

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Novinky v čištění odpadních vod
Bakalářská práce

2022

Konešová Martina

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martina Konešová**
Osobní číslo: **C18169**
Studijní program: **B3912 Speciální chemicko-biologické obory**
Studijní obor: **Klinická biologie a chemie**
Téma práce: **Novinky v čištění odpadních vod**
Téma práce anglicky: **News in Wastewater Treatment**
Zadávající katedra: **Katedra biologických a biochemických věd**

Zásady pro vypracování

1. Vypracovat literární řešení na zadané téma
2. Popsat současné možnosti v čištění odpadních vod
3. Popsat novinky v čištění odpadních vod
4. Shrnout poznatky o současném trendu čištění

Rozsah pracovní zprávy: **25 s.**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michaela Filipi, Ph.D.**
Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek

Datum zadání bakalářské práce: **18. prosince 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. července 2021**

prof. Ing. Petr Kalenda, CSc. v.r.
děkan

LS.

prof. Mgr. Roman Kandár, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2021

Prohlašuji:

Práci s názvem „Novinky v čištění odpadních vod“ jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10.5.2022

Konešová Martina v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat mé vedoucí bakalářské práce Ing. Michaele Filipi PhD. za pomoc, odborné vedení a ochotu. Dále bych chtěla poděkovat i mé rodině a partnerovi za podporu během mého studia.

ANOTACE

Bakalářská práce je vypracována formou literární rešerše. Práce se zabývá problematikou odpadních vod, jejím složením a stokováním. V dalších kapitolách jsou popsány technologie, které jsou dlouhodobě využívané, ale i technologie moderní, které mají za úkol vyčistit odpadní vodu od nového typu znečištění.

KLÍČOVÁ SLOVA

odpadní vody, stokování, čištění odpadních vod, inovace, filtrace, sorpce, hygienické zabezpečení

TITLE

News in Wastewater Treatment

ANNOTATION

The bachelor thesis is prepared in the form of a literary research. The work deals with the issue of wastewater, its composition and drainage. The next chapters describe technologies that have been used for a long time, as well as modern technologies that have the task of cleaning wastewater from a new type of pollution.

KEYWORDS

wastewater, sewerage, wastewater treatment, innovation, filtration, sorption, hygienic security

OBSAH

Seznam ilustrací a tabulek.....	9
Úvod.....	10
1 Odpadní voda.....	12
1.1 Druhy odpadních vod.....	12
1.1.1 Splašková.....	13
1.1.2 Průmyslová.....	13
1.1.3 Srážková.....	13
1.2 Složení odpadních vod.....	13
1.3 Odvádění odpadních vod.....	15
1.3.1 Gravitační způsob.....	16
1.3.2 Zvláštní způsob.....	18
2 Čistírny odpadních vod.....	21
2.1 Charakteristika.....	21
2.2 Historie nakládání s odpadními vodami a jejich čištění.....	21
2.3 Rozdělení ČOV podle velikosti.....	24
3 Stávající způsoby čištění odpadních vod.....	25
3.1 Primární čištění odpadních vod.....	25
3.1.1 Hrubé předčištění.....	25
3.1.2 Primární sedimentace a zahušťování suspenzí.....	34
3.2 Sekundární čištění odpadních vod.....	38
3.2.1 Aerobní čištění.....	39
3.2.2 Anaerobní čištění.....	45
4 Inovace v čištění odpadní vody.....	47
4.1 Terciární čištění odpadních vod.....	48
4.1.1 Filtrace.....	48
4.1.2 Sorpce.....	54

4.1.3	Biologické rybníky	58
4.1.4	Hygienické zabezpečení	59
	Závěr.....	65
	Použitá literatura	66

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1: Jednotná stoková síť [2].....	16
Obrázek 2: Oddílná stoková síť [2].....	17
Obrázek 3: Modifikovaná stoková síť [2].....	18
Obrázek 4: Podtlaková stoková síť [13].....	19
Obrázek 5: Tlaková stoková síť [13].....	20
Obrázek 6: Cloaca Maxima – vyústění do řeky Tibery [18].....	22
Obrázek 7: ČOV v Bubenči, ÚČOV a Nová vodní linka [22].....	24
Obrázek 8: Geometrie otvorů česlí a síť [29]	26
Obrázek 9: Lapák štěrku [11].....	29
Obrázek 10: Dvoukomorový horizontální lapák písku [11].....	30
Obrázek 11: Vertikální lapák písku [11].....	31
Obrázek 12: Schéma vírového lapáku písku [11]	32
Obrázek 13: Provozdušňovací lapák písku [11].....	32
Obrázek 14: Schéma separátoru tuků Lapol [11].....	33
Obrázek 15: Schéma pravoúhlé horizontální usazovací nádrže [30]	35
Obrázek 16: Schéma kruhové horizontální usazovací nádrže [30].....	36
Obrázek 17: Schéma vertikální usazovací nádrže [30]	37
Obrázek 18: Obecné schéma aktivační ČOV [42]	40
Obrázek 19: Schéma skrápěného biofiltru [2].....	45
Obrázek 20: Koncentrace celkového fosforu v povrchových vodách [59].....	47
Obrázek 21: Druhy filtrací [62].....	49
Obrázek 22: Schéma trubkového modulu [11]	53
Obrázek 23: Schéma spirálového modulu [11]	54
Obrázek 24: Schéma jednovrstevné a vícevrstevné uhlíkové nanotrubičky [99]	57
Obrázek 25: Biologický rybník využívaný k dočišťování OV [73].....	58
Tabulka 1: Rozdělení skupin polutantů [11].....	15
Tabulka 2: Možnosti využití filtračního procesu u daného typu modulu [63].....	52

Úvod

Čistá voda je neodmyslitelnou součástí našich životů. Jedná se o nenahraditelný zdroj používaný v každodenním životě. Voda je základem života, nutná pro náš vznik i naše žití. Je nutné si uvědomit, že kvalita vody zásadně ovlivňuje naše zdraví a životní prostředí, ve kterém se nacházíme. Proto je nutné dbát i na výslednou kvalitu vyčištěné odpadní vody. Kvalita odvádění odpadních vod a čištění odpadních vod určuje kulturní, sociální i ekonomickou vyspělost dané společnosti. Nedochozí-li k dostatečnému čištění odpadních vod, dochází k výraznému snížení kvality vodního recipientu.

Vlivem nově objeveného znečištění odpadních vod, nových nebezpečných látek, environmentální krize, projevující se mimo jiné i extrémními suchy a zpříšňování legislativy z hlediska potřebné kvality pro vypouštění odpadních vod do vodního recipientu vede k nutnosti vylepšení stávajících technologií či k tvorbě technologií nových. Právě z tohoto hlediska pokládám toto téma za velmi důležité. Navíc čištění odpadních vod je považováno za nejrychleji se rozvíjející odvětví.

Předpokládá se, že do roku 2030 dojde ke zvýšení celosvětové poptávky po vodě na 3000 kubických kilometrů. Jedná se o objem, který dvojnásobně překračuje celosvětový objem vyprodukovaných odpadních vod. Avšak ukazuje se, že 80–95 % vyprodukované a vypouštěné odpadní vody do vodního recipientu zůstává nevyužitá. [101]

Tato bakalářská práce je zpracována pomocí literární rešerše. Zabývá se inovacemi v čištění odpadních vod. Hlavním cílem této bakalářské práce je seznámení čtenářů s novými technologiemi využívaných k terciárnímu čištění odpadních vod. Začátek této práce se zabývá odpadními vodami, tedy jejím složením, druhům odpadních vod, a jak jsou odpadní vody charakterizovány z pohledu zákona. Součástí první kapitoly jsou také možnosti jejich odvádění do čistíren odpadních vod. Další kapitola je věnována charakteristice čistíren odpadních vod, rozdělení podle velikosti, historii stokování a čištění odpadních vod nejen z pohledu českých dějin, ale i těch světových. Pro úplnost pochopení čistírenského procesu jsou v další kapitole rozebírány tradiční postupy čištění odpadních vod, které jsou v současné době nejvyužívanějšími. Jedná se o čistírenské procesy primárního a sekundárního čištění odpadních vod. Poslední kapitola je věnována inovativním technologiím a metodám terciárního čištění odpadních vod. Tedy konkrétně jsou zmíněny technologie založené na filtraci, absorpci

a hygienizaci odpadních vod. V závěrečné kapitole jsou zmíněny i vhodné kombinace těchto technologií.

1 Odpadní voda

Odpadní voda je taková, jejíž chemické, biologické a fyzikální vlastnosti byly pozměněny. Tyto změny vod nám neumožňují ji použít k daným účelům. Použití technologií v čištění odpadních vod je závislé právě na jejím složení. [1]

Za odpadní vodu je také považována voda odváděná stokovou sítí nehladě na její původ. Dále podzemní vody, které jsou odčerpávány z hydraulické ochrany v okolí průmyslových staveb, drenážní vody, a nakonec voda znečištěná jakýmkoliv výrobním procesem. [2]

Podle § 38 odst. 1 zákona č 254/2001 Sb. „*Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*.“ (novela vodního zákona č. 544/2020 Sb. mění jen některé předpisy, odpadní vody zachovány) je charakterizována odpadní voda takto: „*Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních.*“ [3]

Odpadní vody jsou stokovými systémy dopraveny do čistíren odpadních vod, kde dochází k jejich vyčištění od znečišťujících látek. Kvalitu a množství vypouštěných odpadních vod do vodního recipientu vymezuje nařízení vlády č. 401 ze dne 14. prosince 2015 „*Nařízení 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.*“ [6]. Vyčištěná voda, splňující limity podle výše uvedeného nařízení, je následně vypouštěna do vod povrchových tzv. recipientu. [2]

1.1 Druhy odpadních vod

Odpadní vody můžeme rozdělit do několika skupin: splašková, průmyslová a srážková.

1.1.1 Splašková

Jedná se o městskou odpadní vodu pocházející z domácností, sociálních zařízení podniků jako jsou WC, umývárny a kuchyně. Tato odpadní voda vzniká pouze v tom městě, které nemá žádný průmysl. Jinými slovy tato voda neobsahuje vodu průmyslovou. [7]

1.1.2 Průmyslová

Průmyslová odpadní voda vzniká průmyslovou a výrobní činností. Čištění této vody může probíhat ve vlastních čistících zařízeních podniku nebo je odpadní voda dopravována do veřejné čistírny odpadních vod. [8]

Probíhá-li čištění ve vlastních čistících zařízeních a splňuje-li vyčištěná odpadní voda limity platné legislativy, je možné ji vypustit přímo do recipientu [11]. Podniky, jež vypouštějí odpadní vody rovnou do stokových sítí jsou povinny dokládat příslušnými dokumenty, že splňují limity dané kanalizačním řádem a smlouvou uzavřenou mezi průmyslovým podnikem a provozovatelem kanalizací a čistírny odpadních vod [10].

1.1.3 Srážková

Vodu srážkovou můžeme nazvat i vodou dešťovou. Ke znečištění dochází až po dopadu na znečištěné nepropustné plochy (střechy, komunikace, parkoviště), kdy dochází ke smývání nahromaděných znečišťujících látek. [2, 9] Avšak odpadní vodou se stává až tehdy, vteče-li do kanalizace [3].

1.2 Složení odpadních vod

Srážková voda může být znečištěna rozsáhlou škálou látek pocházejících z různých zdrojů, například výfukových plynů, otěrů materiálů, úniků pohonných hmot atp. Tato voda může obsahovat anorganické nerozpuštěné látky jako popel, prach, písek. Toto znečištění může mít původ v atmosféře nebo k tomuto znečištění může docházet na pozemních komunikacích vlivem uvolňování těchto částic ze znečištěných vozidel. Ke znečištění dochází i na nezpevněných komunikacích, kdy dochází k odplavení materiálu vozovky. Určitou míru na znečištění dešťových odpadních vod mají i kovy. Jde o anorganickou rozpustnou složku,

nejčastěji železo a zinek. Znečištění je způsobeno otěrem materiálů korodujících střech a okapů. Ovšem v těchto vodách se nemusejí nacházet pouze tyto kovy, ale můžeme zde nalézt i kovy toxické jako jsou rtuť, kadmium a arsen. V zimním období je nález zvýšeného obsahu chloridů a síranů, z důvodu používáním posypových solí (NaCl, CaCl₂). Mezi další anorganické znečišťující látky řadíme sloučeniny dusíku a fosforu. Srážkovou odpadní vodu znečišťují i látky organického původu. Zejména jde o dioxiny. Jedná se o látky odlišné toxicity vznikající spalováním fosilních paliv. Dále ropné látky (benzín, nafta, olej, petrolej), chlorované uhlovodíky a polyaromatické uhlovodíky (PAU). Míra znečištění těchto odpadních vod je podmíněna dobou trvání srážek a jejich intenzitě. Platí, že čím je delší doba srážek, tím je znečištění srážkové vody menší. Znečištění závisí i na časové prodlevě mezi jednotlivými srážkami. [2]

Komunální odpadní vody se skládají převážně z vody (99,9 %) spolu s relativně malými koncentracemi suspendovaných a rozpuštěných organických a anorganických pevných látek. Mezi organické látky přítomné v odpadních vodách patří sacharidy, lignin, tuky, mýdla, syntetické detergenty, bílkoviny a jejich produkty rozkladu, stejně jako různé přírodní a syntetické organické chemikálie z procesních odvětví. Komunální odpadní vody také obsahují různé anorganické látky z domácích a průmyslových zdrojů, včetně řady potenciálně toxických prvků, jako je arsen, kadmium, chrom, měď, olovo, rtuť, zinek a další. I když toxické materiály nejsou přítomny v koncentracích, které by mohly postihnout zdraví člověka, mohou působit na fytotoxické úrovni, což by omezilo jejich zemědělské využití. Avšak z hlediska zdraví při zemědělském využívání odpadních vod jsou kontaminujícími látkami patogenní mikroorganismy a makroorganismy. Patogenní viry, bakterie, prvoci a hlísty mohou být přítomny v surových komunálních odpadních vodách, a přežijí v životním prostředí po dlouhou dobu. *Escherichia coli* je nejrozšířenějším ukazatelem fekálního znečištění. [4]

Charakter znečištění a složení průmyslových vod se odvíjí od zaměření prováděné činnosti. Tento charakter se mění v závislosti nejenom průmyslových odvětví, ale i zvolených výrobních technologií v daných oborech. [8]

Polutanty znečišťující odpadní vody lze rozdělit do několika skupin [11]. Toto rozdělení je znázorněno v tabulce 1.

Tabulka 1: Rozdělení skupin polutantů [11]

polutanty				příklady
rozpuštěné	organické	biologicky rozložitelné		cukry, mastné kyseliny
		biologicky nerozložitelné		azobarviva
	anorganické			amonné ionty, fosforečnany
nerozpuštěné	organické	biologicky rozložitelné		škrob, bakterie
		biologicky nerozložitelné		papír, plasty
		usaditelné		celulózová vlákna
		neusaditelné	koloidní	bakterie
	plovoucí		papír	
	anorganické	usaditelné		písek, hlína, šterk
neusaditelné			brusný prach	

Za znečišťující faktory, které nejsou uvedeny v tabulce 1, se považují i faktory jako tepelné znečištění a radioaktivita [11].

V dnešní době významnou hrozbu ve znečištění vod představují mikropolutanty. Jde o látky léčiv a výrobků osobní péče (PPCP – pharmaceuticals and personal care products), které se v odpadních vodách nacházejí ve velmi malých koncentracích (nanogramy až mikrogramy). Z tohoto důvodu jsou mikropolutanty v čistírnách odpadních vod špatně odstranitelné, a tak jsou vypouštěny do okolního prostředí. Mikropolutanty mohou vykazovat karcinogenní, teratogenní a embryotoxické účinky. Problémem je i velmi dobrá stabilita některých mikropolutantů, kdy je možnost jejich akumulace v životním prostředí, kde může současně docházet i k synergismu s ostatními látkami. [5]

1.3 Odvádění odpadních vod

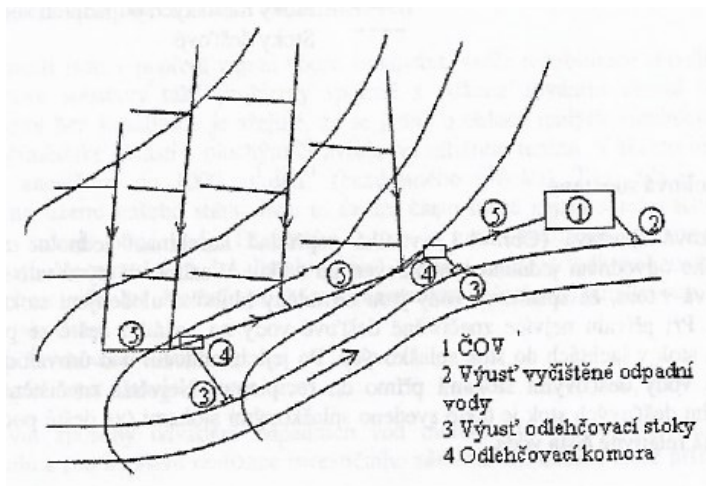
Odvádění odpadních vod neboli stokování můžeme rozdělit podle způsobu na 2 typy. Prvním typem je způsob gravitační. Druhým typem je zvláštní způsob odkanalizování. [13]

1.3.1 Gravitační způsob

Možnosti, jakými můžeme dopravovat odpadní vody do čistíren odpadních vod (ČOV) rozdělujeme do 3 základních kategorií. Jedná se o jednotnou stokovou soustavu, oddílnou stokovou soustavu a modifikovanou stokovou soustavu. Aby tyto stokové soustavy mohly správně odvádět odpadní vody do ČOV musí být zajištěn dostatečný spád. [12] Hovoříme tedy o odkanalizování založeném na gravitační síle [13].

1.3.1.1 Jednotná stoková soustava

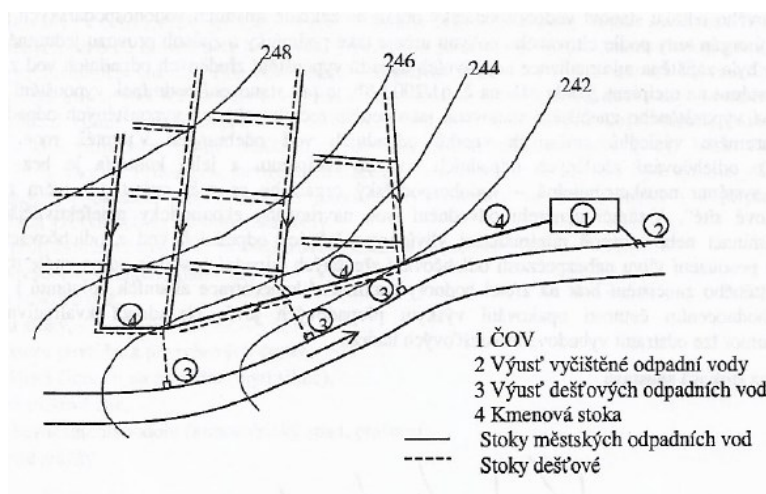
V České republice jsou jednotné stokové soustavy nejvyužívanější. Tento způsob dopravuje více druhů odpadních vod, zejména odpadní vody splaškové a srážkové, jedinou trasou stokové sítě. Srážkové vody jsou charakteristické pro své nerovnoměrné zatěžování stokové sítě vlivem přívalových dešťů. Z tohoto důvodu byly zřízeny tzv. odlehčovací komory. Tyto odlehčovací komory mají v době určitého zvýšeného průtoku odpadních vod za úkol odvádět nařazené odpadní vody do odvodňovací stoky ústící do recipientu nebo dešťové nádrže. [12] Tímto chrání stokovou síť a ČOV před jejich poškozením [14]. Schéma jednotné stokové sítě je znázorněno na obrázku 1.



