondřej. Tlakové membránové procesy ve vodním hospodářství. *ASIO, spol. s r.o.* [online]. 2011-2022 [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/264.tlakove-membranove-procesy-ve-vodnim-hospodarstvi>
- [34] WAKEMAN, R.J. a C.J. WILLIAMS. Additional techniques to improve microfiltration. *Elsevier Science* [online]. 16 [cit. 2022-12-04]. S 1 3 8 3 - 5 8 6 6 (0 1) 0 0 1 1 2 - 5. Dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1383586601001125?token=9105B112B20C8649ED8E653F479B30BEB71CDC8C402191815C0FA9B5702EC484AD15999EE74B0803E1675E346A6EACC9&originRegion=eu-west-1&originCreation=20221204114532>
- [35] *Microfiltration and ultrafiltration membranes for drinking water* [online]. Denver, CO: American Water Works Association, 2005 [cit. 2022-11-30]. ISBN 15-832-1360-0. Dostupné z: https://webstore.ansi.org/preview-pages/AWWA/preview_30053_M53_ed1.pdf
- [36] MANIMEKALAI, D., S. DEEPIKA, K. BREMA, C. RAJESWARI a A. SELVARANI. Microfiltration technology in waste water treatment. *International Journal of Current Research* [online]. 2017, 9(3), 3-4 [cit. 2022-12-04]. ISSN 0975-833X. Dostupné z: <file:///C:/Users/cicat/Downloads/MICROFILTRATIONTECHNOLOGYINWASTEWATERTREATMENT.pdf>
- [37] Mikrofiltrace. *MemBrain® s.r.o.* [online]. 2022 [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.membrain.cz/mikrofiltrace.html>
- [38] *Membránové procesy* [online]. In: . VŠCHT Praha, s. 22 [cit. 2022-12-07]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k27.membranove.procesy.pdf>
- [39] IN-EKO TEAM S.R.O. Mikrofiltrace a filtrace odpadních vod. In: *IN-EKO TEAM s.r.o.* [online]. [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.in-eko.cz/produkty/mikrofiltrace-a-filtrace/>
- [40] IN-EKO TEAM S.R.O. *Mikrosítový bubnový filtr: Manuál*. Tišnov, 2020, 50 s. Dostupné také z: https://www.in-eko.cz/wp-content/uploads/2018/07/fb_cz.pdf

- [41] IN-EKO TEAM S.R.O. *Diskový filtr: Manuál*. Tišnov, 2022, 60 s. Dostupné také z: https://www.in-eko.cz/wp-content/uploads/2022/04/FD_CZ-manual-V20210427.pdf
- [42] ČSN ISO 15705 (757521). *Jakost vod: Stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSKcr) - Metoda ve zkumavkách*. Praha, 2008.
- [43] BOYLES, Wayne. The Science of chemical oxygen demand. *ResearchGate* [online]. 2008, 24 [cit. 2022-12-10]. Dostupné z: <https://www.nrc.gov/docs/ML0504/ML050420352.pdf>
- [44] *Jakost vod: Slovník - část 2*. 2. vydání. 2009. ČSN ISO 6107-2.
- [45] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2003. ISBN 80-708-0520-X.
- [46] Konduktivita vody v průmyslu: O čem vypovídá a jak ji snížit. *EuroClean* [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://euroclean.cz/clanky/konduktivita-vody-v-prumyslu-o-cem-vypovida-a-jak-ji-snit/>
- [47] Co je to konduktivita vody a jak ji změřit?. *Monitoring s.r.o.* [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.moni.cz/aktuality/konduktivita-vody>
- [48] ČSN EN ISO 6878 (757465). *Jakost vod - Stanovení fosforu: Spektrofotometrická metoda s molybdenanem amonným*. 2005.
- [49] ČSN EN ISO 11905-1 (757527). *Jakost vod: Stanovení dusíku - Část 1: Metoda oxidační mineralizace peroxidisíranem*. Praha, 1999.
- [50] FRANCIE. *Code de l'environnement*. In: . Dostupné také z: <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf/legiOrKali?id=LEGITEXT000006074220.pdf&size=6,4%20Mo&pathToFile=/LEGI/TEXT/00/00/06/07/42/20/LEGITEXT000006074220/LEGITEXT000006074220.pdf&title=Code%20de%20l%27environnement>
- [51] Dekantační odstředivka: Senzory IFC a VSA v praxi. In: *IFM electronic, spol. s r.o.* [online]. Praha [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://closetoyou.cz/dekantovaci-centrifuga/>
- [52] HUBER pásový zahušťovač kalu DrainBelt. In: *HUBER Technology* [online]. [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://www.huberics.cz/cz/produkty/zpracovani-kalu/zahustovani/huber-pasovy-zahustovac-kalu-drainbelt.html>

