ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PROCESNÍ A ZPRACOVATELSKÉ TECHNIKY

ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015 VIKTOR VAJC

Vysoká škola:	ČVUT v Praze	*Fakulta:*	strojní
Ústav:	12118	*Akademický rok:*	2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro	**Viktor Vajc**
program	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
obor	2301R000 bezoborový

název česky:

Zařízení pro čistění odpadních vod

název anglicky:

Equipment for waste water treatment

Zásady pro vypracování

Zadání:

Vypracujte literární rešerši na problematiku mechanicko-biologického čištění odpadních vod. Při zpracování rešerše se zaměřte zejména na:

- Typy odpadních vod, typy znečišťujících látek, ukazatele znečištění.
- Zařízení používaná pro mechanicko-biologické čištění odpadních vod.
- Aerační zařízení a stanovení oxygenační kapacity aeračních elementů.

Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího práce.

Rozsah průvodní zprávy: maximálně 15 až 20 stran odborného textu, maximálně 5 až 10 stran příloh obsahujících provedené výpočty nebo doplňující grafy, obsah dle bodů v zadání práce.

Seznam odborné literatury: dle doporučení vedoucího práce a vlastní rešerše.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 22. dubna 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 26. června 2015

.....

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
Vedoucí ústavu

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta strojní
-3-

.....

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
Děkan fakulty

V Praze dne 22. dubna 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 29. 4. 2015

Viktor Vajc
.....
Viktor Vajc

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne ……. …….

Viktor Vajc

Děkuji vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Radku Šulcovi, Ph.D. za vstřícný a ochotný přístup při vznikání tohoto textu.

Děkuji mé rodině a bohu za to, že mi byl dopřán luxus věnovat se studiu tak, jak jsem si já sám určoval a jak jsem chtěl.

Autor

Anotační list

Jméno autora: Viktor

Příjmení autora: Vajc

Název práce česky: Zařízení pro čištění odpadních vod

Název práce anglicky: Equipment for waste water treatment

Rozsah práce: počet stran: 74

počet obrázků: 39

počet tabulek: 5

počet příloh: 0

Akademický rok: 2014/2015

Jazyk práce: český

Ústav: Ústav procesní a zpracovatelské techniky FS ČVUT v Praze

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

Vedoucí práce: doc. Ing. Radek Šulc, Ph.D.

Oponent: doc. Ing. Pavel Hoffman, CSc.

Konzultant práce:

Zadavatel:

Anotace česky: Práce je zaměřena na mechanicko-biologické čištění odpadních vod a k tomu používaná zařízení. Zmiňuje základní členění znečišťujících látek, typy odpadních vod a ukazatele znečištění. Věnuje se zařízením používaným k decentralizovanému nakládání s OV. Popisuje technologickou linku mechanicko-biologické ČOV, úseky technologické linky a zařízení používaná v jednotlivých úsecích včetně aeračních systémů. Pojednává o kalovém hospodářství ČOV a možnostech dalšího využití vyhnilého kalu. Seznamuje čtenáře s poznatky využívanými v sekundárním biologickém čištění, vysvětluje princip aktivace a anaerobního rozkladu. V poslední části jsou uvedeny výsledky experimentálního stanovení objemového součinitele prostupu hmoty, oxygenační kapacity a účinnosti přestupu kyslíku aeračního elementu v modelové aerační koloně.

Anotace anglicky: Thesis focuses on mechanical biological wastewater treatment and equipment used for wastewater treatment. In first part, basic types of water pollution and types of wastewater are discussed. In second part, the equipment used for decentralized wastewater treatment is described. It third part, a technological line used in a mechanical biological wastewater treatment plant and equipment used in each stage are described including aeration systems, sludge treatment and possible use of a treated sludge. It also contains basic information about principles and knowledge used in a biological stage of a plant. In last part, the results of an experimental measurement of the volumetric mass transfer coefficient, oxygenation capacity and oxygen transfer efficiency of an aeration element used in a model aeration tank are presented.