Obrázek 1: Jednotná stoková síť [2]

1.3.1.2 Oddílná stoková soustava

Oddílná stoková soustava odvádí různé druhy odpadních vod zvlášť. To znamená, že splašková odpadní voda je vedena jinou trasou stokové sítě než voda srážková. Výjimku tvoří odpadní průmyslové vody z malých provozoven. Průmyslová voda pak využívá stokovou trasu určenou pro vody splaškové. [2] Splašková odpadní voda je dopravována do ČOV, zatímco srážková voda putuje přímo do recipientu nebo dešťových nádrží. V dešťových nádržích oddílné stokové soustavy, stejně tak jednotné stokové soustavy, dochází k čištění a následnému vypouštění těchto vod do vodního recipientu. [15] Na obrázku 2 je zobrazeno schéma oddílné stokové soustavy.

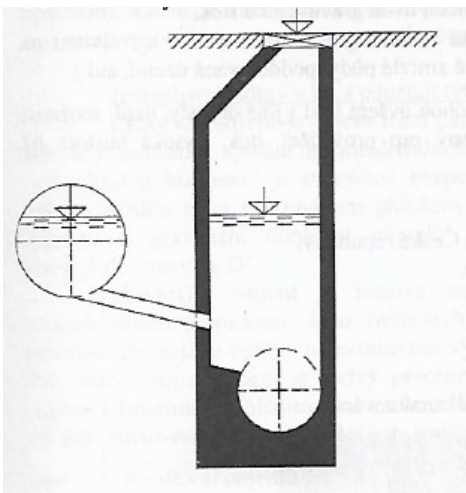


Obrázek 2: Oddílná stoková síť [2]

1.3.1.3 Modifikovaná stoková soustava

Modifikovaná stoková soustava vznikla spojením jednotné a oddílné stokové soustavy [2]. Nazýváme ji též soustavou kombinovanou. Využívá se především v oblastech, kde je vhodné využití seskupení výše zmíněných dvou stokových soustav. To může znamenat, že většina oblasti je odvodňována jednotnou stokovou soustavou, zatímco pro okrajové části je výhodné použití soustavy oddílné. [15] Principem této stokové soustavy je odvádění splaškové odpadní vody pomocí hluboko uloženými stokami, zatímco voda srážková je odváděna mělce uloženým systémem potrubí. Existují 2 obměny modifikované stokové soustavy. V první obměně dochází v raném období přivalových dešťů, kdy je tato odpadní voda

nejvíce znečištěná, k odvádění srážkové vody do splaškových odpadních stok. Po dostatečné akumulaci srážkových vod ve splaškové stoce, kdy dosáhne hladina nad úroveň dna srážkových stok, dochází k odtoku vody srážkové mělce uloženým potrubím do vodního recipientu. Do recipientu odchází poměrně čistá voda. Znečištěná srážková voda je za deště pod tlakem odvedena do ČOV. Druhá obměna modifikované stokové soustavy je více využívána k odvodnění malých obcí. Téměř neznečištěné srážkové odpadní vody vzniklé oplachem střech, neprášných méně frekventovaných pozemních komunikací a chodníků jsou odváděny stokami pro vody srážkové přímo do vodního recipientu. Stokami jsou společně se splaškovými odpadními vodami odváděny do ČOV znečištěné srážkové vody, které vznikly oplachem frekventovanějších vozovek, parkovišť, popřípadě i zásobovacích ramp. Tato stoková soustava narozdíl od jiných způsobů stokových sítí nevyužívá oddělovací komory. [2] Schéma modifikované stokové soustavy je znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 3: Modifikovaná stoková síť [2]

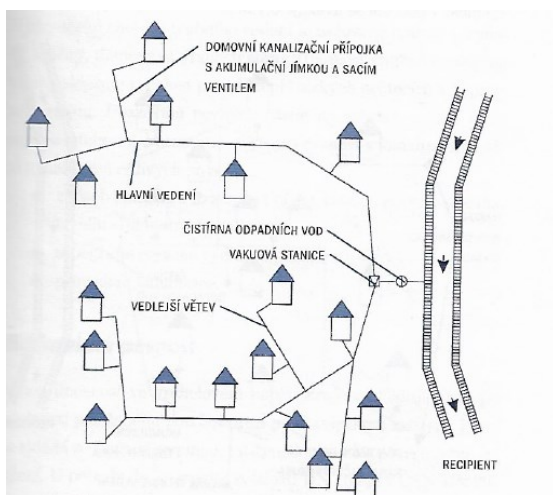
1.3.2 Zvláštní způsob

Existuje i jiný způsob dopravy odpadních vod než odkanalizování založené na gravitaci. Jedná se o tzv. zvláštní způsoby odkanalizování. Tento způsob dopravy odpadních vod je založený na využití tlaku nebo podtlaku. Je používán hlavně tehdy, je-li použití gravitačního způsobu nemožné, např. z důvodu nedostatečného sklonu terénu, rozptýlené zástavbě,

občasného přítoku odpadních vod možným vlivem sezónního využívání nemovitostí nebo vysoké hladiny spodních vod. [13]

1.3.2.1 Podtlaková kanalizace

Prvním typem je podtlaková kanalizace. Toto odkanalizování je založeno na principu vyvinutí podtlaku pomocí vakuových stanic [2]. Tyto centrální vakuové stanice jsou umístěny na hlavní linii stokového potrubí [13]. Vyvinutý podtlak působí pomocí podtlakového potrubí na speciální sací ventil umístěný ve sběrné šachtě obytných objektů. Dojde-li k otevření sacího ventilu, dojde k nasávání odpadní vody společně se vzduchem do potrubního systému, dále k vakuové stanici tvořené podtlakovými nádobami. Z těchto nádob je následně odpadní voda odváděna čerpadly na ČOV. [2] Schéma podtlakové stokové sítě je uvedeno na obrázku 4.

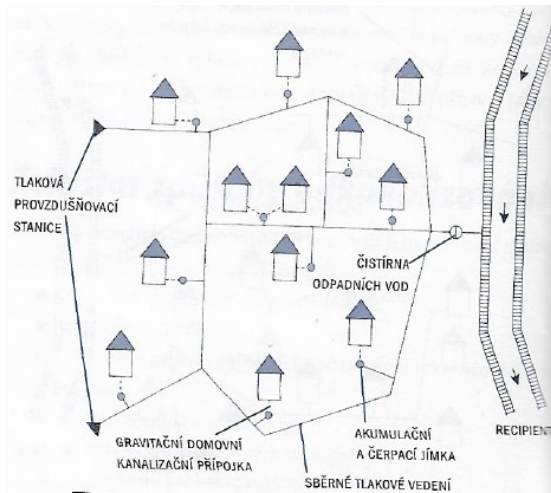


Obrázek 4: Podtlaková stoková síť [13]

1.3.2.2 Tlaková kanalizace

Mezi další zvláštní způsoby odkanalizování řadíme tlakovou kanalizaci. Jedná se o nejběžnější systém odvádění odpadních vod v této kategorii. Principem je přetlak v kanalizačním systému, který vzniká pomocí čerpadel umístěných v čerpacích stanicích v blízkosti odvodňovaných nemovitostí. [2] Odpadní voda do akumulární jímky čerpací stanice přitéká domovními přípojkami vlivem gravitace. Z akumulární jímky čerpacích stanic je

pomocí čerpadel a tlakové stokové sítě odpadní voda dopravena na ČOV. Jedna akumulční jímka může být využívána více obytnými objekty, či každý objekt může mít svou vlastní akumulční jímku. Záleží na kapacitě čerpadel. [13] Na obrázku 5 je zobrazeno schéma tlakové stokové sítě.



Obrázek 5: Tlaková stoková síť [13]

2 Čistírny odpadních vod

2.1 Charakteristika

Čistírny odpadních vod jsou zařízení určená k čištění odpadních vod. ČOV jsou často budovány nedaleko měst, obcí, průmyslových nebo zemědělských zařízení. Mohou zpracovávat jak samostatné komunální (splaškové) odpadní vody, tak komunální odpadní vody smíšené s vodami průmyslovými. [16] ČOV nemá za úkol pouze čistit odpadní vody, ale zajištěný provoz ČOV musí pracovat v souladu se zachováním bezpečnosti a zdraví zaměstnanců a obyvatel v blízkosti dané čistírny [2].

ČOV vykonává pouze předčištění odpadních vod. Následné dočištění probíhá po vypuštění předčištěných vod do vodního recipientu. ČOV zahrnuje i objekty pro likvidaci vzniklých kalů a plyných látek. Tyto objekty nazýváme kalová a plynová hospodářství. [16]

Existuje několik typů ČOV. Rozděluje je do kategorií podle jejich velikosti či podle typu využívaného čistírenského procesu. [16]

2.2 Historie nakládání s odpadními vodami a jejich čištění

Historické prameny uvádějí, že už lidé ve starověku důmyslně nakládali s odpadními vodami [17]. Nedochovalo pouze ke stokování, ale pokoušeli se i o čištění odpadní vody. Tyto metody jsou v dnešní době známé jako přírodní metody čištění odpadních vod. Doba starověku byla s ohledem na stokování odpadních vod vyspělejší než doba středověká. [2]

Jedním z nejstarších systémů nakládání s odpadními vodami byl postaven v Mohendžodaro poblíž řeky Indus (dnešní území Pákistánu) kolem roku 1500 před naším letopočtem. Soukromé i veřejné domy byly vybaveny toaletami. Voda na mytí a koupání, stejně jako dešťová voda odtékala speciálními drážkami do řeky Indus. [17]

Dalším důkazem o vysokém hygienickém standardu starověku je kanalizační systém Cloaca Maxima. Tato stoka byla vystavěna v Římě kolem roku 500 před naším letopočtem a ústila do řeky Tibery. Odpadní vody byly transportovány vlivem dostatečného spádu kanálu, tzn. díky gravitaci. Z důvodu své nedostatečné kapacity muselo dojít během následujících století k rozšíření stoky. Tento kanál se také dočkal i zastřešení kamennou klenbou. Kanál

dosahuje šířky až 3,2 m a výšky až 4,2 m. [17, 18] Hlavním účelem bylo odvodnit město, ale používala se i k odvádění odpadní vody z latrín, městských lázní či fontán. Cloaca Maxima zůstala využívanou součástí nynější kanalizační sítě Říma. [18]



Obrázek 6: Cloaca Maxima – vyústění do řeky Tibery [18]

Do poloviny 19. století neexistovala skoro žádná soustava pro nakládání s odpadními vodami. Odpad byl často vyhazován přímo do ulic. Situace se zlepšila až po instalaci vodovodů, používání vodních toalet a konstrukcí otevřených a uzavřených příkopů odpadních vod. Během tohoto období se však počet obyvatel ve městech výrazně zvýšil. Proto bylo nutné najít zásadní řešení problémů. V Londýně v letech 1865–1868 byl podél řeky Temže vybudován velký kanál. [17] Na kanalizační síť byla připojena většina obyvatel Londýna [20]. Na východ od Londýna byly tyto odpadní vody z kanálu vypuštěny do Temže, a to v místě za přílivovým segmentem této řeky [21]. Kvůli výškovému rozdílu potřebnému k dopravě vody byly v Crossners a Abbey Mills vybudovány čerpací stanice odpadních vod. V zásadě se jednalo o stejnou metodu používanou v Římě o 2000 let dříve. Jednalo se tedy o sběr, odvádění a vypouštění odpadních vod. [17]

V Praze se první dům dočkal odkanalizování v roce 1310. Jednalo se o dům hradčanského probošta nacházející se v dnešní ulici Nerudově. Jedná se o první zmínku kanalizační výstavby v Praze, ale nejednalo se o běžnou situaci. [19] Sice převážná část pražských domů disponovala hnojišti (žumpami) určené pro lidské výkaly, ale neustále docházelo k vylévání splašků na ulici [23]. V roce 1660 se Praha dočkala odvodnění dalšího objektu. Jednalo se o jezuitské koleje v Klementinu. Tato stoka byla mimořádná v tom, že byla splachovací. [2] Ke splachování docházelo vodou z kašny umístěné na nádvoří Klementina [19]. Do dnešní doby se však stoka

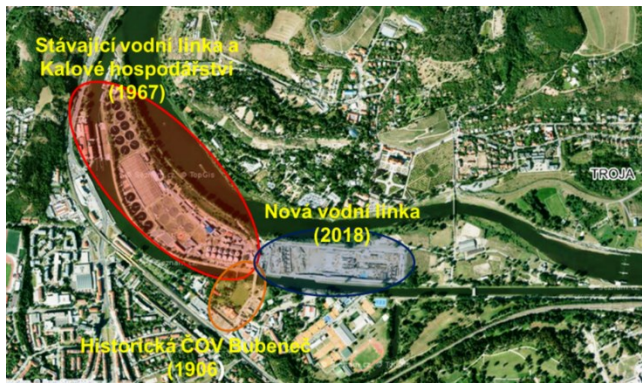
nedochovala. K demolici došlo při stavbě nové kanalizační sítě na počátku 20. století. [23] V tomto roce také došlo k výstavbě klenutých stok z původních příkopů pro odvádění splaškových a srážkových odpadních vod. Ty vedly odpadní vodu z míst nynějšího Můstku podél Národní třídy a z míst nynější Prašné brány podél Revoluční třídy. Tyto klenuté stoky ústily do Vltavy. [19] Výrazné odvodnění města se uskutečnilo v letech 1818–1828 kdy bylo vystavěno 44 km kanalizační sítě a v roce 1865 byl zbudován úřad pro správu kanalizace [2].

Za zásadní akt pro vývoj čistírenských technologií se považuje založení Královské komise pro likvidaci splašků v Anglii roku 1898 (v originálním znění Royal Commission on Sewage Disposal), jejíž funkcí bylo určovat faktory znečištění vodních zdrojů a standardizovat množství znečištění vypouštěných odpadních vod, podílet se na vývoji a zavedení vhodných metod čištění odpadních vod. [2, 22]

Vývoj čistírenských procesů vedl v roce 1914 k objevu metody aktivačního procesu [2]. Aktivační proces se tak zařadil mezi metody, které byly využívány již v 19. století. Jednalo se o čištění mechanické, chemické a biologické filtrace. [22]

Vlivem zhoršování hygienického stavu v Rakousku-Uhersku na přelomu 19. a 20. století bylo toto císařství nuceno vybudovat kanalizační síť a začít čistit odpadní vody vypouštěné z městských stok [22]. Stavební práce kanalizačního systému započaly již v roce 1897 a stavba první pražské ČOV v Bubenči začala roku 1901 [23]. Pražská kanalizační síť založená na gravitačním způsobu odvádění odpadních vod, navrhnutá Ing. Lindleyem je využívána dodnes [2, 24]. Čistírna odpadních vod v Bubenči byla v provozu od roku 1905 [19]. Tato ČOV byla založená na mechanickém způsobu čištění a zahrnovala tak dlouhodobou sedimentaci pevných částic, chemickou koagulaci se společnou sedimentací vzniklých nerozpuštěných látek [22, 23]. Technologická linka obsahovala česle, lapače písku a pro sedimentaci byly využívány tzv. dekantační nádrže. Celkem bylo vystavěno 10 dekantačních nádrží, které pracovaly ve dvojicích. Vždy pracovalo 6 nádrží a z toho 4 prázdné nádrže procházely procesem čištění. Nádrže byly 88 m dlouhé a dosahovaly hloubky 4 až 6 m. Odpadní voda byla do dekantačních nádrží přiváděná z rozdělovací galerie. Čistírna v Bubenči i přes provedené intenzifikační úpravy nebyla dostačující a svůj provoz ukončila v roce 1967. Starou čistírnu nahradila nově nedaleko postavená Ústřední čistírna odpadních vod (ÚČOV) nacházející se na Císařském ostrově. Funguje na mechanicko-biologickém principu využívající aktivační proces. [25] Tato ÚČOV prošla za svou dobu existence intenzifikacemi, modernizacemi jednotlivých prvků a výstavbou Nové vodní linky. Stavba Nové vodní linky byla dokončena v roce 2018. [26]

Nová vodní linka není samostatnou čistírenskou jednotkou, jelikož nedisponuje svým vlastním kalovým hospodářstvím [25]. Ústřední čistírna odpadních vod složená ze Stávající vodní linky a Nové vodní linky je v dnešní době plně využívána [27].



Obrázek 7: ČOV v Bubenci, ÚČOV a Nová vodní linka [22]

2.3 Rozdělení ČOV podle velikosti

S velikostí ČOV jsou spjaty rozdíly v používaných technologiích daných čistírenských procesů. S tímto faktorem souvisí ekonomická a obsluhová náročnost čistírny. Zpravidla platí, že malé ČOV mají ve srovnání s velkými ČOV mírnější nároky na účinnost, je vyžadován pouze občasný dozor nebo dozor skrze vzdálený dispečink. Malé čistírny odpadních vod považujeme takové, na které je připojeno 50–5000 ekvivalentních obyvatel (EO)¹. Zatímco středními a velkými ČOV se považují takové, jejich počet připojených EO přesahuje 5000. [11, 13]

¹ Ekvivalentní obyvatel (EO) je znečišťovatel, který je trvale napojen na danou ČOV. Tento ekvivalentní obyvatel denně vyprodukuje okolo 120–150 litrů odpadní vody. Tento údaj je důležitý pro návrh kapacity ČOV. [32, 33]

3 Stávající způsoby čištění odpadních vod

Způsoby, které může ČOV využívat k čištění odpadních vod se dělí na mechanické, biologické a fyzikálně-chemické. Daná ČOV nemusí využívat pouze jeden způsob. Ve většině případů je čistírenská linka složená z více metod čištění, aby se docílilo potřebné kvality nutné pro vypuštění do vodního recipientu. [11] Hovoříme tedy o několika stupňovém čištění [28]. Nejzastoupenějším typem ČOV v České republice jsou čistírny založené na mechanicko-biologickém procesu [16]. V dnešní době se už samostatné mechanické ČOV nezakládají [30].

3.1 Primární čištění odpadních vod

Primární čištění je známo pod pojmem mechanické čištění odpadních vod [50]. Jedná se o nejjednodušší způsob čištění odpadních vod [13]. V tomto způsobu dochází k zachycení větších, vodou sunutých a plovoucích předmětů jako jsou například papír, různé obaly nebo kuchyňský odpad. Také se vychytávají nerozpustné makroskopické částice (např. štěrk, písek, tuky, vlasy atd). [2, 11, 29] K mechanickému čištění odpadních vod se využívá fyzikálních procesů jako je filtrace a sedimentace [51]. Vychytený materiál je esteticky a hygienicky škodlivý a většinou se ukládá na skládku [30].

3.1.1 Hrubé předčištění

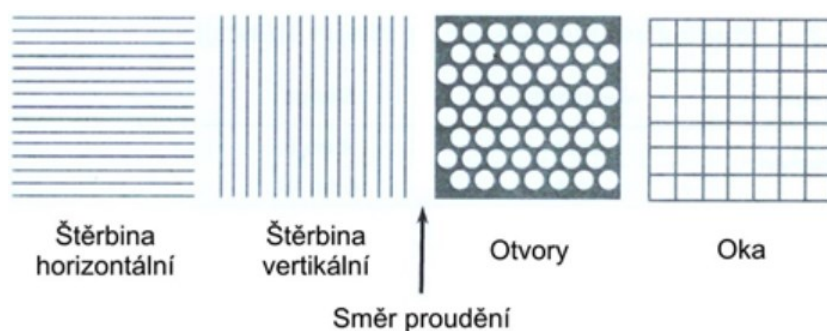
Hrubé předčištění má za úkol zejména chránit ČOV před možným mechanickým poškozením v následných procesech čištění [1]. K tomuto předčištění se využívají zařízení jako jsou česle, síta, lapáky štěrku, lapáky písku, lapáky tuků a ropných látek [31,11].