- [53] Kalolisy. In: *Zitex s.r.o.* [online]. [cit. 2022-11-12]. Dostupné z: <https://www.zitex-filtry.cz/filtrace-a-technicka-konfekce/filtracni-plachetky/kalolisy/>
- [54] Ultrafiltrace: Rámové, modulární ultrafiltrační jednotky s kapacitou 2 – 30 m³/h, pro dokonalé odstranění nerozpuštěných látek, bakterií a virů. In: *HENNLICH: Řešení pro průmysl* [online]. 2022 [cit. 2022-11-26]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/filtrace-a-filtracni-technika-ultrafiltrace-14355/ultrafiltrace.html>
- [55] Znázornění separačních vlastností v závislosti na zvolené technologii. In: *ASIO, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2022-11-27]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/264.tlakove-membranove-procesy-ve-vodnim-hospodarstvi>
- [56] Diskový filtr. In: *IN-EKO TEAM s.r.o.* [online]. 2022 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.in-eko.cz/wp-content/uploads/ineko-letak-discfilter-202204-3xa4n03.pdf>
- [57] IN-EKO TEAM S.R.O. *Databáze fotografií společnosti.*
- [58] ČIČATKOVÁ, Dominika. *Vlastní fotografie.*

7 PŘÍLOHY



VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.
sídlo: Soběšická 820/156, Lesná, 638 00 Brno
Vodohospodářské laboratoře, Pracoviště Brno
Soběšická 151, Lesná, 638 00 Brno, tel: 545 532 442

Zkušební laboratoř č. 1249 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



Strana : 1 / 1

Protokol o zkouškách č. 4878 / BO1 / 22

Číslo vzorku: 55866/BO1/22

Místo a bod odběru : Brno - IN-EKO TEAM - Egypt Suez - FD₀₇₇19-Inlet

Datum a čas odběru : 28.3.2022

Zákazník : IN-EKO TEAM, Trnec 1734, Tišnov, 663 03

Datum a čas příjmu : 4.4.2022 13:39

Vzorkoval: Vlastní odběr

Předmět zkoušky : Odpadní voda

Plán odběru : ---

Způsob odběru : Prostý

Datum provedení analýz: 4.4.2022 - 13.4.2022

Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele

Zkouška	Jednotka	Výsledek	Nejistota měření	Identifikace zkoušky
CHSK dichromanem	mg/l	121	±10%	SOP č.8 B (ČSN ISO 15 705, návod firmy HACH, MERCK)
BSK5	mg/l	5,0	±20 %	SOP č. 9/2013/III (ČSN EN ISO 5815-1, ČSN EN 1899-2)
Nerozpuštěné látky	mg/l	18	±20%	SOP č.22/2014/III (ČSN EN 872, ČSN 75 7350; skleněný filtr VWR 692, 1µm)
Fosfor celkový	mg/l	0,22	±15%	SOP č. 18A/2013/III (ČSN EN ISO 17294-2)
Extrahovatelné látky	mg/l	22,5	±15%	SOP č.76 (ČSN 757508)

Nejistota měření: Uvedená nejistota je rozšířená nejistota U na hladině pravděpodobnosti 95% pro k=2 a nezahnuje nejistotu odběru vzorku. Odběr vzorku není předmětem akreditace a Vodohospodářské laboratoře nenesou odpovědnost za správnost odběru vzorku a výsledky zkoušek se vztahují ke vzorku tak, jak byl přijat.