Klíčová slova: odpadní voda, znečištění, čištění, čistírna, sedimentace, aktivace, aerace, oxygenační kapacita, kal, kalové hospodářství, nádrž, aerobní rozklad, anaerobní rozklad

Key words: waste water, wastewater, pollution, treatment, cleaning, plant, sedimentation, activation, aeration, oxygenation capacity, sludge, sludge treatment, tank, aerobic decomposition, anaerobic decomposition

Využití:

Obsah

Úvod ... 15
1. Základní pojmy ... 16
1.1. Odpadní vody ... 16
1.2. Polutanty ... 16
1.2.1. Nutrienty ... 16
1.2.2. Těžké kovy ... 17
1.2.3. Nerozpuštěné látky ... 17
1.3. Ukazatele znečištění ... 18
1.3.1. CHSK, BSK ... 18
1.4. Třídění OV ... 18
1.4.1. Splaškové OV ... 18
1.4.2. Průmyslové a zemědělské OV ... 19
1.4.3. Srážkové OV ... 19
1.4.4. Balastní OV ... 19
1.5. Ekvivalentní obyvatel ... 20
1.6. Nerovnoměrnost průtoku ... 20
2. Čištění odpadních vod ... 22
2.1. Samočištění ... 22
2.2. Malokapacitní způsoby nakládání s OV ... 23
2.2.1. Septik ... 23
2.2.2. Žumpa ... 24
2.2.3. Domovní ČOV ... 24
2.2.4. Zemní filtry ... 26
3. Technologická linka čistírny odpadních vod ... 28
3.1. Nátok ... 29
3.2. Primární mechanické čištění ... 29
3.2.1. Lapák štěrku ... 29
3.2.2. Česle ... 30
3.2.3. Lapák písku ... 32
3.2.4. Lapák tuků ... 33
3.2.5. Primární usazovací nádrže ... 33
3.3. Sekundární biologické čištění ... 37
3.3.1. Aktivační nádrž ... 38
3.3.2. Dosazovací nádrž ... 41
3.3.3. Alternativy k aktivačnímu procesu ... 41
3.4. Terciární čištění ... 42

3.4.1. Zemní filtry, kořenové čistírny ... 42
3.4.2. Stabilizační nádrže ... 43
3.4.3. Gravitační nádrže ... 43
3.4.4. Mikrosítový filtr ... 44
4. Kalové hospodářství ... 45
4.1. Stabilizace kalu ... 45
4.1.1. Anaerobní stabilizace kalu ... 45
4.1.2. Aerobní stabilizace kalu ... 48
4.2. Metody zpracování kalu ... 48
4.3. Možnosti využití kalu ... 48
5. Základy biologického čištění ... 49
5.1. Biologická rozložitelnost ... 49
5.2. Kolonie mikroorganismů, kultivace ... 49
5.3. Aktivace ... 51
5.4. Bioflokulace ... 51
5.5. Kalový index ... 52
5.6. Anaerobní procesy ... 53
6. Experimentální stanovení oxygenační kapacity ... 55
6.1. Cíl měření ... 55
6.2. Popis měřícího zařízení ... 55
6.3. Postup měření ... 55
6.4. Použité přístroje ... 55
6.5. Teoretický základ ... 56
6.6. Výsledky měření ... 58
6.7. Diskuse výsledků ... 68
Závěr ... 69
Bibliografie ... 70

Úvod

Člověk má jakožto živočich schopný sebereflexe jedinečnou vlastnost. Měl by být schopen nahlížet na svoje činy v širším měřítku. Počínaje sám sebou a svým nejbližším okolím, obcí nebo městem ve kterém žije, státem, regionem, kontinentem a celou planetou konče. Tato lidská vlastnost je důležitá pro vzájemný vztah člověka a přírody, ale také pro přežití člověka samotného. Vždyť příroda se bez člověka obejde, ale člověk bez přírody ne.