3.1.1.1 Česle a síta

Česle a síta využívají procesu cezení. Zejména jsou využívány k zachycení předmětů a látek dosahující velikosti až 1 mm nebo menších, kdy jejich vlivem by mohlo dojít k narušení provozu ČOV. Proto se nacházejí na začátku technologické linky. Tímto slouží výhradně k ochraně čerpadel proti poškození. [2] Aby se dosahovalo co nejlepších výsledků čištění je velmi důležité, aby byla korigována průtočná rychlost v korytě přítékající odpadní vody. Při rychlosti nižší, než je hodnota 0,3 m/s by docházelo k nežádoucí sedimentaci velmi jemných

částic (např. písku) v korytu. Při větší rychlosti než 0,9 m/s by docházelo k strhávání již zachyceného materiálu proudem vody. [11]

Česle jsou složeny z prutů nazývané česlice a mezerami mezi těmito pruty nazývané průliny. Česlice tedy tvoří hustou síť. [29] Česlice jsou složeny převážně z oceli. Mohou mít tvar obdélníkový, kruhový či lichoběžníkový. [11] To znamená, že otvory česlí a sítí mohou mít podobu štěrbin či ok [29]. Jejich geometrie je znázorněná na obrázku číslo 8.



Obrázek 8: Geometrie otvorů česlí a sítí [29]

Podle velikosti příslušných průlin dělíme sítia a česle na hrubé, jemné a mikrosítia [29]. Velikost průlinu tedy určuje, jak velké předměty a částice jsou schopny zachytávat [2].

Zachytávaný materiál se nazývá shrabky [29]. Složení shrabků je závislé na daném ročním období [2]. Z převážné části jsou složeny ze zbytků hadrů, papírem a plasty. Menší podíl je tvořen zbytky ovoce a zeleniny, gumou či gumovými výrobky a nerozpadlými exkrementy. [1] Česle podle automatizace shrabávání shrabků můžeme rozdělit na česle ručně stírané a strojně stírané česle. Strojně stírané česle nazýváme též jako samočisticí. [13] Převážná část ČOV má k dispozici 2 česlové kanály. Česlové kanály jsou zařízeny uzávěry. Tyto uzávěry jsou užívány pro odklon odpadní vody k jiným česlím, je-li nutná údržba nebo oprava určité česle. Shrabky jsou stírány do kontejneru nebo na dopravní pás. Následně jsou transportovány a zpracovány. Podle konkrétního složení a množství shrabků je možné nahromaděné shrabky likvidovat kompostováním, skládkováním nebo spalováním. [2] Jeden ekvivalentní obyvatel (EO) za jeden rok vyprodukuje průměrně 2–3 litry shrabků zachycených na hrubých česlích a okolo 5–10 litrů shrabků zachycených na jemných česlích [11].

3.1.1.1.1 Hrubé česle

Tyto česle slouží k zachycení velkých částic a drti. Průliny hrubých česlí tedy dosahují velikosti 5–20 cm a jsou umístěny po celé délce koryta protékající odpadní vody. Tyto česle bývají ve většině případů ručně stírány, a to z důvodu malého množství zachyceného materiálu. Po pravidelném odstranění shrabků dochází ke zvýšenému průtoku odpadní vody, rychlosti protékajícího proudu odpadní vody a snížení účinnosti vychytávání. Tento problém je možné snížit při použití strojně stíraných česlí. [2] Strojně stírané hrubé česle jsou používány u ČOV nad 10 000 EO. U ČOV pod 10 000 EO jsou postačující česle ručně stírané. [29] Hrubé česle jsou využívány hlavně u jednotných stokových soustav. Jedná se také často o ochranu umístěnou před čerpacími stanicemi ČOV. [31]

3.1.1.1.2 Jemné česle

Jsou určeny k vychytávání menších částic, jelikož velikost průlin u těchto česlí dosahují velikosti 10–20 mm. Průliny mají v příčném směru tvar části kruhu nebo také se může jednat o přímé, případně svislé průliny, jejichž sklon je ve směru proudu vody. Většinou jde o strojně stírané česle. Mají-li tyto česle stírací zařízení situované na straně přítoku odpadní vody, je třeba dbát na to, aby jejich pohyblivé části nebyly ponořeny do odpadní vody mimo dobu stírání. Jinak by docházelo k nefunkčnosti zařízení vlivem zachycování předmětů, nejčastěji vláken. [2]

3.1.1.1.3 Ručně stírané česle

U ručně stíraných česlí je vhodné použít česle s průlinami velikosti 15–20 mm. U ČOV bez primární sedimentace je vhodné použití česlí s průlinami do 10 mm. [13] Je nutné, aby sklon česlí vůči korytu odpadní vody byl v rozmezí 30°–70° [29]. Stírání zajišťuje obsluha pomocí tzv. hřebel [31]. Prvkem ručně stíraných česlí je i odkapávací plocha [13].

3.1.1.1.4 Strojně stírané česle (samočisticí)

Strojně stírané česle jsou tvořeny ze segmentů sít s průlinami vytvářející nekonečný pás. Velikost průlin je dána šířkou česlových segmentů. [2] U samočisticích česlí je vyžadován

jejich sklon v rozmezí 45°–90° [29]. Běžně se využívají průliny o rozměrech od 1 mm. Samočisticí česle jsou charakteristické svou vysokou účinností. [13]

3.1.1.1.5 Stupňové česle (step screen)

Stupňové česle jsou česly pohybovými. Česlice mají podobu pásu. Z přítokové strany je česlice tvořena zářezy, jejichž tvar má tvar schodů. Shrabky jsou zachytávány a sunuty směrem nahoru. Toto sunutí shrabků vzhůru přispívá k dalšímu vychytávání nežádoucího materiálu. [29]

3.1.1.1.6 Bubnová pohyblivá síta

Tento systém je tvořen sítím složeného z otáčivého bubnu a různě rozšířenými česlicemi, tedy různými velikostmi průlinu. Česlice jsou uprostřed bubnu rozšířeny více než česlice na okraji bubnu. To přispívá k nižšímu riziku ucpávání bubnu v procesu čištění odpadní vody. Čištěná voda protéká vnější stranou česlicového bubnu. Následně tato voda v bubnu rotuje a dnem bubnu vytéká. Shrabky jsou mechanicky stírány. Částice, jejichž průměr je menší, než rozměr průlinu se mohou zachytávat mezi česlemi. Tento problém je řešen pomocí oplachu proudem vody, který vytéká ven z bubnu, anebo pomocí prudkým proudem vody vytvořené tryskami umístěnými uvnitř bubnu. [2]

3.1.1.1.7 Bubnová nepohyblivá síta

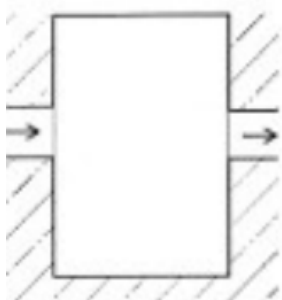
Systém se skládá z šikmo položeného bubnu. Buben je tvořen kruhovými česlicemi, které se směrem ke konci bubnu rozšiřují. [2] Bubnová nepohyblivá síta můžeme dále rozdělit, podle velikosti průlinu, na jemné česle, štěrbinová síta a sítové šneky [29].

3.1.1.1.8 Mělnící česle

Jsou další formou česlí využívaných k mechanickému způsobu čištění odpadních vod. Jejich funkcí je dostatečně rozmělnit znečišťující materiál tak, aby docházelo k následnému usazení vzniklé jemné suspenze v dalších úsecích mechanického čištění ČOV. Tyto česle usnadňují čištění v malých ČOV. [34]

3.1.1.2 Lapáky štěrku

Lapák štěrku je otevřená jáma vychytávající zejména štěrk, který je dopravován směrem k ČOV společně s odpadní vodou. Může být umístěn před samotnou čistírnou odpadních vod. Součástí lapáku štěrku může být i rýpadlo určené k odstraňování zachyceného štěrku, popřípadě i kontejneru na štěrk. [35] Schéma lapáku štěrku je znázorněno na obrázku 9.



Obrázek 9: Lapák štěrku [11]

3.1.1.3 Lapáky písku

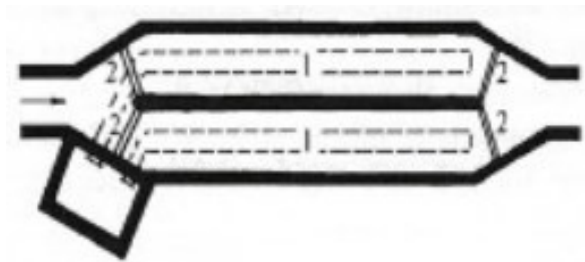
Toto čištění následuje po vyčištění odpadní vody na česlích a lapácích štěrku [36]. Lapák písku je zařízení k odstranění jemných částic např. písku, škváry a úlomků skla od ostatních organických nerozpustných látek. Přítomnost těchto částic jsou pro další technologický postup absolutně nevhodné, jelikož by způsobovaly zanášení dalších úseků čistírenské linky a snižovaly by tak jejich kapacity určené pro čištění odpadní vody. Je vhodné, aby zachycená částice měla velikost 0,1–0,2 mm a neobsahovala žádné příměsi organického původu. Důležité je, aby průtočná rychlost odpadní vody tímto zařízením byla dostatečně malá, protože lapáky písku pracují na principu sedimentace. Ta by při vysoké průtočné rychlosti nebyla dostačující nebo možná. [1] Ovšem rychlost průtoku nesmí být příliš nízká, aby nedocházelo k sedimentaci částic organického složení [30]. Podle směru průtoku odpadní vody dělíme lapáky písku na vertikální, horizontální a lapáky s příčnou cirkulací [11].

3.1.1.3.1 Horizontální lapák písku

Horizontální lapák písku je rozdělován na:

- komorový
- štěrbinový
- komorový s kontrolovanou rychlostí

Komorový lapák písku je nejjednodušším typem lapáku písku. Je tvořen několika obdélníkovými paralelně usazenými žlaby. Nejčastěji je využíván lapák písku se dvěma žlaby. Tyto žlaby jsou odděleny pomocí tzv. stavitěk. Stavítka jsou přepážky umístěné na začátcích a na koncích žlabů. Jejich uzavření neumožní proudění odpadní vody do příslušného žlabu. Stavítka jsou využívána v případě malého množství protékající odpadní vody, kdy je využíván pouze 1 žlab nebo nutnosti odklonu odpadní vody za účelem vyčištění žlabu od zachycených částic. [11]



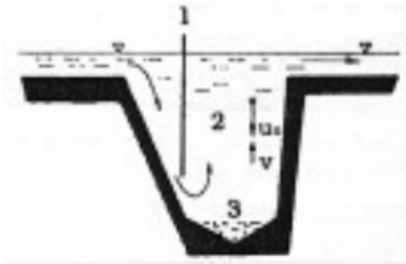
Obrázek 10: Dvoukomorový horizontální lapák písku [11]

Štěrbinový lapák písku je tvořen žlaby obdélníkového tvaru se štěrbinami na dně těchto žlabů. Štěrbinami mohou být příčné či podélné. Zachycený písek a další částice prochází těmito štěrbinami a je kumulován do bočních šachet. Zachycený materiál je těžen ručně nebo mamutovým čerpadlem (slangově mamutkou). [2, 39]

Rychlost průtoku u komorového lapáku písku s kontrolovanou rychlostí zůstává neměnná. Konstantní průtočná rychlost je výsledkem vzdouvání vodní hladiny ve žlabu pomocí kontrolního přelivu. Tento kontrolní přeliv je umístěn na konci žlabu. [11]

3.1.1.3.2 Vertikální lapák písku

Čištěná odpadní voda vtéká do vertikálně položeného vtokového válce pomocí potrubí. Odpadní voda dopadá na dno vtokového válce, kde dojde ke zpomalení rychlosti proudění vody. Částice, vlivem tohoto zpomalení průtočné rychlosti, jsou sedimentovány v akumulacním prostoru vertikálního lapáku. [36]



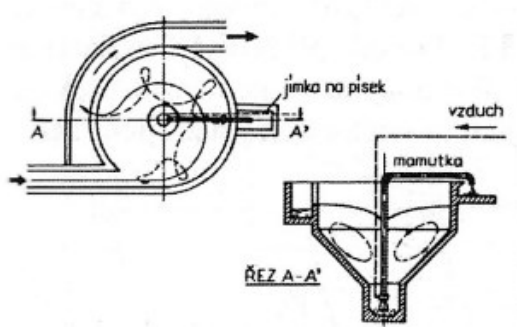
Obrázek 11: Vertikální lapák písku [11]

3.1.1.3.3 Lapák písku s příčnou cirkulací

Tyto lapáky dále rozdělujeme na:

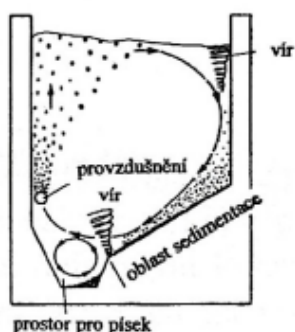
- vírový
- provzdušňovaný

U vírových lapáků písku není pro sedimentaci využívána pouze sedimentační rychlost, jak tomu bylo u jiných lapáků písku. Tento typ využívá již kromě zmíněné sedimentační rychlosti i rozdílnou hustotu oddělovaných částic. [37] Částice jsou odděleny pomocí odstředivé síly. Těžší částice jsou odstředěny na okraj nádrže a krouživým pohybem jsou vodou unášeny na dno sedimentační prohlubně. Tato nádrž má tvar válce a odpadní voda je do něj přiváděna tangenciálně. [2]



Obrázek 12: Schéma vírového lapáku písku [11]

Provzdušňovaný lapák písku je tvořen několika komorami s provzdušňovacím zařízením umístěného na jedné straně komor. Odpadní voda do těchto komor přitéká kolmo. Provzdušňovací zařízení mají za úkol zvýšit rychlost proudění, a tím i zlepšit vychytávání částic. Provzdušňovacím zařízením, tedy intenzitou provzdušňování, lze ovlivnit velikost sedimentujících částic na dno komory. Šířky a délky komor běžně dosahují několika metrů. [38]



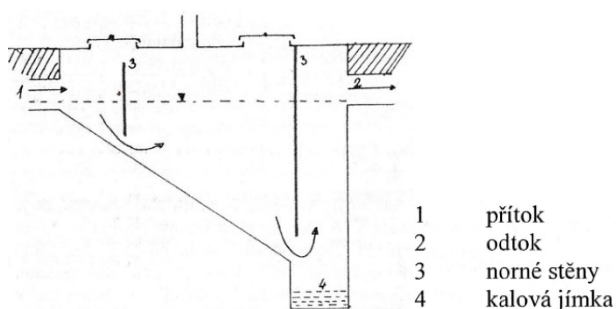
Obrázek 13: Provzdušňovací lapák písku [11]

3.1.1.4 Lapáky tuků a ropných látek

Tuky a ropné látky se z odpadních vod odstraňují snížením průtokové rychlosti v nádrži. Jelikož jsou tuky a ropné látky lehčí než voda, dojde vlivem převažujících vztlačkových sil nad gravitačními k vystoupení těchto látek na hladinu. Je nutné, aby nádrž byla vyřešena konstrukčně tak, aby plovoucí látky na hladině nebyly vyplavovány společně s odpadní vodou. Tento princip využívají tzv. gravitační odlučovače. Funkčnost těchto separátorů je ovlivňována

mnoha vlivy. Například se jedná o vlivy jako velikost částic, hustota částic související s okolní teplotou, rychlost průtoku odpadní vody a podoba částic (zda se vyskytují jako volné, emulgované, rozpuštěné). Odlučovače vycytávají pouze volné odlučitelné částice, které vykazují schopnost shlukovat se. [11]

Nejjednodušším gravitačním odlučovačem je odlučovač typu Lapol. Tento typ odlučovačů je využíván pro čištění menších objemů odpadních vod znečištěných olejovitými látkami. Snížení průtokové rychlosti odpadní vody je provedeno zvětšením průtočné plochy. Čištěná odpadní voda přitéká do nádrže pod první normou stěnou umístěnou hned za přítokem. V nádrži dochází k odloučení a shromažďování tuků a ropných látek. Voda zbavená těchto olejovitých látek protéká pod druhou normou stěnou a odtéká pryč ze systému. Těžší znečišťující látky, které nejsou schopny vystoupat na hladinu jsou zadržovány v kalové jímce na dně Lapolu. [11]



Obrázek 14: Schéma separátoru tuků Lapol [11]

Odpadní vody o vyšších objemech jsou čištěny pomocí lapačů s podélným průtokem a strojním stíráním. Do odlučovacích nádrží jsou pro vyšší efektivitu vkládány lamely zvětšující odlučovací plochu. Tyto lamely také minimalizují některé disruptivní vlivy. Lamelové vestavby jsou zhotovovány z materiálů jako je plast či nerezového materiálu. Odpadní voda je dobře čištěna pouze tehdy, je-li průtok odpadní vody lamelami laminární. [11]

Další možností, jak je možno odlučování olejovitých látek zefektivnit je použití koalescenčních filtrů. Tyto filtry se nacházejí před samotnými separátory. Jsou tvořeny zejména materiály s oleofilním charakterem a materiály s ostrými hranami. Průtokem kapaliny přes tyto filtry dojde ke shlukování do větších částic, které rychleji vystupují na hladinu. [11, 2]

Možností, jak oddělit některé částice od vody je použití metody flotace. Při flotaci vznikají mikrobublinky plynu navazující se na částice za vzniku flotačních komplexů. Tyto flotační komplexy jsou lehčí než voda samotná. Dochází tedy k transportu vzniklých komplexů na hladinu čištěné odpadní vody. [2]

Lapače tuků se běžně nevyskytují jako součást linky ČOV. Spíše se používají v podnicích (např. restaurační zařízení) před vypuštěním odpadní vody do veřejného kanalizačního systému. [13] Nejsou-li lapače tuků využívány, jsou tyto nežádoucí látky vycytány v usazovacích nádržích ČOV [34].

3.1.2 Primární sedimentace a zahušťování suspenzí

Jedná se o poslední fázi mechanického čištění odpadních vod. Čištění je založeno na gravitačním způsobu, kdy částice těžší, než voda klesají ke dnu sedimentačních nádrží. [34] Ovšem sedimentace závisí i na vzájemném ovlivňování částic při usazování. Podle tohoto aspektu rozdělujeme usazování na prosté, rušené a zahušťování suspenzí. Při prostém usazování nedochází ke vzájemnému ovlivňování sedimentovaných částic. Rychlost prostého usazování částic je konstantní. Aby však docházelo k prosté sedimentaci, koncentrace částic v suspenzích musí být velmi malá, a to maximálně 0,5 obj. %. Při rušeném usazování se částice vzájemně ovlivňují. Rychlost usazování částic není konstantní, dochází tedy k ovlivňování sedimentační rychlosti. Každá částice si udržuje svůj charakter. Tento děj probíhá v suspenzích, které obsahují více částic než 0,5 obj. %. Zahušťování suspenzí je děj, který nastává při vysoké koncentraci částic. Vytváří se fázové rozhraní mezi kapalinou a tuhou fází tvořené částicemi, které mění svůj charakter. [11] Kapalná fáze je vlivem posouvání ve směru gravitační síly pórovité tuhé fáze vytlačována. Tímto procesem dochází k zahušťování suspenze. [2]

Vrstva usazených částic je nazývána primární kal. Tento kal má převážně zrnitou strukturu. [40] K tvorbě primárního kalu dochází v usazovacích či zahušťovacích nádržích [11].