Pokud informace a data dodaná zákazníkem mají vliv na platnost výsledků zkoušek, Vodohospodářské laboratoře za ně odmítají odpovědnost.

Informace a data dodaná zákazníkem: Místo odběru, typ odběru, datum a čas odběru, výsledky zkoušek, které provedl zákazník.

Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušených předmětů. Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.

Výsledky schválil dne : 19.4.2022

Protokol vystaven dne : 19.4.2022



Prostěj

Mgr. Jana Švestková
Vedoucí pracoviště

KONEC PROTOKOLU



VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.
sídlo: Soběšická 820/156, Lesná, 638 00 Brno
Vodohospodářské laboratoře, Pracoviště Brno
Soběšická 151, Lesná, 638 00 Brno, tel: 545 532 442



Zkušební laboratoř č. 1249 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018

Strana : 1 / 1

Protokol o zkouškách č. 4877 / BO1 / 22

Číslo vzorku: 55867/BO1/22

Místo a bod odběru : Brno - IN-EKO TEAM - Egypt Suez -
FD₀₇₇19-Outlet

Datum a čas odběru : 28.3.2022

Zákazník : IN-EKO TEAM, Trnec 1734, Tišnov, 663 03

Datum a čas příjmu : 4.4.2022 13:39

Vzorkoval: Vlastní odběr

Předmět zkoušky : Odpadní voda

Plán odběru : ---

Způsob odběru : Prostý

Datum provedení analýz: 4.4.2022 - 13.4.2022

Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele

Zkouška	Jednotka	Výsledek	Nejistota měření	Identifikace zkoušky
CHSK dichromanem	mg/l	125	±10%	SOP č.8 B (ČSN ISO 15 705, návod firmy HACH, MERCK)
BSK ₅	mg/l	5,0	±20 %	SOP č. 9/2013/III (ČSN EN ISO 5815-1, ČSN EN 1899-2)
Nerozpuštěné látky	mg/l	6	±20%	SOP č.22/2014/III (ČSN EN 872, ČSN 75 7350; skleněný filtr VWR 692,1µm)
Fosfor celkový	mg/l	0,10	±15%	SOP č. 18A/2013/III (ČSN EN ISO 17294-2)
Extrahovatelné látky	mg/l	10,6	±15%	SOP č.76 (ČSN 757508)

Nejistota měření: Uvedená nejistota je rozšířená nejistota U na hladině pravděpodobnosti 95% pro k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru vzorku. Odběr vzorku není předmětem akreditace a Vodohospodářské laboratoře nenesou odpovědnost za správnost odběru vzorku a výsledky zkoušek se vztahují ke vzorku tak, jak byl přijat.

Pokud informace a data dodaná zákazníkem mají vliv na platnost výsledků zkoušek, Vodohospodářské laboratoře za ně odmítají odpovědnost.

Informace a data dodaná zákazníkem: Místo odběru, typ odběru, datum a čas odběru, výsledky zkoušek, které provedl zákazník.

Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušených předmětů. Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.

Výsledky schválil dne : 19.4.2022

Protokol vystaven dne : 19.4.2022



Mgr. Jana Švestková
Vedoucí pracoviště

KONEC PROTOKOLU

Příloha 2 Protokol o zkouškách Rheoserve Industrial Solutions LLC – odtok

Protokol o zkouškách č. 708 / BO1 / 22

Číslo vzorku: 50930/BO1/22

Místo a bod odběru : Bardos, Francie - nátok

Datum a čas odběru : 13.1.2022

Zákazník : IN-EKO TEAM, Trnec 1734, Tišnov, 663 03

Datum a čas příjmu : 17.1.2022 13:27

Vzorkoval: odběr zákazníkem

Předmět zkoušky : Odpadní voda

Plán odběru : ---

Způsob odběru : Prostý

Datum provedení analýz: 17.1.2022 - 21.1.2022

Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele

Zkouška	Jednotka	Výsledek	Nejistota měření	Identifikace zkoušky
CHSK dichromanem	mg/l	297	±10%	SOP č.8 B (ČSN ISO 15 705, návod firmy HACH, MERCK)
Nerozpuštěné látky	mg/l	140	±20%	SOP č.22/2014/III (ČSN EN 872, ČSN 75 7350; skleněný filtr VWR 692,1µm)
Fosfor celkový	mg/l	2,95	±15%	SOP č. 18A/2013/III (ČSN EN ISO 17294-2)