3.1.2.1 Usazovací nádrže

V usazovacích nádržích dochází k sedimentaci organických nerozpustných částic a látek. V těchto nádržích často protéká odpadní voda kontinuálně. [13] Jedná se tedy o kontinuálně protékané sedimentační nádrže, známé také pod pojmem průtočné usazovací nádrže. Existují

i usazovací nádrže, kde průtok odpadní vody není kontinuální. V tomto případě hovoříme o dekantčních usazovacích nádržích. [28]

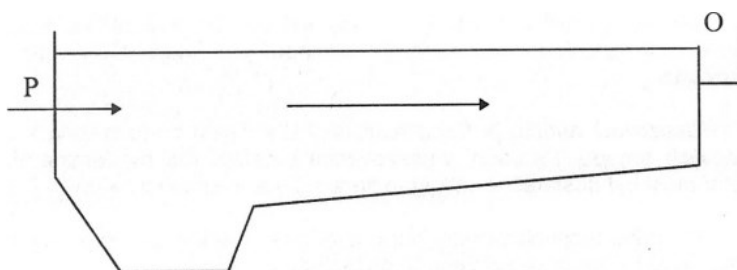
Usazovací nádrže jsou vybaveny místem pro vtékání odpadní vody do nádrže, odtokovým žlabem, tedy místem kde odpadní voda vytéká z nádrže a stíracím zařízením. Stírání primárních kalů probíhá buď nepřetržitě nebo periodicky. Odkalování je velmi důležité pro správné fungování odtoku usazovacích nádrží. Nedochází-li k dostatečnému stírání kalu, kal s obsahem organických složek snadno zahnívá. [2]

Je velmi běžné, že teplota odpadní vody nebo koncentrace suspenze se často mění, a tím i hustota čištěné odpadní vody. S tímto faktorem je spojen problém vzniku zkratových proudů. Jedná se o situaci, při které nedochází k rovnoměrnému proudění odpadní vody. Odpadní voda v některých místech nádrže proudí turbulentně. Vlivem tohoto turbulentního proudění může docházet k vyplavování již sedimentovaných částic. [11]

Průtočné usazovací nádrže rozdělujeme podle směru průtoku odpadní vody a tvaru nádrže na pravoúhlé s horizontálním průtokem, kruhové s horizontálním průtokem a vertikálně průtočné [30].

3.1.2.1.1 Pravoúhlé horizontální usazovací nádrže

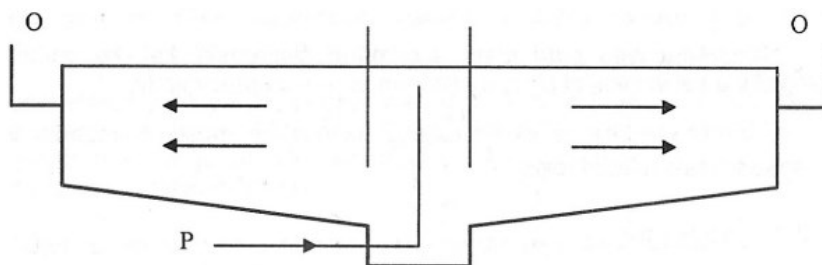
Usazovací nádrže pravoúhlé s horizontálním průtokem jsou využívány k oddělení suspenzí zrnitého charakteru. Tyto nádrže mají obdélníkový tvar. Hloubka nádrže na straně přítoku a odtoku odpadní vody není stejná. U přítokové strany nádrže je o něco hlubší než na straně odtoku. [11] Odpadní voda je přiváděna z jedné strany usazovací nádrže, protéká po celé délce této nádrže a vytéká odtokem na druhém konci. Vytvořený kal je stírán do rezervoáru umístěného u přítoku nádrže a odváděn potrubím. [30]



Obrázek 15: Schéma pravoúhlé horizontální usazovací nádrže [30]

3.1.2.1.2 Kruhové sedimentační usazovací nádrže

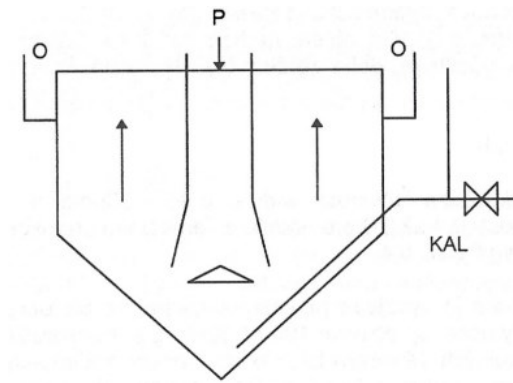
Kruhové sedimentační nádrže s horizontálním průtokem, nazývány též radiální usazovací nádrže, vychytávají suspenze jak zrnitého, tak vločkovitého charakteru [11]. Radiální usazovací nádrže mají ve svém středu takzvané uklidňovací válce [30]. Zpravidla se jedná o ocelový dutý sloup nesoucí most s upevněným stíracím zařízením [41]. Do těchto válců přitéká odpadní voda. Následně se přesouvá k obvodu usazovací nádrže, kde dochází k odtékání odpadní vody zbavené nerozpustných organických příměsí pomocí přepadových žlabů. Vytvořený primární kal usazený na dně usazovací nádrže je shrabován do středu stíracím zařízením. Z tohoto místa dochází k jejímu odvádění pomocí potrubí. [30]



Obrázek 16: Schéma kruhové horizontální usazovací nádrže [30]

3.1.2.1.3 Vertikální usazovací nádrže

Vertikálně protékané usazovací nádrže umožňují sedimentaci převážně vločkovité suspenze [11]. Stejně jako horizontální usazovací nádrže, tak i vertikální usazovací nádrže se rozdělují podle tvaru na kruhové a pravoúhlé. U vertikálních usazovacích nádrží se odpadní voda přivádí pomocí válce umístěného uprostřed této nádrže. Odpadní voda je přiváděná do sedimentačního prostoru. Usazenina kalu se tvoří v kalovém prostoru pod sedimentačním prostorem usazovací nádrže a je odváděna pomocí potrubí. Tyto usazovací nádrže nejsou vybaveny stíracím zařízením. Proto kalový prostor kuželovitého tvaru musí disponovat stěnami s dostatečným sklonem, který usnadňuje skluz primárního kalu na dno nádrže a brání tak jeho usazování na stěnách kalového prostoru. Odpadní voda zbavená nepotřebných částic stoupá vzhůru, kde dojde k jejímu odtoku. [30] Tento typ usazovacích nádrží nachází uplatnění nejčastěji v malých ČOV [1].



Obrázek 17: Schéma vertikální usazovací nádrže [30]

3.1.2.2 Zahušťovací nádrže

V této nádrži dochází k zahušťování suspenzí. Mají velmi podobnou konstrukci jako nádrže usazovací. Pouze s tím rozdílem, že potřebná plocha k zahušťování suspenzí je větší než plocha potřebná k sedimentaci částic. Zahušťovací nádrže můžeme rozdělit na průtočné zahušťovací nádrže a nádrže dekantační. [11]

3.1.2.2.1 Průtočné zahušťovací nádrže

Tento typ nádrží disponuje 3 pracovními zónami. V první zóně (vrchní) se nachází poměrně čistá kapalina. V této zóně probíhá proces sedimentace. Ve druhé zóně (prostřední) probíhá rušená sedimentace. V zóně třetí (nejspodnější) probíhá proces zahušťování suspenze. [11]

3.1.2.2.2 Dekantační zahušťovací nádrže

Čištění odpadní vody v dekantační zahušťovací nádrži probíhá tak, že nádrž je napuštěna odpadní vodou. Takto napuštěná nádrž se nechá odstát. Dojde k sedimentaci částic a následnému zahuštění suspenze. Vzniká zahuštěný primární kal. Odpadní voda je ještě několikrát napuštěna. Tento proces se několikrát opakuje. [11]

3.2 Sekundární čištění odpadních vod

Sekundární čištění je známo pod pojmem biologické čištění odpadních vod [50]. Jedná se o proces čištění, který se běžně provádí po mechanickém čištění odpadních vod. Přicházející odpadní vody z mechanického čištění jsou zbaveny hrubých nečistot a plovoucích látek. [34] Pro čištění odpadní vody se využívá přítomnosti mikroorganismů, které díky svému metabolismu zbavují odpadní vodu biologicky rozložitelných látek [1]. Tyto biologicky rozložitelné látky, jiným slovem substráty, slouží mikroorganismům jako zdroj energie důležitý pro jejich syntézu (dělení a růst). Tyto mikroorganismy nazýváme chemotrofní, protože získávají energii metabolismem chemických sloučenin. Existují i mikroorganismy fototrofní. Fototrofní mikroorganismy využívají energii ze světla. [11]

K syntéze a růstu není využívána pouze energie ze substrátu, ale potřebný je i zdroj uhlíku. S ohledem, zda mikroorganismy využívají uhlík anorganický či organický rozdělujeme tyto mikroorganismy na litotrofní a organotrofní. Pokud mikroorganismy metabolizují anorganický uhlík, hovoříme o mikroorganismech litotrofních. Naopak pokud mikroorganismy ve svém metabolismu využívají organický uhlík, jedná se o organotrofní mikroorganismy. V převážné většině se na biologickém čištění odpadních vod podílejí organotrofní mikroorganismy. Pro syntézu buněk a jejich růst je nutná přítomnost i dalších stavebních látek tzv. nutrientů. [11] Ty jsou získávány z vnějšího prostředí a rozkládaného organického materiálu. K výše zmíněnému uhlíku se mezi tyto nutrienty dále řadí síra, kyslík, vodík a další. [30] Za klíčové nutrienty v odpadních vodách jsou považovány anorganické sloučeniny dusíku a fosforu. Je velmi důležité, aby sloučeniny dusíku a fosforu byly dostatečně odstraněny z odpadní vody, protože zvýšené koncentrace těchto prvků ve vodním recipientu jsou problematické, ať už pro organismy nacházející se ve vodním recipientu nebo pro pozdější vodárenské upotřebení vodního zdroje. Využitím těchto stavebních látek mikroorganismy dojde k jejich odstranění z odpadní vody. Organické látky jednoduššího charakteru, tedy látky nízkomolekulární, jsou přímo transportovány do mikroorganismů, kde dojde k jejich následné metabolizaci. Aby mohlo dojít k metabolizaci vysokomolekulárních organických látek, musí nejprve dojít k enzymatickému rozkladu na fragmenty nízkomolekulárního charakteru. [11]

Hlavním principem sekundárního čištění odpadních vod od organického znečištění jsou oxidačně-redukční procesy, při kterých dochází k transportu elektronů. V závislosti na prostředí, ve kterém k tomuto ději dochází a podle konečného akceptoru elektronů můžeme

čištění odpadních vod biologickými mechanismy rozdělit na čištění za aerobních podmínek a anaerobních podmínek. [11]

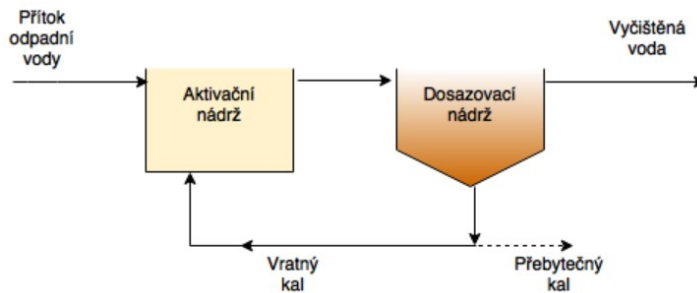
3.2.1 Aerobní čištění

Tento způsob čištění probíhá za přítomnosti kyslíku. Substrát je rozkládán za procesu oxidace. Vzniklá energie je zpracovaná pomocí enzymů podílejících se na tomto rozkladu. Konečným příjemcem elektronů je kyslík, kdy dochází k jeho redukci na vodu. Mimo jiné vzniká i oxid uhličitý. [30] V aerobním čištění dochází i k oxidaci amoniaku na dusičnany [42]. Tento proces je nazýván nitrifikací [30]. Oxidace substrátu a nitrifikace probíhají v oxické oblasti aerobního čištění. Mimo jiné se v aerobním čištění vyskytuje i oblast anoxická, v níž kyslík při organickém rozkladu není přítomen. Přítomny jsou pouze dusičnany a dusitany, které jsou konečným akceptorem elektronů. V anoxické oblasti dochází k denitrifikaci. [7] Jedná se o proces, ve kterém dochází k přeměně dusičnanů na plynný dusík [47]. Dochází tedy k odstraňování sloučenin dusíku z odpadní vody [42]. Mikroorganismy v aerobním čištění dokážou v malé míře zbavit odpadní vodu i fosforu, který je hromaděn uvnitř těchto mikroorganismů [42, 43].

Funkční jednotkou aerobního čištění je směs polykultury mikroorganismů, která se kultivuje v aktivačních nádržích či biofilmových reaktorech. Zda k těmto procesům dochází v aktivační nádrži nebo biofilmových reaktorech rozdělujeme aerobní čištění na způsob čištění v systému aktivovaného kalu nebo v systému biofilmu. [11]

3.2.1.1 Čištění pomocí aktivovaného kalu

Čištění odpadní vody metodou aktivovaného kalu je považováno za nejběžnější typ a nejefektivnější metodu čištění. Jedná se o účinnou imitaci přírodních čistících procesů. [42] Tento systém čištění je tvořen aktivační nádrží, dosazovací nádrží, provzdušňovacím a míchacím zařízením [11, 46]. Pro co největší efektivitu a správnost čištění je nutné zajistit několik faktorů, které velmi výrazně ovlivňují výsledky čištění. Mezi tyto faktory řadíme dostatečné provzdušňování aktivační nádrže, dostatečné množství aktivovaného kalu v aktivační nádrži a dostatečné přečerpávání aktivovaného kalu z dosazovací nádrže do nádrže aktivační. [42] Tato metoda čištění je známá pod pojmem aktivační proces [7].



Obrázek 18: Obecné schéma aktivační ČOV [42]

3.2.1.1.1 Aktivační nádrže

Jedná se o nádrže, v nichž dochází k samotné kultivaci a čištění odpadní vody. Tímto procesem v těchto aktivačních nádržích vzniká aktivovaný kal. Tento aktivovaný kal je směsnou polykulturou mikroorganismů, které mají podobu vloček. [11] Tvorba vloček je zapříčiněná bakteriální buněčnou blánou. Nicméně tato buněčná blána je zbytnělá vytvářením extracelulárních polymerů tvořených z větší části polysacharidy. Menší podíl buněčné blány pak zastávají bílkoviny a další organické látky. [2] Směs mikroorganismů je složená nejen z bakterií, ale přítomny jsou i kvasinky, prvoci, houby a červi [13]. Vlivem složení čištěné odpadní vody závisející na jejím druhu dochází ke spontánnímu ustálení složení aktivovaného kalu jak z hlediska kvalitativního, tak i kvantitativního. Složení aktivovaného kalu závisí i na technologických kritériích během kultivace. [11] Směs tvořená z polykultury mikroorganismů a odpadní vody se nazývá aktivační směs [2].

Aktivace kalu může probíhat v různých aktivačních nádržích. Podle rozdílných konstrukčních zhotovení aktivačních nádrží můžeme proces aktivace dělit na: [2, 7]

- aktivace s postupným tokem
- směšovací aktivace
- odstupňovaná aktivace
- zátěžová aktivace
- aktivace s oddělenou regenerací kalu
- aktivace s kratší dobou zdržení a rychloaktivace
- aktivace s cirkulací aktivační směsi

Aktivace s postupným tokem a směšovací aktivace jsou hlavními aktivačními procesy. Jedná se o klasické aktivace. Aktivace s postupným tokem se provádí pomocí dlouhých nádrží, jimiž čištěná odpadní voda protéká velmi pomalu. Na začátku nádrže dochází k míšení odpadní vody a vratného aktivovaného kalu. Koncentrace organického znečištění a spotřeba kyslíku je největší na začátku nádrže. Směrem k odtokové části nádrže koncentrace a spotřeba kyslíku klesají. U směšovací aktivace má aktivační nádrž tvar čtverce. Koncentrace organických látek a spotřeba kyslíku je v každé části aktivační nádrže konstantní. [2]

Odstupňovaná aktivace pracuje na stejném principu jako klasická aktivace. S tím rozdílem, že odstupňovaná aktivace počítá s faktorem proměnlivé spotřeby kyslíku a koncentrace organických látek typické pro aktivaci s postupným tokem. Aby se tomuto problému předešlo je na začátku nádrže umístěno více aeračních elementů. [2]

Aktivace zátěžová se liší přívodem odpadní vody. Organicky znečištěná voda přitéká do aktivační nádrže podélně několika místy. U tohoto typu aktivace dochází ke snížení zatížení aktivační nádrže a ke zvýšení rychlosti spotřeby kyslíku. [2]

Aktivace s oddělenou regenerací kalu využívá tzv. regenerační nádrž v níž dochází k aeraci vratného kalu. Vratný kal přiváděný z dosazovací nádrže má snížené adsorpční schopnosti a akumulaci kapacitu. Tímto provzdušňováním dochází k oxidaci organických látek, čímž se vypořebují zásobní látky. Po regeneračním procesu jsou kapacity vratného kalu plně obnoveny. Ten je následně převáděn do aktivační nádrže. [2]

Aktivace s cirkulací aktivační směsi probíhá v uzavřených korytech. V těchto korytech dochází k cirkulaci aktivační směsi způsobené provzdušňováním směsi aeračním zařízením. Koryta dosahují hloubky až 1 metru. Mezi aktivace s cirkulací aktivační směsi řadíme aktivace oběhové, aktivace oxidačním příkopem a šachtovou aktivaci. [2] Čištění oxidačním příkopem je využíváno hlavně u menších ČOV [11].

Každá z těchto aktivací se odlišuje, jak už zmíněnou konstrukční a stavební změnou, tak i rozdíly ve zdržení aktivační směsi v aktivační nádrži a zatížením kalu [2, 7, 11, 44].

3.2.1.1.2 Provzdušňovací zařízení

Pro optimální čištění založeného na využití kyslíku je nutné dostatečné okysličení suspenze v aktivační nádrži. Toto provzdušňování zajišťuje aerační zařízení, které plynule přivádí do nádrže potřebný kyslík. Vlivem provzdušňování suspenze dochází i k jejímu

míchání. Pomocí tohoto míchání je zajištěný dostatečný kontakt aktivovaného kalu s čištěnou odpadní vodou. [13] Je velmi důležité, aby nedocházelo k provzdušňování aktivační směsi v anoxické oblasti aktivační nádrže [42].

Okysličení směsi je nejčastěji zajišťováno přívodem vzduchu. Méně často přívodem čistého kyslíku. [11] Používaným aeračním zařízením mohou být provzdušňovače:

- pneumatické
- mechanické
- hydropneumatické

Pneumatické aerační zařízení dopravují vzduch do aktivační nádrže pomocí kompresorů, ventilátorů nebo turbodmychadly [1]. Pneumatické provzdušňování může mít charakter jemnobublinné, středobublinné a hrubobublinné. Záleží však na velikosti otvorů použitých aeračních elementů. Je známo, že průměr vytvořených bublin vzduchu aeračním zařízením zásadně ovlivňuje míru účinnosti procesu provzdušňování. Čím menší průměr mají bubliny, tím je prostup kyslíku do aktivační směsi efektivnější. V dnešní době se již hrubobublinné aerace téměř nevyužívají. Jednalo se zejména o otevřené či děrované trubky. Nejvyužívanější je jemnobublinná aerace. Jemnobublinná aerace může být prováděna aerátory s keramickými či plastovými deskami porézního charakteru. Tento typ aerátoru může být sestaven i z pružných membrán. Provzdušňování při středobublinné aeraci je prováděno za pomoci tzv. piškotových čerpadel nebo zubovými turbodmychadly. Nejvíce využívaným elementem v tomto typu aerace je rošt s otvory na spodní straně. [11] Rošty jsou umístěny na jedné straně aktivační nádrže ve vzdálenosti 0,25 m nad dnem této nádrže. Je nutné, aby každý rošt měl na přívodní rouře regulační ventil, jímž se usměrňuje intenzita provzdušňování. [1]

Mechanické aerační zařízení fungují na principu míchání aktivační směsi, kdy k provzdušňování dochází skrz hladinu [11]. Tudíž aerátory jsou umístěné na hladině aktivační nádrže. K provzdušňování tedy dochází pomocí strhávání kyslíku ze vzduchu do provzdušňované směsi. [46] Tyto aerátory můžeme rozdělit na horizontální nebo vertikální. Horizontální provzdušňovací zařízení jsou podobná kartáčům ve tvaru válce. Zatímco vertikální aerátory jsou turbíny. [11]

Hydropneumatická aerace je nejběžněji prováděna pomocí prstencových ejektorů, kdy je využíváno hydraulických jevů. Velkou nevýhodou tohoto způsobu aerace je velmi velké energetické zatížení a malé výtěžky. Proto je vhodné hydropneumatickou aeraci využívat pouze jako dočasnou náhradu při poruchách výše zmíněných provzdušňovacích zařízení. [1, 11]

3.2.1.1.3 Míchací zařízení

Jedná se o velmi jednoduché zařízení podobné vrtuli. Tyto vrtule vykonávají mechanické míchání. Míchací zařízení zajišťují míchání oblasti aktivace, kde nedochází k provzdušňování aktivační směsi. Jedná se o anoxickou oblast nádrže, kde tedy probíhá denitrifikace aktivační směsi. [46]

3.2.1.1.4 Dosazovací nádrže

Dosazovací nádrže jsou konstrukčně stejné jako nádrže usazovací umístěné v mechanickém stupni čištění [11]. Tyto nádrže přijímají odpadní vodu zbavenou organického znečištění spolu s aktivovaným kalem, tedy aktivační směs vytékající z aktivační nádrže. V dosazovacích nádržích dochází k oddělení právě vyčištěné vody a aktivovaného kalu. Stejně jako u dekantacních nádrží oddělení suspenze probíhá vlivem gravitační síly. Dochází tedy k sedimentaci aktivovaného kalu. Zahuštěný usazený aktivovaný kal je přečerpáván zpět do aktivačních nádrží, aby bylo zajištěno správné koncentrace přítomných mikroorganismů. [13] Říká se mu proto vratný aktivovaný kal [11]. Vlivem čištění organických odpadních látek dochází k neustálé tvorbě nové biomasy. Tato nová biomasa je nazývána přebytečný aktivovaný kal, který je nutné z čistírenského procesu odstranit. [7] Vyčištěná odpadní voda odtéká horní částí dosazovací nádrže [42]. Podle potřeby a nároků může být odváděná voda podrobena dalšímu stupni čištění nebo je vypouštěna do vodního recipientu [13].

Dosazovací nádrže však nemusí být nutnou součástí technologické linky. Malé ČOV dosazovací nádrže často nevyužívají, a to z důvodu velkého kolísání přítoku odpadní vody. Tyto nádrže mají značný vliv na konečnou kvalitu vypouštěné odpadní vody do vodního recipientu. Využití ČOV bez dosazovací nádrže je doporučováno zejména je-li malá ČOV připojena na oddílnou stokovou soustavu. V tomto případě pak dosazovací nádrž nahrazuje nádrž aktivační. Převážnou část denního provozu pracuje nádrž jako aktivační. Během této doby se nádrž plní odpadní vodou. V době, kdy je přítok odpadní vody minimální se vypne aerační zařízení a z aktivační nádrže se stává nádrž dosazovací. Po ukončení separace aktivační směsi se zapne čerpadlo, které přečerpá více než polovinu objemu nádrže. [7]

V dnešní době je nejčastěji využívanou metodou v biologickém čištění odpadních vod kontinuální aktivační proces s oddělenou dosazovací nádrží [11].

3.2.1.2 Čištění pomocí biofilmu

Kultivace polykultury mikroorganismů je prováděna v biofilmových reaktorech [11]. Forma přítomnosti polykultury je tedy odlišná od systému aktivovaného kalu [13]. Mikroorganismy se v těchto reaktorech nacházejí v nánosu, tedy biofilmu, který je poután na pevném nosiči biofilmového reaktoru [11]. Prostředí biofilmového reaktoru musí být opět dobře provzdušňováno. Stejně jako u aktivačního procesu putuje odpadní voda do dosazovací nádrže. [34] Ta slouží k záchytu odlupujících se starých vrstev biofilmu [43].

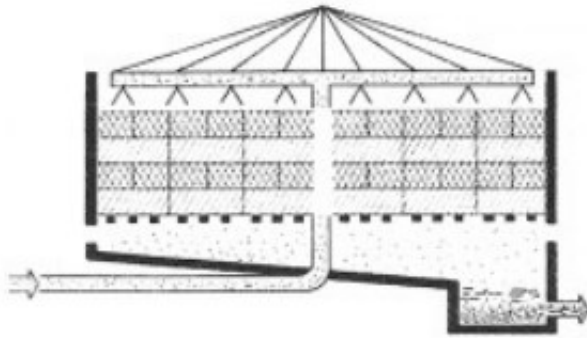
Čištění pomocí biofilmu se v dnešní době využívá spíše pro čištění odpadních vod v menších ČOV, kdy jsou kladeny menší požadavky na čistotu vypouštěné odpadní vody. Také se využívají v oblasti průmyslu jako předčištění odpadní vody před jejím vypuštěním do veřejné kanalizační sítě. V průmyslu je obzvláště využíváno v potravinářském odvětví. [11]

Biofilmové reaktory můžeme rozdělit podle konstrukce na skrápěné biologické kolony a rotační biofilmové reaktory [11].

3.2.1.2.1 Skrápěné biologické kolony (biofiltry)

Jedná se o kruhový objekt tvořený z pláště, roštu a náplně. Plášť může být zkonstruován z plastu, plechu nebo betonu. Rošty, na nichž je umístěná vlastní náplň, musí umožňovat průchod proudu čištěné odpadní vody a vzduchu. [11] Vzduch proudí pomocí průduchů umístěnými pod úrovní roštu. Jako náplně biofiltrů mohou být využity přírodní materiály (např. šterk, vápenec či struska). Využity mohou být i materiály syntetické, kdy se jedná např. o polystyren nebo PVC. Náplň může dosahovat výšky 3–4 m. Ovšem nevylučuje se i použití vyšších náplní. [2]

Jak už naznačuje název těchto biofiltrů, čištěná odpadní voda je přiváděna prostřednictvím tzv. skrápěcího zařízení. Odpadní voda následně stéká po náplni kolony, čímž dochází k jejímu čištění. Dopadá na dno filtru odkud je odváděna do dosazovací nádrže. [2]



Obrázek 19: Schéma skrápěného biofiltru [2]

3.2.1.2.2 Rotační biofilmové reaktory

Rotační biofilmové reaktory jsou určeny zvláště pro malé ČOV. Existují rotační biofilmové reaktory, které se liší svou konstrukcí. Dle tohoto faktoru rozdělujeme tyto reaktory na: [11]

- rotační diskové reaktory
- rotační klecové reaktory

Rotační diskové reaktory jsou tvořeny disky, nejčastěji z plastu. Tyto disky jsou připevněny na rotující hřídeli. Tímto rotujícím pohybem dochází ke střídavému kontaktu mikroorganismů vázaných na discích s odpadní vodou a vzduchem. Rotační klecové reaktory pracují na stejném principu jako rotační diskové reaktory. Změna je pouze v použitém nosiči. Nosič nemá tvar disku, ale jedná se o klec s náplní biofiltrů. [11]

3.2.2 Anaerobní čištění

Anaerobní čištění probíhá za nepřítomnosti kyslíku [7]. Konečným akceptorem elektronů jsou samy substráty, tedy organické látky [11]. Při anaerobních procesech dusíkatých látek např. bílkovin je konečným produktem metan a oxid uhličitý [11, 2]. Kromě těchto dvou plynů vzniká i vodní pára. Směs metanu a oxidu uhličitého je nazývána jako bioplyn. [13] Rozkládají-li mikroorganismy organickou hmotu obsahující síru či sírany, produktem namísto methanu je sulfan. Vzniklý sulfan reaguje s přítomnými kovy za vzniku sulfidů. [2] V anaerobním čištění dochází k procesům jako jsou depolymerace polyfosfátů, desulfatace, anaerobní acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze [7].

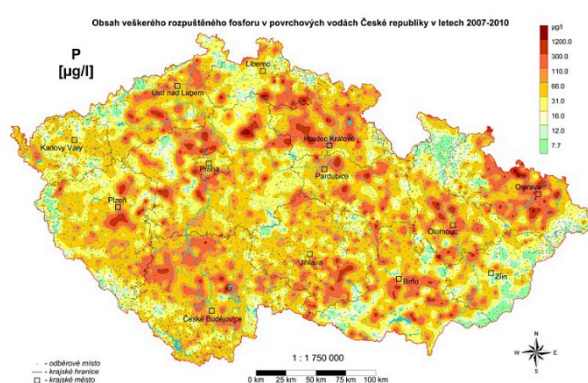
Mikroorganismy v anaerobním čištění mohou být ve formě suspenze nebo ukotvené na bionosiči. K čištění odpadní vody dochází v anaerobním reaktoru. Existuje mnoho konstrukčních typů těchto reaktorů. Použití vhodného typu reaktoru je závislé na formě mikroorganismů (suspenze/nosič), jejich požadovaná koncentrace v reaktoru a v poslední řadě na požadované kvalitě vyčištěné odpadní vody. [2]

Efektivnost anaerobního čistírenského procesu závisí na množství mikroorganismů a míře kontaktu těchto mikroorganismů se substrátem. Tyto faktory tedy závisí na konstrukčním typu reaktoru. Mezi faktory ovlivňující efektivnost čištění nezávislých na typu reaktoru řadíme faktory jako jsou teplota a koncentrace organických látek v odpadní vodě. Faktory jako je teplota a koncentrace substrátů ovlivňují zejména rychlost biologického rozkladu. [11] Anaerobní procesy nejsou využívány pouze pro čištění odpadních vod. Využívají se také pro zpracovávání kalů, tedy k jejich stabilizaci. [2]

Anaerobní čištění odpadních vod se v posledních letech stalo více efektivní, než bylo dopsud. Je možné čistit odpadní vodu obsahující různé koncentrace organických látek. Tato metoda je výhodná pro svou nízkou spotřebu energie, nižší produkci biomasy, se kterou jsou spojeny i nižší náklady na zpracování přebytečného kalu. [11]

4 Inovace v čištění odpadní vody

Čištění odpadních vod v České republice je na velmi vysoké úrovni. Avšak není zdaleka dokonalé. [53] V současné době je nutné, aby se čistírenství České republiky zabývalo několika směry [55]. Těmi nejzákladnějšími jsou snižování míry eutrofizace, tedy nadměrné zvyšování koncentrace nutrientů zejména dusíku a fosforu v životním prostředí způsobené lidskou činností [55, 2]. V tomto případě hovoříme o antropogenní eutrofizaci [2]. Efektivnější odstraňování nutrientů z odpadních vod se obzvláště zaměřuje na fosfor [55].



Obrázek 20: Koncentrace celkového fosforu v povrchových vodách [59]

Dalším problémem, které se čistírenské odvětví zabývá je výskyt nových znečišťujících látek. [55] Tento problém již zmiňuji v první kapitole. Takzvané mikropolutanty zahrnují jak produkty osobní péče, tak i zbytky léčiv a drog [55]. Mikroskopické znečištění zahrnují i zbytky pesticidů, mikroplastů, hormonů a dalších látek [54]. Problémem je i narůstající odolnost bakterií proti antibiotikům a dalším antimikrobiálním látkám nacházející se např. v kosmetice. Nejsou-li mikropolutanty z odpadní vody řádně odstraněny, jsou vypouštěny do vodního recipientu. [55] Mikropolutanty jsou špatně odstranitelné běžným čistírenským postupem [57].

S poklesem hladin zásobáren pitné vody zapříčiněn nadměrným suchem společně s možnostmi vysoce kvalitního vyčištění odpadní vody pomocí inovativních metod se objevil novodobý trend. A to recyklace odpadní vody, tedy opakované využití důkladně vyčištěné městské odpadní vody. [55] Návazně na toto téma, dne 25. května 2020 vydal Evropský parlament a rada Evropské unie nařízení 2020/741 „o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody“. Toto nařízení podporuje využívání recyklované odpadní vody zejména

v zemědělství. Avšak nařízení 2020/741 nebrání využití recyklované odpadní vody k dalším účelům např. průmyslovým, environmentálním či ve veřejných službách. Limitující je pouze legislativa a potřeby daného státu. [56] Problém však nastává v legislativě České republiky, jelikož naše legislativa nepovažuje odpadní vody za vodní zdroj. Řádně vyčištěná odpadní voda se však může využívat pouze v místě jeho vzniku. [58] Po úpravě dané legislativy by se odpadní voda mohla používat k zavlažování městské zeleně, mytí vozovek, splachování toalet atp. [60]. V jiných státech Evropské unie legislativa pro využívání recyklované odpadní vody již existuje [55]. V některých evropských městech se dokonce recyklovaná odpadní voda využívá jako zdroj pitné vody [60].

S výše vyjmenovanými tématy je spojen rozvoj terciárního čištění odpadních vod [55].

4.1 Terciární čištění odpadních vod

Terciární čištění ke svému čištění odpadních vod využívá kombinace fyzikálních a chemických procesů [51]. Fyzikálně-chemické principy jsou využívány k dočištění odpadních vod [9]. Využívá-li daná ČOV terciárního čištění, úroveň čistoty vyčištěné odpadní vody dosahuje velmi uspokojivých výsledků splňující přísné normy [51]. Terciární dočištění odpadní vody může být zařazeno za běžné metody, je-li požadována vyšší kvalita vyčištěné odpadní vody pro vypouštění do vodního recipientu se zvýšenou ochranou nebo pro následné využití vyčištěné odpadní vody [61].

Odpadní voda po primárním a sekundárním čištění stále obsahuje zbytkové suspendované látky a jemné částice. Dále má relativně vysokou hladinu živin jako je dusík a fosfor. Odpadní voda obsahuje i choroboplodné zárodky. [52] Během procesu terciárního čištění dochází tedy k odstranění fosforu, nerozpuštěných látek a k likvidaci patogenů nacházející se v odpadní vodě, tedy k její hygienizaci. V terciárním čištění jsou také použity technologie, díky kterým jsou z odpadních vod odstraněny biologicky nerozložitelné látky a polutanty, které mohou vykazovat toxické, karcinogenní či mutagenní účinky. Vyčištěná odpadní voda pomocí terciárního čištění dosahuje vyšší kvality, než je úroveň kvality ve vodním recipientu. [61]

4.1.1 Filtrace

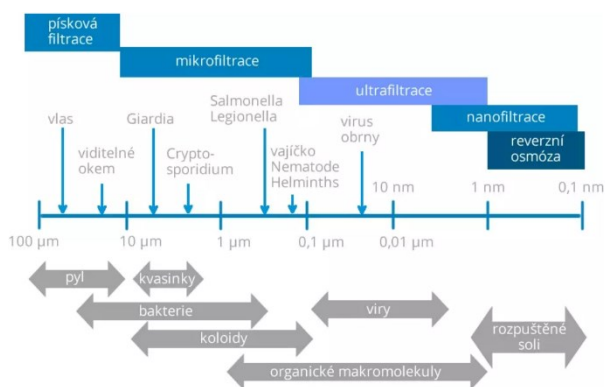
Filtrace je v terciárním čištění považována za nejvyužívanější metodu [61]. Jedná se o separační proces, při kterém dochází k odstranění neusaditelných pevných nerozpuštěných

částic z odpadní vody zachytávající se na porézní přepážce [11]. Filtrační proces může být také využíván společně s koagulací, kdy po vytvoření sraženiny v podobě vloček dojde k jejímu zachycení. Kombinovanou metodu koagulace a filtrace je možno využívat pro odstranění a snížení koncentrace fosforu v odpadních vodách. [61]

Proces filtrace může být prováděn na pískovém filtru, směsném filtru nebo se může jednat o mikrosíta [61]. Speciálním typem filtrů jsou membrány, které jsou schopny odfiltrovat velmi malé částice o velikosti mikrometrů, dokonce až nanometrů [62].

4.1.1.1 Membránová filtrace

Principem filtrační metody využívající polopropustné membrány je rozdíl na jedné a na druhé straně membrány, tedy před a za membránou. Principem filtračních membránových procesů je koncentrační nerovnováha způsobená nerovnoměrným rozložením částic na obou koncích membrány. Tedy částice se snaží přestoupit z místa o vyšší koncentraci do místa, kde je koncentrace částic nižší. Vlivem snahy o přechod částic přes membránu jsou na ni zachytávány. Zatímco kapalina prochází skrz filtrační membránu z prostředí o nižší koncentraci do prostředí o koncentraci vyšší. Tento proces je poháněn osmotickým tlakem. Velikosti pórů membrány určují velikost zachytávajících se částic. Podle velikosti pórů můžeme membránové separační procesy rozdělit na mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. [62] Dalšími membránovými separačními technikami jsou dialýza a elektrodialýza [11].