Nejistota měření: Uvedená nejistota je rozšířená nejistota U na hladině pravděpodobnosti 95% pro k=2, je v souladu s EA-4/16 a nezahrnuje nejistotu odběru vzorku.

Odběr vzorku není předmětem akreditace a Vodohospodářské laboratoře nenesou odpovědnost za správnost odběru vzorku a výsledky zkoušek se vztahují ke vzorku tak, jak byl přijat.

Pokud informace a data dodané zákazníkem mají vliv na platnost výsledků zkoušek, Vodohospodářské laboratoře za ně odmítají odpovědnost.

Informace a data dodaná zákazníkem: Místo odběru, typ odběru, datum a čas odběru, výsledky zkoušek, které provedl zákazník.

Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušených předmětů. Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.

Výsledky schválil dne : 21.1.2022



Protokol vystaven dne : 21.1.2022



Mgr. Jana Švestková
Vedoucí pracoviště

-----KONEC PROTOKOLU-----



VODÁRENSKÁ AKCIOVÁ SPOLEČNOST, a.s.
sídlo: Soběšická 820/156, Lesná, 638 00 Brno
Vodohospodářské laboratoře, Pracoviště Brno
Soběšická 151, Lesná, 638 00 Brno, tel: 545 532 442
Zkušební laboratoř č. 1249 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018



Strana : 1 / 1

Protokol o zkouškách č. 707 / BO1 / 22

Číslo vzorku: 50931/BO1/22

Místo a bod odběru : Bardos, Francie - odtok

Datum a čas odběru : 13.1.2022

Zákazník : IN-EKO TEAM, Trnec 1734, Tišnov, 663 03

Datum a čas příjmu : 17.1.2022 13:27

Vzorkoval: odběr zákazníkem

Předmět zkoušky : Odpadní voda

Plán odběru : —

Způsob odběru : Prostý

Datum provedení analýz: 17.1.2022 - 21.1.2022

Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele

Zkouška	Jednotka	Výsledek	Nejistota měření	Identifikace zkoušky
CHSK dichromanem	mg/l	221	±10%	SOP č. 8 B (ČSN ISO 15 705, návod firmy HACH, MERCK)
Nerozpuštěné látky	mg/l	41	±20%	SOP č. 22/2014/III (ČSN EN 872, ČSN 75 7350; skleněný filtr VWR 692, 1µm)
Fosfor celkový	mg/l	2,19	±15%	SOP č. 18A/2013/III (ČSN EN ISO 17294-2)

Nejistota měření: Uvedená nejistota je rozšířená nejistota U na hladině pravděpodobnosti 95% pro $k=2$, je v souladu s EA-4/16 a nezahrnuje nejistotu odběru vzorku. Odběr vzorku není předmětem akreditace a Vodohospodářské laboratoře nenesou odpovědnost za správnost odběru vzorku a výsledky zkoušek se vztahují ke vzorku tak, jak byl přijat.

Pokud informace a data dodané zákazníkem mají vliv na platnost výsledků zkoušek, Vodohospodářské laboratoře za ně odmítají odpovědnost.

Informace a data dodaná zákazníkem: Místo odběru, typ odběru, datum a čas odběru, výsledky zkoušek, které provedl zákazník.

Výsledky zkoušek se týkají jen zkoušených předmětů. Bez písemného souhlasu laboratoře se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý.



Výsledky schválil dne : 21.1.2022

Protokol vystaven dne : 21.1.2022

Mgr. Jana Švestková
Vedoucí pracoviště

KONEC PROTOKOLU

Příloha 4 Protokol o zkouškách SOURCE - odtok