Obrázek 21: Druhy filtrace [62]

Membrány by měly splňovat určitá kritéria. A to především vysokou selektivitu, propustnost, dostatečnou odolnost vůči různým typům poškození, dlouhou životnost a cenovou

přijatelnost. [11] Membrány mohou být vyrobeny z jakéhokoliv materiálu, ze kterého jde vytvořit tenká vrstva. Pro jejich výrobu mohou být použity anorganické nebo organické materiály. Membrány z anorganických materiálů jsou nejčastěji vyráběny ze skla, kovu či keramiky. [62] Anorganické membrány se vyznačují velmi dobrou vlastností odolávat změnám tlaku. Organické membrány jsou vyráběny z upravených přírodních či syntetických polymerů. Z přírodních polymerů je využíván například acetát celulózy. Ze syntetických organických polymerů pak polyamid, polyakryláty, fluoroplasty a další. Membrány mohou být symetrické, asymetrické či kompozitní. Tvar a velikost pórů u symetrické membrány v příčném směru zůstává neměnná. Zatímco u asymetrické membrány se velikost pórů mění. Asymetrická membrána může být složena z různě velkých pórů, které se směrem k retentátovému povrchu membrány zmenšují nebo je membrána tvořená ze dvou vrstev, a to dělicí a podpůrné. Dělicí vrstva, která je umístěná na retentátové straně membrány má charakter mikroporézní či neporézní tenké vrstvy. Podpůrná vrstva má charakter makroporézní. Je-li dělicí a podpůrná vrstva z různého materiálu jedná se o membránu kompozitní. [11]

Membrány jsou vkládány do tzv. membránových modulů. Membránové moduly tvoří funkční jednotky, které mají různé konstrukční uspořádání. [11] Filtrační membránové moduly mohou být plošné nebo tubulární. Je nutné, aby filtrační plocha modulu byla co největší. [62]

4.1.1.1.1 Mikrofiltrace

Tento separační proces zachytává částice o rozměrech 0,1–10 μm . Pracovní tlak u mikrofiltrace se pohybuje pod hranicí 500 kPa. Používané filtrační membrány jsou z anorganických materiálů. Používají se i membrány organické. Mikrofiltrace se nejčastěji využívá jako předčištění například u procesu reverzní osmózy. Využívaná je zejména v potravinářství pro odstranění kvasinek. [62]

4.1.1.1.2 Ultrafiltrace

Pracovní tlak během ultrafiltrace se nachází v rozmezí 500–1000 kPa [11]. V procesu ultrafiltrace jsou zachytávány částice o velikostech 2 nm – 0,1 μm . Filtrovány jsou zejména koloidní částice, bílkoviny, sacharidy a viry. Stejně jako mikrofiltrace je často využívána v předčištění před reverzní osmózou. Použití ultrafiltrace je vhodné zejména při čištění odpadních vod z papírenského či textilního průmyslu. [62]

4.1.1.1.3 Nanofiltrace

Procesní tlak u nanofiltrace dosahuje hodnot 1–4 MPa [11]. Během nanofiltrace jsou filtrovány látky menší než 2 nm. Jedná se zejména o látky jako jsou například pesticidy, herbicidy a barviva. [62]

4.1.1.1.4 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza pracuje na stejném principu jako filtrační membránové procesy jako je mikrofiltrace, ultrafiltrace a nanofiltrace [11]. Avšak s tím rozdílem, že prostup čištěné kapaliny během reverzní osmózy je opačný. Čištěná kapalina prochází membránou z místa o vyšší koncentraci do místa, kde je koncentrace nižší. Toto je způsobeno působením vyššího tlaku na kapalinu o vyšší koncentraci, než je osmotický tlak koncentrovanější kapaliny. [62]

Reverzní osmóza je schopná z odpadní vody odstranit velmi malé částice. Jedná se o částice velikosti 0,1–1 nm. [11] Těto velikosti dosahují nízkomolekulární látky a ionty [62]. Tlak, který se u reverzní osmózy využívá dosahuje hodnot 3–10 MPa [11]. V případě, že by pracovní tlak v koncentrovanější části nebyl vyšší, než je tlak osmotický, k procesu reverzní osmózy by nedocházelo [62].

4.1.1.1.5 Dialýza

Proces dialýzy je založen na rozdílu koncentrací separované látky na jedné a druhé straně membrány, tedy v odpadní vodě a ředícím roztoku. Tyto látky prochází skrze membránu ve směru koncentračního gradientu z prostoru odpadní vody, kde je koncentrace látek vyšší do prostoru ředícího roztoku, kde je neustále udržována nízká koncentrace těchto látek. [11] Prostup odpadní vody je zabráněn použitím roztoku na permeátové straně membrány, který má stejný osmotický tlak. Tento roztok také plní funkci transportního média, kdy odvádí rozpuštěné separované látky. Pomocí dialýzy dochází k odstraňování nízkomolekulárních látek z odpadní vody. [63] Podle charakteru znečišťujících látek odpadní vody se využívá různých typů membrán. Ty mohou být porézního či ionexového charakteru. [11]

4.1.1.1.6 Elektrodialýza

Elektrodialyzační jednotka se skládá z anody a katody, mezi které jsou vloženy anexové a katexové membrány. Tato jednotka je složena z desítek až stovek anexových a katexových párů. Elektrodialýza odstraňuje z odpadní vody anionty a kationty. [11] Membrány jsou tedy iontově selektivní a rozdělují dialyzační modul na komory [63]. Anexová membrána je propustná pouze pro anionty. Kationty odpuzuje. Naopak katexová membrána kationty propouští a anionty odpuzuje. [11] Elektrodialyzační jednotkou prostupuje jednosměrný elektrický proud. Kationty vlivem přítomného elektrického proudu putují ke katodě. Následně přestoupí do další komory skrz katexovou membránu. Anionty putují k membráně anexové. [63] Filtrace tedy není založena na velikosti částic, jak tomu bylo u jiných membránových separačních metod. Elektrodialyzační metoda je založena na elektrickém náboji. [11]

4.1.1.1.7 Typy membránových modulů

Podle konstrukčního uspořádání membrán v modulech můžeme tyto moduly dělit na moduly deskové (planární), trubkové (tubulární), spirálovité (vinuté), moduly s dutými vlákny a moduly kapilární [11].

V tabulce č. 2 je znázorněna vhodnost využití daných membránových modulů v dílčích membránových procesech.

Tabulka 2: Možnosti využití filtračního procesu u daného typu modulu [63]

membránový proces	typ modulu				
	deskový	trubkový	spirálový	s dutými vlákny	kapilární
mikrofiltrace	–	++	–	–	+
ultrafiltrace	++	++	+	–	+
nanofiltrace	+	+	++	+	0
reverzní osmóza	+	+	++	++	–
elektrodialýza	++	–	–	–	–

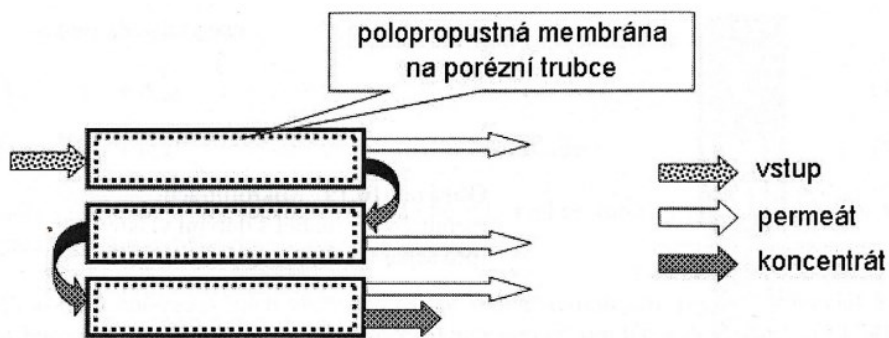
++ doporučuje se, + možno použít, 0 nejsou informace, – nelze použít

Deskový modul

Planární membránový modul je složen z rámu, do kterého jsou vloženy dvě ploché membrány rozdělené deskou. Tato deska je tvořena systémem žlábků, které odvádí vyčištěnou odpadní vodu (permeát). Mezi deskou a membránou bývá často vložena porézní textilie, která plní funkci separátoru. Porézní textilie ulehčuje odvod permeátu. Odpadní voda přitéká k povrchu membrány a následně prostupuje do separační vložky odkud systémem žlábků odtéká pryč. [11]

Trubkový modul

U tubulárního modulu jsou membrány trubkovitého tvaru upevněné do pouzdra, které má tvar válce. Aby membrána udržovala svůj válcovitý tvar je připevněná na porézní trubce. Odpadní voda je přiváděná do trubek nebo do mezitrubkového prostoru. [11]

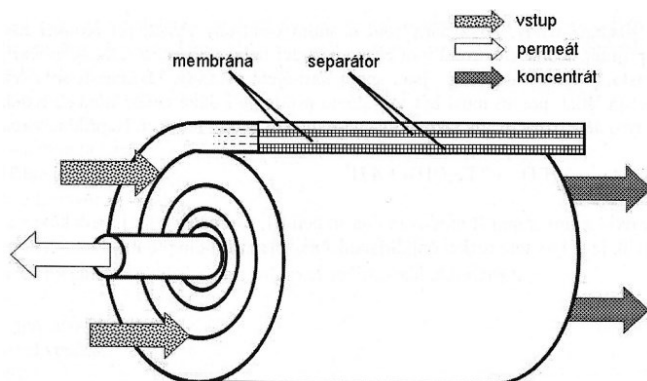


Obrázek 22: Schéma trubkového modulu [11]

Spirálový modul

Vinutý modul je tvořen trubkou ve středu, na kterou jsou navinuté dvě membrány a dva separátory. Separátor je porézního charakteru a odvádí permeát ven z modulu. Příslušný separátor se nachází mezi dvěma membránami. Membrány jsou k separátoru spojeny na třech stranách. Čtvrtá strana je spojena s odtokovou trubkou pro permeát. Druhý separátor je připevněn na povrch jedné z membrán, a slouží k přítoku. Celá tato soustava je uzavřena v tlakovém pouzdře. Čištěná odpadní voda se profiltruje přes membránu, kde následně dojde

ke spirálovitému transportu do středové trubky. Směs obsahující zadržené částice je odváděná na druhém konci membránového modulu. [11]



Obrázek 23: Schéma spirálového modulu [11]

Modul s dutými vlákny a kapilární modul

Jedná se o moduly, ve kterých jsou membrány tvořeny vlákny. Jejich průměr udává typ modulu. Modul s dutými vlákny je tvořen vlákny, které mají průměr vláken několik milimetrů. Zatímco modul kapilární je tvořen vlákny jejichž průměr dosahuje desítek mikrometrů. [11] Dutá vlákna jsou nejčastěji vyráběna z materiálů jako je polysulfon, acetát celulózy a polyamid. Moduly s dutými vlákny jsou považovány za nejmodernější filtrační systémy dnešní doby. [62]

4.1.2 Sorpce

Pomocí sorpce jsou odstraňovány látky, které jsou špatně biologicky odbouratelné. Odstraňují se i látky s karcinogenní a mutagenní povahou a látky způsobující zápach. Ve většině případů jde o organické látky ve velmi nízkých koncentracích, pesticidy, těžké kovy, chlorované aromatické uhlovodíky a volný chlór. [61] Sorpcí je možno z odpadní vody odstranit i fosfor [64]. Nežádoucí látky jsou odstraňovány pomocí tuhé fáze nazývané absorbent. Zde dochází k zachycení polutantu na povrch absorbentu. Zachycovaná látka je nazývána absorbát. [61]

Sorpční proces je ovlivňován faktory jako je velikost částic absorbentu, koncentrace přítomného absorbátu, teplota, pH a molekulová hmotnost sorbované látky. V procesu sorpce

můžou být zachycovány látky ve formě molekul nebo iontů. Povaha sil, které se uplatňují při sorpci jsou různé. Podle tohoto kritéria dělíme sorpci na fyzikální, chemickou a iontovou. [61] Během fyzikální sorpce je absorbát k absorbentu poután pomocí mezimolekulárních van der Waalsových sil. Absorbát se na absorbent může navázat v několika vrstvách. Poté tedy hovoříme o vícevrstvé sorpci. Jelikož jsou van der Waalsovy síly velmi slabé může vlivem změny okolních faktorů dojít k uvolnění absorbátu zpět do odpadní vody. Při chemické sorpci je vazba absorbátu a absorbentu způsobená sdílením elektronů. Chemické vazby se účastní pouze určitá chemicky reaktivní místa absorbentu. Tvořit se může pouze jedna vrstva absorbátu. U chemické sorpce nehrozí, že by došlo k uvolnění absorbátu z vazby. Během sorpce iontové je uplatňována elektrická přitažlivost, kdy dochází k výměně iontů mezi absorbentem a absorbátem. [11]

Existuje mnoho materiálů, ze kterých může být absorbent vyroben. Zpravidla se jedná o aktivní uhlí. Dále se k čištění využívají materiály jako škvára, elektrárenský popílek a látky založené na bázi organických polymerů. [61] Pro výrobu sorbentů se dají využít i přírodní materiály jako je např. křemičitan vápenatý nebo přírodní apatit [64]. Pro absorpční procesy se využívají i biouhel a uhlíkové nanotrubičky [71, 96].

Sorpci je možné používat také v procesu s různými filtračními metodami [61].

4.1.2.1 Aktivní uhlí

Aktivní uhlí je obvykle vyráběno z materiálů přírodního původu. A to například z černého uhlí, dřeva či kokosových skořápek. Tento materiál může být využit k čištění odpadní vody ve formě prášku, pelet a granulátu. [65]

Aktivní uhlí je tvořeno mnoha velikostmi pórů, které zaručují určité funkce. Podle velikosti těchto pórů rozdělujeme póry na mikropóry, mesopóry a makropóry. Mikropóry jsou o velikosti menší než 2 nm. Zatímco mesopóry mají velikost 2–50 nm a makropóry jsou větší než 50 nm. Oba typy těchto pórů (mesopóry a makropóry) jsou řazeny mezi transportní póry, které zajišťují dostupnost aktivních center mikropórů pro sorpci organických látek. [66] Odstraňuje tedy většinu pesticidů a organických rozpouštědel [65]. Mimo organických látek odstraňuje aktivní uhlí z odpadní vody těžké kovy jako je olovo, rtuť a kadmium. Taktéž odstraňuje zápach odpadní vody. [66] Navíc bylo dokázáno, že běžná léčiva (paracetamol, carbamazepine, bezafibrate atd.), antibiotika (např. sulfamerazin, sulfamethoxazol, spiramicin)

a hormony (estradiol alfa a estradiol beta) jsou dobře odstraňovány, je-li využito pro čištění odpadních vod filtrů s aktivním uhlím [67].

Aktivní uhlí, které je vyrobeno z černého uhlí je charakteristické svým vhodným poměrem mikropórů a transportních pórů. U aktivního uhlí vyrobeného z kokosových skořápek je počet mikropórů zřetelně vyšší než počet transportních pórů. [66] Aktivní uhlí může být použito společně s ionty stříbra. Stříbro je charakteristické svými baktericidními účinky, a proto tato úprava aktivního uhlí zabraňuje množení bakterií. [68]

Sorpční kapacita aktivního uhlí je díky jeho pórům velmi vysoká [65]. Avšak sorpční vlastnosti aktivního uhlí jsou omezené. Dojde-li k vyčerpání sorpční kapacity je nevyhnutelné aktivní uhlí vyměnit či provést jeho reaktivaci. Velkou výhodou aktivního uhlí vyrobeného z černého uhlí je, že nedochází k zanášení pórů, a tím nedochází ke snižování sorpční kapacity. [66]

4.1.2.2 Biouhel

Biouhel je znám také pod pojmem biochare. Jedná se o obdobu aktivního uhlí. Biouhel je zuhelněná zbytková nebo odpadová biomasa. [69] Vzniká termochemickým pochodem za omezeného přístupu vzduchu. Tento výrobní proces biouhlu je nazýván pyrolýzou. [70]

Biochare je z převážné části tvořen uhlíkem. Uhlík je v biouhlu zastoupen z 50–90 %. Přítomný uhlík je stabilní a nepodléhá tak oxidaci a další degradaci. Tato vlastnost je velmi vhodná pro použití biouhlu jako sorbentu. [70] Další výhodou ve využití biouhlu jako sorpčního materiálu je velmi jednoduchá dostupnost pro jeho výrobu, jelikož biouhel může být vyráběn přímo na dané ČOV z vyprodukovaného přebytečného kalu vzniklých na předchozích stupních čištění. Touto výhodou se nabízí i vhodnější likvidace kalů dané ČOV, než je likvidace kompostováním, skládkováním či spalováním. [69]

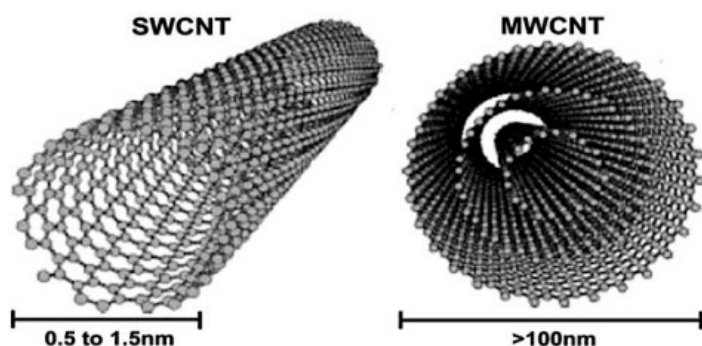
Čištění odpadní vody pomocí biouhlu je funkční a stabilní technologií, která je schopná z odpadní vody odstranit pesticidy, zbytky léčiv a produkty osobní péče. [69, 71] Z provedených pokusů vyplynulo, že absorpční schopnost biochare je srovnatelná s filtry používající práškové aktivní uhlí [71]. Při filtraci přes filtr obsahující biouhel dochází k lepšímu odstranění fosforu z odpadní vody, než tomu bylo u filtrů s aktivním uhlím. Zatímco dusík byl pomocí biouhlu z odpadní vody odstraňován hůře než pomocí filtrů s aktivním uhlím. Avšak i u odstraňování dusíku pomocí biochare filtrů bylo dosahováno uspokojivých výsledků. [69]

4.1.2.3 Uhlíkové nanotrubičky

Uhlíková nanotrubička je malá válcovitá uhlíková struktura vyrobená z grafenu. Tyto nanotrubičky obsahují šestihorné struktury. [98] Uhlíkové atomy tvoří velmi dlouhé a tenké trubičky [97]. Navzdory své velmi malé velikosti jsou uhlíkové nanotrubičky velmi pevné [98]. Uhlíkové nanotrubičky jsou charakteristické velkým absorpčním potenciálem [97]. Velká absorpční plocha, kterou disponují, umožňuje uhlíkovým nanotrubicím čistit mikropolutanty z odpadních vod daleko efektivněji, než je tomu u standardního aktivního uhlí. Avšak absorpční plochu zásadně ovlivňují nečistoty vázané na povrchu pórů nanotrubiček. Adsorpční vlastnosti závisí i na dalších faktorech jako jsou místa adsorpce, povrchová plocha a povrchové funkční skupiny. [96]

Ve svazcích uhlíkových nanotrubiček existují čtyři potenciální místa pro adsorpci různých znečišťujících látek. Prvním místem je dutý vnitřek jednotlivých nanotrubiček, ale pouze v případě jsou-li konce nanotrubiček otevřené. Druhým místem jsou kanály mezi jednotlivými nanotrubičkami. Třetím místem jsou drážky přítomné na okraji svazku nanotrubiček. Čtvrtým, a zároveň posledním místem je vnější povrch nanotrubiček. [96]

Nanotrubičky můžeme podle typu rozdělit na jednovrstevné a vícevrstevné. Jednovrstevné nanotrubičky (SWNT) jsou tvořeny jednou vrstvou grafenové desky srolované do bezešvého válce. Vícevrstevné nanotrubičky (MWNT) jsou tvořeny z více válcových plášťů grafenových listů koaxiálně uspořádané kolem centrálního dutého jádra. Tyto grafenové listy jsou k sobě poutány pomocí van der Waalsových sil. Průměr vícevrstevných nanotrubiček je menší než 100 nm. Zatímco průměr jednovrstevných nanotrubiček se pohybuje v rozmezí hodnot 0,5–1,5 nm. [99]



Obrázek 24: Schéma jednovrstevné a vícevrstevné uhlíkové nanotrubičky [99]

4.1.3 Biologické rybníky

Biologické rybníky jsou nádrže, ve kterých dochází k hromadění odpadní vody a jejímu čištění pomocí přírodních stabilizačních procesů. Biologické rybníky jsou známé také pod názvem stabilizační nebo oxidační nádrže. V České republice jsou podle platné legislativy povoleny využívat biologické rybníky pouze k terciárnímu dočišťování odpadních vod. Avšak pouze v případě, je-li před tímto procesem čištění zajištěno kompletní mechanicko-biologické čištění odpadní vody. V méně rozvinutých zemích jsou běžně používaným proces k čištění komunálních, dokonce i průmyslových odpadních vod. Biologické rybníky se dále rozdělují na rybníky anaerobní, fakultativní, aerobní a provzdušňované. [61]



Obrázek 25: Biologický rybník využívaný k dočišťování OV [73]

Biologické rybníky spolehlivě snižují koncentrace dusíku i fosforu v odpadní vodě. K odstranění tohoto znečištění probíhají procesy jako je např. sedimentace, včlenění do biomasy, difúze přes hladinu a infiltrace dnem biologického rybníka. Je však nutné, aby odpadní voda ve stabilizační nádrži setrvala určitou dobu. Průtok odpadní vody rybníkem je možno regulovat polopropustnou přepážkou. [72] Účinnost čištění odpadních vod v biologických rybnících záleží především na klimatických podmínkách. Dalším faktorem, na kterém závisí efektivnost čištění je stáří systému. [73] V těchto biologických rybnících dochází mimo jiné i k odstraňování mikroorganismů [61].

Tyto biologické nádrže mohou mít tvar pravidelný či nepravidelný. Dno mívá sklon 0,5–1 %. Je důležité, aby dno nepropustilo odpadní vodu do podloží. Proto bývají dna nádrží vybavena jílovým těsněním, plastovými fóliemi nebo umělou kolmatací. V případě jílového těsnění musí být vrstva jílu alespoň 0,3 m, aby byla zajištěna dostatečná izolace. Je-li použita

plastová fólie, je nutné, aby její tloušťka byla minimálně 3 mm. Vyžaduje se, aby plastová fólie byla neprůhledná, mechanicky odolná a vykazovala odolnost vůči UV záření. Přítok a odtok biologického rybníku je nejčastěji jednoduchého typu a bývá umístěn šikmo. Návodní límce biologických rybníků je vhodné chránit před půdní erozí. Může být zpevňován uměle, nejčastěji pomocí betonu či dlaždic. Přírodní zpevnění zahrnuje využití mokřadních rostlin. [73]

Ve srovnání s běžně využívanými čistírenskými technologiemi jsou biologické rybníky velmi výhodné svými nízkými náklady na výstavbu a následný provoz, nevyžadují speciálně školený personál. Velkou výhodou je schopnost vyčištění i velmi naředěných odpadních vod. Nevýhodou je velká potřeba plochy. [73]

V letech 2012–2015 probíhal v ČR projekt, který měl za úkol zařadit používání nových nízkozátěžovaných biologických rybníků do praxe. Projekt se týkal ČOV (do 500 EO) využívající aktivační proces v čištění odpadních vod. [72]

4.1.4 Hygienické zabezpečení

Hygienické zabezpečení nesnižuje množství znečišťujících látek tzv. polutantů. Využití hygienizace zaručuje výrazné snížení počtu patogenních mikroorganismů nacházejících se v odpadní vodě. Jedná se tedy o dezinfekci. Tato dezinfekce odpadní vody však není vyžadována. Ovšem v některých případech je hygienizace žádoucí, a to konkrétně je-li původ odpadních vod z hygienicky závadných provozů jako jsou např. zdravotnická zařízení. [61] Odpadní vody z těchto provozů se zásadně neliší od běžných splaškových odpadních vod. Čím jsou odpadní vody ze zdravotnických zařízení charakteristické, je možné vysoké mikrobiální znečištění. Míra mikrobiálního znečištění odpadních vod ze zdravotnických zařízení je někdy tak vysoká, že tuto odpadní vodu lze označit za infekční odpadní vodu. [74] Nutné využití hygienického zabezpečení nastává v případě, kdy je vyčištěná odpadní voda určena k následné recyklaci (např. třeba pro závlahy městské zeleně) nebo pro vypouštění do vodního recipientu v citlivých oblastech či v oblastech určených k rekreaci. [61] Pokud by nedošlo k dostatečnému hygienickému zabezpečení, mohlo by dojít vlivem přítomných bakterií, virů a plísní ke znehodnocení zavlažované půdy. Pokud by byla recyklovaná odpadní voda určena k pití, mohla by způsobovat různé zdravotní problémy. [78]

Hygienické zabezpečení je prováděno chemickými a fyzikálními postupy. Mezi chemické postupy řadíme využití chlóru. Pro fyzikální hygienizaci odpadní vody je využíváno UV záření

a ozón. [61] Velmi speciálními fyzikálními metodami pro dočištění odpadních vod je využití ultrazvuku či nízkoteplotního plazmatu. [75, 76]

4.1.4.1 Chlór

Použití chlóru pro dezinfekci odpadní vody je nízkonákladové a snadno dostupné. Má pozitivní účinky nejen pro dezinfekci odpadní vody, ale i k následným možným procesům. V dalších procesech zabraňuje růstu povlaků v rozvodném potrubí a zabraňuje sekundárnímu růstu mikroorganismů. [61] Avšak dezinfekce chlórem nedokáže zbavit odpadní vodu všech mikroorganismů. Chlór je dodáván v kapalně formě. Skladuje se v přítomnosti vysokého tlaku. Do odpadní vody je aplikován je formě plynu. [78]

K této hygienizaci se nejčastěji využívá chlornan sodný [61]. Pro ČOV nad 100 EO se pro hygienické zabezpečení chlórem využívá plynný chlór nebo oxid chloričitý. Ovšem pro menší ČOV nejsou tyto technologie vhodné, a to z pohledu bezpečnosti manipulace a používání. [77] Pro správnou dezinfekci je důležité, aby byla stanovena správná dávka a dostatečná reakční doba [61]. Efektivitu hygienizace ovlivňují faktory jako jsou hodnota pH, teplota či množství mikrobiálního znečištění. [77]

U procesu chlorace mohou vznikat toxické nebo dokonce karcinogenní vedlejší produkty jako např. kyselina chloroctová, trihalogenované metany [77]. Z tohoto důvodu je vhodné použít k dezinfekci odpadní vody oxid chloričitý. Jelikož oxid chloričitý nevykazuje chlorační účinky, ale působí pouze oxidačně. Kromě toho vznikající sloučeniny (chloračnany, chloritany) jsou v přítomnosti organických látek rychle odbouratelné. Tudíž jejich toxický efekt je minimální. [74] Na konci dezinfekčního procesu mohou vyčištěné odpadní vody obsahovat zbytková množství chlóru. Není-li tento chlór v dalších procesech užitečný či žádoucí je vhodné ho z vody odstranit vhodnými dechloračními činidly. [61] Mezi nejvyužívanější chlorační činidla se řadí siřičitan sodný a thiosíran sodný [77].

4.1.4.2 UV záření

Ultrafialové záření je stále více využívanou metodou fyzikálního čištění městských odpadních vod [78]. Jedná se o velmi jednoduchý proces čištění vysoce šetrný k životnímu prostředí [78, 79]. Výhodou této technologie oproti hygienizace chlórem je, že se jedná o bezpečnější metodu, jelikož při použití ultrafialového záření nevznikají žádné vedlejší

produkty [78, 77]. Avšak v porovnání s chlórem je použití ultrafialového záření daleko finančně náročnější [78]. I přes veškerou finanční náročnost se stává UV záření nejrozšířenější technologií v terciárním čištění [61].

Jedná se o elektromagnetické vlnění, jejichž vlnové délky jsou kratší, než je vlnová délka viditelného světla. Tudíž vlnová délka se pohybuje v rozmezí 100–400 nm. [80] Avšak dezinfekční účinky ultrafialového záření se projevují v rozmezí vlnových délek 205–315 nm. Maximální dezinfekční efekt je však okolo 260 nm. K vytvoření UV záření je využíváno nízkotlakých rtuťových, popřípadě amalgámových výbojek. Tyto výbojky dosahují záření o vlnové délce 254 nm, což je velmi blízké hodnotě dezinfekčního maxima. [79] Účinnost dezinfekce je závislá na délce a intenzitě použitého záření. Proto je vhodné, aby voda, která je vystavena této technologii byla v podobě tenkého filmu. [61] Ultrafialové záření je vytvářeno v tzv. UV reaktorech. Tento UV reaktor je tvořen radiační komorou a jednou nebo více UV výbojkami. Pro zamezení styku výbojky s odpadní vodou je UV výbojka uložena v pouzdře tvořeného křemičitanovým sklem. Křemičitanové pouzdro může být opatřeno i stěračem. [84]

Dezinfekční účinky spočívají v poškozování genetické informace, tedy DNA nebo RNA. Právě DNA a RNA nejefektivněji pohlcují světlo o vlnových délkách 240–280 nm. Vlivem pohlcování ultrafialového záření vznikají thyminové dimery, které nedovolují replikaci DNA. Tedy rozmnožování mikroorganismů je znemožněno. UV záření je v hygienizaci odpadní vody efektivnější, jelikož dochází i k dezinfekci mikroorganismů, které chlorace nedokáže poškodit. Hovoříme zejména o rodu *Cryptosporidium*. UV záření může v některých případech poškozovat enzymy či proteiny mikroorganismů. [81] Destrukční změny provedené vhodnou dávkou ultrafialového záření jsou nevratné [61].

Ultrafialové záření může být pro čištění odpadních vod využíváno v kombinaci s peroxidem vodíku. Kombinace UV záření a H_2O_2 je považována za velmi účinnou metodu odstranění obtížně biologicky odbouratelných látek. Principem reakce je rozklad peroxidu vodíku pomocí ultrafialového záření o vlnové délce 254 nm. Při tomto rozkladu vznikají hydroxylové radikály, které vykazují schopnost rozkládat organické látky. [100]

4.1.4.3 Ozón

Ozón je silný dezinfekční prostředek s vysokým oxidačním potenciálem. Je považován za jedno z nejúčinnějších způsobů inaktivace patogenů. [82] Proces ozonizace mimo odstranění mikroorganismů dokáže jako jediná technologie odstranit i zákal [78]. V procesu hygienizace

nedochází k tvorbě vedlejších toxických produktů [83]. Účinnost dezinfekce závisí na pH a teplotě odpadní vody [77]. Ozonizace využívaná k dezinfekci odpadních vod je finančně náročnější než dezinfekce chlórem [78].

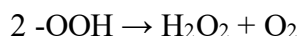
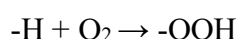
Ozón z důvodu své nestability není možné skladovat. Proto je nutné ho vyrábět v blízkosti jeho potřeby. K výrobě ozónu slouží přístroje nazývané generátory ozónu. Nejpoužívanější technologií pro vznik ozónu je pomocí vysokonapěťového výboje. U generátorů, jež připravují ozón pomocí vysokonapěťového výboje slouží k tomuto procesu takzvaný výbojový element. Ozón je ve výbojovém elementu vyráběn z procházejícího vzduchu nebo kyslíku, kdy v tomto prostoru dochází k výboji. V tomto procesu dochází k rozštěpení určitého množství molekul kyslíku na kyslík atomární. Následně se vzniklý atomární kyslík naváže na zbylé nerozštěpené molekuly kyslíku za vzniku ozónu. Je nutno zmínit, že efektivnost generování ozónu z hlediska využitého vstupního materiálu je pro ozonizační jednotky rozdílná. Využívá-li generátor ozónu pro jeho výrobu vzduch jsou vyrobené koncentrace nižší, než je tomu u generátorů využívající čistý kyslík. Pro výrobu z kyslíku je využíván kyslík kapalný nebo může být kyslík v generátoru připravován přímo. Pro výrobu ozónu ze vzduchu je nutné použít vzduch zbavený vlhkosti, aby se zamezilo vzniku tvorby kyseliny dusičné ve výbojovém elementu. Důležité je také zabránit zrychlené korozi využívané nerezové elektrody. Pro směšování vytvořeného ozónu a odpadní vody se využívá nejčastěji přístroje s ejektorem se statickým mixérem a reakční nádrží. Tomuto přístroji bývá velmi často předřazeno zařízení ve formě čerpadla, jehož cílem je zvyšovat tlak. Probublávání může být zajištěno i pomocí frit umístěných v reakčních nádržích. Pro lepší účinnost je možno i do systému zařadit vestavbu. Tyto vestavby mají za úkol prodloužit čas setrvání vytvořených bublin ozónu v odpadní vodě. Jelikož je nutné na konci procesu zbytkový ozón z odpadní vody odstranit, jsou reakční nádrže vybaveny destruktory zbytkového ozónu. Zde dochází k jeho rozkladu. Lóže destruktory zbytkového ozónu je nejčastěji tvořeno aktivním uhlím. Je-li využíván generátor ozónu využívající čistý kyslík, není možné použít k destrukci zbytkového ozónu lože s aktivním uhlím. [84]

4.1.4.4 Ultrazvuk

Označuje se též jako sonolýza [87]. Ultrazvuk je zvukové vlnění, jehož frekvence přesahuje hranici 20 kHz. Tudiž pro lidské ucho je nezaznamatelný. [88] Ultrazvuková technologie je inovativní metoda založena na pokročilých oxidačních procesech [85]. Použití sonolýzy pro čištění odpadních vod je považováno za velmi efektivní metodu odstraňování

mikrobiálního znečištění. Ultrazvuková technologie ovšem neodstraňuje pouze patogeny. Dochází i k odstraňování obtížně rozložitelného organického znečištění. [86] Ultrazvuk je využíván zejména pro čištění odpadních vod pocházejících z textilního průmyslu [87].

Ultrazvukové vlny jsou vytvářeny v přístroji nazývaném ultrazvukový měnič. Tento přístroj transformuje elektrickou energii na mechanické kmitání za vzniku akustické kavitace. [87] Právě tato kavitace je základním principem čištění pomocí ultrazvuku [89]. Je-li kapalina vystavena ultrazvukovému vlnění dochází k lokálnímu poklesu tlaku a vznikají tzv. kavitační bubliny [90, 91]. Tyto bubliny vznikají a rostou po sobě jdoucích cyklech. Při dostatečném výkonu ultrazvuku dosáhnou nestabilních rozměrů, kdy dojde k jejich prudkému zhroucení. [90] Vzniklá tlaková vlna je schopna poškozovat některé patogeny. Ovšem nedochází pouze k odstranění mikroorganismů. Během kavitace se dočasně změní chemické složení kapaliny. [91] Dochází tedy k tvorbě radikálů hydroxylových (-OH), perhydroxylových (-OOH) a vodíkových (-H). V pozdější fázi dochází i k tvorbě peroxidu vodíku (H₂O₂). Tento proces je znázorněn následujícími reakcemi: [94]



4.1.4.5 Sonolýza spojená s ozonizací

Použití ultrazvuku společně s ozónem dosahuje lepších výsledků čištění než samostatné použití každé z metod. Tedy rozklad látek je daleko rychlejší. Výhodou tohoto procesu je snížení nutných dávek ozónu pro stejné dosažení kvality výsledné vyčištěné odpadní vody. Sonolýza ozónu umožňuje výrazně snižovat celkové koncentrace dusíku a fosforu. Dále umožňuje vyčistit odpadní vodu od patogenních mikroorganismů a mnoha mikropolutantů. [87]

K čištění dochází v ultrazvukových reaktorech za použití takové frekvence ultrazvuku, aby nedocházelo k vytlačování ozónu z čištěné odpadní vody. Princip čištění je stejný jako u samotné sonolýzy. Avšak při této metodě dochází uvnitř kavitačních bublin k tepelnému rozkladu ozónu. Při rozkladu ozónu vznikají hydroxylové radikály. V této technologii se také

využívá dávkování peroxidu vodíku. [93] Proces kavitace zaručuje tvorbu hydroxylových radikálů, tvořící se z přidávaného peroxidu vodíku [94].

4.1.4.6 Nízkoteplotní plazma

Jedná se o velmi nadějnou technologii, která byla doposud používána v laboratorním prostředí. Testy ukázaly, že tato nová technologie je velmi efektivní i u čištění velkých objemů. Další výhodou jsou relativně nízké pořizovací i provozní náklady. [91]

Tato technologie je založená na procesu kavitace, do které je následně aplikován výboj nízkoteplotního plazmatu. V tomto procesu dočišťování dochází k oxidačním procesům, které způsobují mineralizaci buněčných stěn patogenů a degradaci léčiv. Tedy z odpadní vody jsou touto metodou kromě zbytků léčiv odstranitelné také bakterie, viry, plísně či pesticidy. [95]

Předpokládá se, že technologie nízkoteplotního plazmatu bude použitelná pro čištění nejen komunálních odpadních vod, ale i vod ze zdravotnických zařízení či z průmyslového odvětví. [95]

Závěr

Bakalářská práce na téma Novinky v čištění odpadních vod se věnuje tématu terciárního čištění odpadních vod. Tedy na její dočišťování od znečišťujících látek, které v předchozích stupních čištění nejsou odstraňovány dostatečně či nejsou odstraňovány vůbec. V práci byly prezentovány metody filtrace, sorpce a hygienického zabezpečení odpadních vod. Byly představeny i některé vhodné kombinace inovativních metod.

Dobrou zprávou je, že technologie terciárního čištění odpadních vod jsou schopny odstranit nežádoucí, běžnými technologiemi těžko odstranitelné znečišťující látky, a tak bojovat s novými celosvětovými hrozbami jako jsou například environmentální znečištění a rostoucí nedostatek zásobáren pitné vody.

Pro využití metod terciárního čištění je nutné brát v potaz charakter a vlastnosti dočišťované odpadní vody a velikost dané čistírny odpadních vod. Jelikož použití dané metody by nemuselo být dostatečně efektivní a bezpečné. Z hlediska bezpečnosti je nevhodné použití chlóru v malých čistírnách odpadních vod. Dalším problémem zařazení inovativních technologií do běžného provozu některých ČOV může být velmi vysoká pořizovací cena některých technologií. Mezi velmi nákladné dezinfekční technologie řadíme UV záření či použití ozónu. Je nutné mít na paměti, že tyto nákladné technologie vykazují velmi působivé výsledky čištění. Ovšem i v terciárním čištění se nacházejí takové technologie, které jsou pro pořízení a následný provoz finančně únosné. Hovoříme tedy o technologiích jako je využití chlóru a v budoucnu využití i nízkoteplotního plazmatu. Avšak využití chlóru je spojeno s tvorbou vedlejších toxických produktů, které je nezbytné z odpadní vody odstraňovat a méně kvalitních dosahovaných výsledků čištění než u dezinfekce odpadní vody pomocí ultrafialového záření. Za nízkonákladovou technologii je považován také biouhel jako sorpční materiál, jelikož může být vyráběn z produkovaného přebytečného kalu na dané ČOV.

Nakonec této bakalářské práce je nutno zmínit, že použití primárních a sekundárních čistírenských procesů společně s vhodným uspořádáním inovativních technologií terciárního dočišťování odpadních vod vytváří odpadní vodu velmi vysoké kvality, která je bezpečná pro vypouštění i do vodních recipientů citlivých oblastí či je vhodná pro závlahy městské zeleně a městské vodní hospodářství.

Použitá literatura

- [1] DOHÁNYOS, Michal. Jan KOLLER a Nina STRNADOVÁ. *Čištění odpadních vod*. Dotisk 2. vydání. Praha: VŠCHT Praha, 2011. ISBN 978-80-7080-316-5.
- [2] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2535-0.
- [3] Zákon č. 254 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) ze dne 28. června 2001. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2021-9-20]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/%24%24OpenDominoDocument.xsp?documentId=20F9C15060CAD3AEC1256AE30038D05C&action=openDocument>
- [4] PESCOD, M. B. *Wastewater treatment and use in agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992. ISBN 92-5-103135-5.
- [5] *Zachráníme vodu od mikropolutantů?* Přírodovědecká fakulta Univerzita Karlova [online]. [cit. 2021-9-20]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/fakulta/veda-a-vyzkum/popularizace/clanky/zachranime-vodu-od-mikropolutantu>
- [6] Nařízení vlády ze dne 14. prosince 2015 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. *Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky* [online]. [cit. 2021-9-22]. Dostupné z: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=401&r=2015>
- [7] CHUDOBA, Jan, Michal DOHÁNYOS a Jiří WANNER. *Biologické čištění odpadních vod*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00611-2.
- [8] *Odpadní voda*. Ravos, s.r.o. [online]. [cit. 2021-9-22]. Dostupné z: <https://www.ravos-sro.cz/vse-o-vode/odpadni-voda/>
- [9] ŠÁLEK, Jan, Michal KRIŠKA, Oldřich PÍREK, Karel PLOTĚNÝ, Miloš ROZKOŠNÝ a Zdeňka ŽÁKOVÁ. *Voda v domě a na chatě: Využití srážkových a odpadních vod*. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-3994-6.
- [10] *Průmyslové odpadní vody* [online]. [cit. 2021-9-22]. Dostupné z: <https://www.labtech.eu/prumyslove-odpadni-vody/>

- [11] BINDZAR Jan, Václav JANDA, Pavel JENÍČEK, Iveta RŮŽIČKOVÁ a Nina STRNADOVÁ. *Základy úpravy a čištění vod*. Dotisk prvního vydání. Praha: VŠCHT Praha, dotisk 2016. ISBN 978-80-7080-729-3.
- [12] *Soustavy stokových sítí* [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: http://hgfl0.vsb.cz/546/VHZ2/5_soustavy_stokovych_siti.html
- [13] SOJKA, Jan. *Malé čistírny odpadních vod*. Brno: vydavatelství ERA, 2001. ISBN 80-86517-11-X.
- [14] *Odlehčovací komory jsou důležitou ochranou kanalizační sítě* [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/odlehcovaci-komory-jsou-dulezitou-ochranou-kanalizacni-site/>
- [15] *Kanalizační stoky* [online]. [cit. 2021-10-5]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/www/hanekpav/K154/PDF/Stokovani.pdf>
- [16] *Čistírny odpadních vod* [online]. [cit. 2021-10-19]. Dostupné z: https://www.elventa.cz/cistirny-odpadnich-vod#utm_source=edb&utm_medium=google&utm_campaign=2021
- [17] WIESMANN, Udo, In Su CHOI a Eva-Maria DOMBROWSKI. *Fundamentals of Biological Wastewater Treatment*. Birkach: buch bücher dd, 2007. ISBN 978-3-527-31219-1.
- [18] *Cloaca Maxima – obří starověký kanalizační systém slouží dodnes* [online]. [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://www.memento-historia.cz/clanek/174/cloaca-maxima-obristaroveky-kanalizacni-system-slouzi-dodnes>
- [19] *Historie stokování odpadních vod aneb jak to dříve bylo s odpadními vodami?* [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://vodnistrazci.cz/kanalizace/historie-stokovani-aneb-jak-to-drive-bylo-s-odpadnimi-vodami>
- [20] *Joseph Bazalgette* [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: https://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/bazalgette_joseph.shtml
- [21] *Construction of London's Victorian sewers: the vital role of Joseph Bazalgette* [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://pmj.bmj.com/content/77/914/802>

- [22] WANNER, Jiří. *Historie technologie čištění odpadních vod* [online]. 13.3.2019, 3/2019 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-historie-technologie-cistení-odpadních-vod.html>
- [23] *Historie odvádění a čištění odpadních vod v Praze* [online]. [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/tiskovy_servis/aktuality_z_prahy/ustredni_cis_tirna-historie_odvadeni_a_cistení_odpadních.html
- [24] DRNEK, Kryštof. *William H. Lindley se před 110 lety stal šlechticem* [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/aktuality/william-h-lindley-se-pred-110-lety-stal-slechticem/>
- [25] WANNER, Jiří. *Vývoj technologie čištění odpadních vod v Praze v oblasti Císařského ostrova*. SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací [online]. Praha: Mgr. Pavel Fučík, 2018, 27(9), 5-13 [cit. 2022-02-18]. ISSN 1210-3039. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-10/Sovak091872.pdf>
- [26] *Nová vodní linka na Císařském ostrově vstupuje do zkušebního provozu* [online]. [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: https://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/zivot_v_praze/zivotni_prostredi/nova_vodni_linka_na_cisarskem_ostrove.html
- [27] BAŽATA, Jiří, Jakub KOVAŘÍK, Jiří ROSICKÝ a Jiří WANNER. *Modernizace ÚČOV Praha v roce 2018*. SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací [online]. Praha: Mgr. Pavel Fučík, 2018, 27(9), 14-19 [cit. 2022-02-18]. ISSN 1210-3039. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-10/Sovak091872.pdf>
- [28] PECHÁČEK, Jiří. *Čištění odpadních vod* [online]. [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/16_Chemie-a-ekologie_43-44/44_MMP/081_cistení-odpadních-vod---Pechacek.pdf
- [29] MATYSÍKOVÁ, Jana. *Česle a síta* [online]. [cit. 2022-02-21]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/285.cesle-a-sita>
- [30] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-13-4
- [31] *Mechanické čištění odpadních vod*. Brno: Česká vědeckotechnická společnost, 1996.

- [32] *Ekvivalentní obyvatel (EO)* [online]. [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: [https://ekocis.cz/ekvivalentni-obyvatel-\(eo\)](https://ekocis.cz/ekvivalentni-obyvatel-(eo))
- [33] *Výpočet počtu ekvivalentních obyvatel* [online]. [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/151-vypocet-poctu-ekvivalentnich-obyvatel>
- [34] *Jak funguje čistírna odpadních vod* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: http://poradme.se/index.php?title=Jak_funguje_%C4%8Dist%C3%ADrna_odpadn%C3%ADch_vod
- [35] *Lapák štěrku* [online]. [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://www.ekoprogres.cz/soubor/lapak-sterku/>
- [36] *Vertikální lapáky písku VLP* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.ekosystem.cz/sites/default/files/download/p010-07-17_-_lapaky_pisku_vlp.pdf
- [37] *Vírový lapák písku* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://pars-aqua.cz/virove-lapaky-pisku.html>
- [38] *Lapáky písku provzdušňované* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.ekoprogres.cz/soubor/lapaky-pisku-provzdušnovane/>
- [39] VOJÁČEK, Antonín. *Principy průmyslových čerpadel: 10.díl – mamutková čerpadla* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-čerpadel-10díl-mamutkova-čerpadla>
- [40] *Zpracování kalů* [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <http://hgfl10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/index.html>
- [41] *Kruhové usazovací a dosazovací nádrže* [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <http://www.vhzdis.eu/?product=kruhove-usazovaci-a-dosazovaci-nadrze&lang=cs>
- [42] *Aktivační čistírna* [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <http://www.jaksestaratocistirnu.cz/obecne-o-domovnich-cistirnach/typy-cistiren/aktivacni-cistirna/>
- [43] *Biofilmová čistírna* [online]. [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <http://www.jaksestaratocistirnu.cz/obecne-o-domovnich-cistirnach/typy-cistiren/biofilmova-cistirna/>

- [44] *Aktivace* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <http://hgfl10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Aktivace.html>
- [45] *Fyzikálně chemické čištění OV* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://tvp.vscht.cz/veda-a-vyzkum/fyzchem>
- [46] SINGROVÁ, Veronika. *Kombinované systémy využívané k míchání a provzdušňování* [online]. 11. 6. 2020 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/20785-kombinovane-systemy-vyuzivane-k-michani-a-provzdusnovani>
- [47] *Nitrifikace a denitrifikace* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://empla.cz/nitrifikace-a-denitrifikace>
- [48] *Čistírenství a vodárenství* [online]. [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/jaro2016/Bi8045/um/cisteni_odp_vod_2a.pdf.
- [49] RŮŽIČKA, Vlastimil. *Membránové procesy při čištění vody pomáhají chránit životní prostředí* [online]. 12.10.2021 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/22898-membranove-procesy-pri-cisteni-vody-pomahaji-chranit-zivotni-prostredi>
- [50] WANNER, Jiří. *Dosahovaná kvalita vyčištěné odpadní vody v moderních ČOV a příklady recyklace odpadních vod* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.senat.cz/xqw/webdav/pssenat/original/92839/77839>
- [51] FRANKEL, Tom. *WHAT IS TERTIARY WASTEWATER TREATMENT, AND HOW DOES IT WORK?* [online]. 2. 12. 2020 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://www.ssaeration.com/what-is-tertiary-wastewater-treatment/>
- [52] *Terminary wastewater treatment in India* [online]. [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: <https://chokhavatia.com/skills/treatment-processes/tertiary-treatment/>
- [53] *Jak zbavit řeky zbytků léčiv a hormonů? Hledání nových technologií podpoří státní fond* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/jak-zbavit-řeky-zbytku-leciv-a-hormonu-hledani-novych-technologii-podpori-statni-fond>
- [54] *Odstranění mikropolutantů* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.envi-pur.cz/dalsi-produkty-a-sluzby-odstraneni-mikro-polutantu/>

- [55] WANNER, Jiří. *Čištění odpadních vod v ČR: vývoj a současná situace* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/cistení-odpadních-vod-cr/>
- [56] *Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2020/741 ze dne 25. května 2020 o minimálních požadavcích na opětovné využívání vody* [online]. [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32020R0741>
- [57] *Projekt HORIZON 2020* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=SgX8fMo2eXM>
- [58] *Recyklace vody – neprávem opomíjené odpadové téma* [online]. 28. 1. 2021 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6806368>
- [59] *Eutrofizace a acidifikace životního prostředí* [online]. [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/eutrofizace-a-acidifikace-zivotniho-prostredi/>
- [60] WEHLE, Tomáš. *Profesor Wanner: Recyklovanou vodu naše právo neuznává. A tak splachujeme pitnou* [online]. 4. 3. 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.ecoista.cz/profesor-wanner-recyklovanou-vodu-nase-pravo-neuznava-a-tak-splachujeme-pitnou/>
- [61] WANNER, Jiří. *Terciární čištění odpadních vod s cílem jejich opětovného využívání*. SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací [online]. Praha: Mgr. Pavel Fučík, 2016, 25(3), 4-7 [cit. 2022-03-24]. ISSN 1210-3039. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/sites/default/files/qi5DSngBdERdzC8ym/Sovak031672.pdf>
- [62] *Membránová filtrace v čištění odpadních vod* [online]. 28. 6. 2021 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <https://euroclean.cz/clanky/membranova-filtrace-v-cistení-odpadních-vod/>
- [63] *Membránové procesy* [online]. [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.text.k27.membranove.procesy.pdf>
- [64] KOTZUROVÁ, Iveta, Marek HOLBA, Kristýna POSPÍŠKOVÁ a Jan FILIP. *Porovnání technologií odstraňování a recyklace fosforu na komunálních čistírnách v České republice* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/porovnani-technologie-odstranovani-a-%E2%80%AFrecyklace-fosforu-na-komunalnich-cistirnach-v-ceske-republice/>

- [65] *Filtr s aktivním uhlím* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <https://www.eurowater.com/cz/zarizeni-na-upravu-vody/filtrace/filtr-s-aktivnim-uhlim>
- [66] *Aktivní uhlí* [online]. [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: <http://deto.cz/produkty/ionexy-a-filtracni-material/aktivni-uhli>
- [67] BENEŠ, Ondřej, Ladislav BARTOŠ a Radka HUŠKOVÁ. *Zkušenosti s využitím aktivního uhlí – aplikace pro mikropolutanty* [online]. 77-84 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://adoc.pub/zkuenosti-s-vyuitim-aktivniho-uhli-aplikace-pro-mikropolutan.html>
- [68] *Úprava vody – „nové“ kontaminanty a způsoby jejich odstraňování* [online]. 8. 11. 2016 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/14902-uprava-vody-nove-kontaminanty-a-zpusoby-jejich-odstranovani>
- [69] ŠTASTNÝ, Václav. *Biouhel – nová perspektiva v technologii dočišťování odpadních vod, nebo slepá ulička?*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace [online]. 14. 6. 2019, 61(3), 40-43 [cit. 2022-04-04]. ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2019/06/biouhel-nova-perspektiva-v-technologie-docistovani-odpadnich-vod-nebo-slepa-ulicka/>
- [70] MARTÍNEK, Ondřej. *Biouhel – staronový pomocník pro řešení aktuálních výzev?* [online]. 11. 12. 2020 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: https://www.enviprofi.cz/33/biouhel-staronovy-pomocnik-pro-reseni-aktualnich-vyzev-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_ZwsdMuTKXXS7nZAGfpGfOwo/
- [71] THOMPSON, Kyle A., Kyle K. SHIMABUKU, Joshua P. KEARNS, Detlef R. U. KNAPPE, R. Scott SUMMERS a Sherri M. COOK. *Environmental Comparison of Biochar and Activated Carbon for Tertiary Wastewater Treatment* [online]. 2016, 22. 8. 2016, 50(20), 11253-11262 [cit. 2022-04-04]. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.6b03239
- [72] *Dočišťovací biologické rybníky: Nízkozatěžované biologické dočišťovací rybníky* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/zbytiny-docistovaci-biologicke-rybniky>
- [73] *Biologické nádrže využívané k čištění a dočišťování odpadních vod* [online]. 22. 1. 2016 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/356.biologicke-nadrze-vyuzivane-k-cisteni-a-docistovani-odpadnich-vod>

- [74] *Čištění vod ve zdravotnických zařízeních* [online]. 12. 8. 2020 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/21027-cisteni-vod-ve-zdravotnickych-zarizenich>
- [75] *Ultrazvukové čištění odpadních vod* [online]. 29. 3. 2019 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <http://m.cz.cgultrasonic.com/news/ultrasonic-waste-water-treatment-23211763.html>
- [76] *Zbaví vodu zbytků léčiv nebo pesticidů. Brněnští vědci si za vynález odnášejí zlatou medaili* [online]. 9. 11. 2021 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://brno.rozhlas.cz/zbavi-vodu-zbytku-leciv-nebo-pesticidu-brnensti-vedci-si-za-vynalez-odnaseji-8615896>
- [77] *Legislativa a dezinfekce odpadních vod* [online]. 9. 8. 2012 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/123.legislativa-a-dezinfekce-odpadnich-vod>
- [78] *Chlor, ozón nebo UV světlo: Jak vypadá dezinfekce odpadních vod?* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.hydrotech-group.com/cz/blog/chlor-ozon-alebo-uv-svetlo-ako-vyzera-dezinfekcia-odpadovych-vod>
- [79] *UV desinfekce* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.envi-pur.cz/upravny-pitne-vody-uv/>
- [80] *UV záření* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/koupani-ve-volne-prirode/uv-zareni>
- [81] *Dezinfekce vody UV zářením, výhody a aplikace* [online]. 11. 11. 2019 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/19843-dezinfekce-vody-uv-zarenim-vyhody-a-aplikace>
- [82] MARTÍNEZ, Sonia B., Jerónimo PÉREZ-PARRA a Ricardo SUAY. *Use of Ozone in Wastewater Treatment to Produce Water Suitable for Irrigation* [online]. 12. 3. 2011 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9798-x>
- [83] *Odpadní voda* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.disa.cz/produkty/zarizeni-pro-upravu-a-dezinfekci-vody/ozonizace/oblasti-pouziti/odpadni-voda>
- [84] UNČOVSKÝ, Ondřej. *Všechno co jste kdy chtěli vědět o ozonu a UV (ale báli jste se zeptat)* [online]. 1. 1. 2013 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/161.vsechno-co-jste-kdy-chteli-vedet-o-ozonu-a-uv-ale-bali-jste-se-zeptat>

- [85] MAHVI, Ah. *Application of Ultrasonic Technology for Water and Wastewater Treatment*. Iranian Journal of Public Health [online]. 38(2). 1-17 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0304-4556. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/228364372_Application_of_Ultrasonic_Technology_for_Water_and_Wastewater_Treatment
- [86] YADAV N, Kumar R. *Effect of Two Waves of Ultrasonic on Waste Water Treatment* [online]. 2014, 05(03) [cit. 2022-04-07]. ISSN 21577048. Dostupné z: doi:10.4172/2157-7048.1000193
- [87] *Dokumentace k pilotní jednotce sonolyzy ozonu: Souhrn výstupu B2D1 projektu Life2Water* [online]. [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: http://www.life2water.cz/dwnld/B2D1_souhrn_sonolyza.pdf
- [88] *Co je ultrazvuk?* [online]. 12. 3. 2022 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <http://m.cz.cgultrasonic.com/news/what-is-ultrasound-55243073.html>
- [89] *Ultrazvukové čištění odpadních vod* 29. 3. 2019 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <http://m.cz.cgultrasonic.com/news/ultrasonic-waste-water-treatment-23211763.html>
- [90] MENDÉZ-ARRIAGA, F., R.A. TORRES-PALMA, C. PÉTRIER, S. ESPLUGAS, J. GIMENEZ a C. PULGARIN. *Ultrasonic treatment of water contaminated with ibuprofen*. Water Research [online]. 2008, 2. 7. 2008, 42(16), 4243-4248 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.05.033>
- [91] MARTINEC, Jan. *Voda jako ze studánky: Brněnští vědci čistí životodárnou tekutinu plazmatem*. 21. století. 2022, (2), 66. ISSN 1214-1097.
- [92] TICHÝ, Petr. *Zbaví vodu zbytků léčiv nebo pesticidů. Brněnští vědci si za vynález odnášejí zlatou medaili* [online]. 9. 11. 2021 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://brno.rozhlas.cz/zbavi-vodu-zbytku-leciv-nebo-pesticidu-brnensti-vedci-si-za-vynalez-odnaseji-8615896>
- [93] *Sonolyza ozonu* [online]. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: http://www.life2water.cz/pilot_ozon.html#page
- [94] SAMBANDAM, Anandan, Vinoth Kumar PONNUSAMY a Muthupandian ASHOKKUMAR. *Review on hybrid techniques for the degradation of organic pollutants in*

aqueous environment. Ultrasonics Sonochemistry [online]. 2020, 67 [cit. 2022-04-11]. ISSN 1350-4177. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105130>

[95] DOSTÁL, Libor. *Plazma je technologií budoucnosti. Může vyčistit vodu i odstranit nebezpečné odpady* [online]. 14. 2. 2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.businessinfo.cz/clanky/plazma-je-technologie-budoucnosti-muze-vycistit-vodu-i-odstranit-nebezpecne-odpady/>

[96] CHANIL, Jung, Son AHJEONG, Her NAMGUK, Zoh KYUNG-DUK, Cho JAEWEON a Yeomin YOON. *Removal of endocrine disrupting compounds, pharmaceuticals, and personal care products in water using carbon nanotubes: A review*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry [online]. 2015, 27 [cit. 2022-04-11]. ISSN 1226-086X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X14007047>

[97] PHOUNG, Thao. *Daniel Bouša: K odstraňování nebezpečných látek z vody chceme využívat moderní nanomateriály* [online]. 29. 8. 2019 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.ctidoma.cz/osobnosti/2019-08-29-daniel-bousa-k-odstranovani-nebezpecnych-latek-z-vody-chceme-vyuzivat-moderni>

[98] *Carbon nanotube (CNT)* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/3145/carbon-nanotube-cnt>

[99] RIBERIO, Bruno, Edson Cocchieri BOTELHO, Michelle Leali COSTA a Cirlene Fourquet BANDEIRA. *Carbon nanotube buckypaper reinforced polymer composites: A review*. Polímeros [online]. [cit. 2022-04-12]. ISSN 1678-5169. 10.1590/0104-1428.03916. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.03916>

[100] *Čištění odpadních vod metodou fotochemické oxidace za použití H₂O₂/UVC* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: https://www.dekonta.cz/files/uploads/technologie/Fotochemicka_oxidace.pdf

[101] *Trh s technologiemi pro čištění odpadních vod se má do roku 2020 zdvojnásobit* [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.hydrotech-group.com/cz/blog/trh-s-technologie-na-cistenie-odpadovych-vod-sa-ma-do-roku-2020-zdvojnaso-bit>