S neustálým navyšováním počtu lidí na planetě a moderním konzumním způsobem života stojí člověk před těžkým rozhodnutím. Jelikož si v dobách minulých navykl bez omezení brát tolik, kolik sám potřeboval a neuvědomoval si (možná si nechtěl uvědomovat) dopady svého jednání, uvedl tak do pohybu vlak, který už těžko zastaví. Lidé si zvykli na benefity, které získali a těžko se jich budou vzdávat. Rozhodnutí tedy spočívá v tom, zda člověk své chování nezmění a bude podle hesla teď a tady ve svých činnostech stejným způsobem pokračovat, nebo zda investuje čas a prostředky na zmenšení dopadů svého jednání. Obě možnosti mají svá nesporná pro a proti.

Čištění odpadních vod je příkladem toho, že člověk se v případě vody přiklání ke druhé variantě. V podstatě každé větší město, nebo obec v ČR má v současnosti vlastní čistírnu, nebo jiný objekt určení pro čištění své vody. I přes to, že je čištění vody v podobě, jak ho známe dnes záležitostí posledního století, došlo za tuto dobu v čistírenské branži k významným inovacím (i když jak významné skutečně byly, ukáže až čas). Problematikou čištění vod se dnes a denně zabývá nespočet ústavů předních světových univerzit a akademií a také velké množství podniků a firem, které vytvářejí nové produkty a neustále vymýšlejí nové způsoby a technologie čištění vody. Díky tomu dochází k nepřetržitému vývoji a vzniku trendů v moderních přístupech k čištění.

Mechanicko-biologický způsob čištění, kterým se zabývá tato práce, se používá už asi sto let. Jedná se o metodu, která v oblastech účinnosti, univerzálnosti, ekonomičnosti, rozsahu použití, aj. prozatím nenašla konkurenci. Za dobu, co je metoda využívána, bylo shromážděno obrovské množství informací, které se dále využilo k intenzifikacím, modernizacím a konstrukci nových účinnějších, spolehlivějších strojů a zařízení s kratší dobou návratnosti. Tato práce odráží pouze současný stav a bude se s postupem času čím dál tím více odklánět od dobové reality.

1. Základní pojmy

Voda je nezbytnou a nenahraditelnou součástí života. Země je doposud jedinou známou planetou, kde se voda vyskytuje ve všech třech skupenstvích najednou. Díky tomu může docházet k životně důležitému a nepostradatelnému koloběhu vody. Tento mechanismus nepřetržitě vypařuje vodu z oceánů a transportuje ji na dlouhé vzdálenosti do vnitrozemí, kde ve formě dešťů padá na zem. Část dešťové vody je uložena do podzemních a povrchových vodních zdrojů. Zbytek stéká do vodních toků a putuje zpět do moří. Voda se ve vnitrozemí obohacuje o rozpuštěné minerální látky, kterými se živí organismy žijící v mořích a oceánech, což bylo prapůvodní a dlouhou dobu také jediné prostředí, ve kterém existoval život. Energii koloběhu vody dodává Slunce. Člověk jako suchozemský živočich již není závislý na mineralizaci oceánů, ale na přírodních vodních zdrojích, které jsou přímým důsledkem tohoto mechanismu. Je-li zdroj vhodný pro vodárenské využití, je voda z něj podrobena úpravným procesům (čištění, obohacování, desinfekce, aj.) a poté distribuční sítí přivedena k jednotlivým odběratelům.

1.1. Odpadní vody

Odpadní vodu (OV) lze definovat jako vodu, u které došlo ke změně jejich vlastností použitím v procesech nebo technologiích, znečištěním, nebo pouhým svedením vody do kanalizačních stok bez předchozího využití. Rozlišuje se několik typů odpadních (viz 1.4.).

1.2. Polutanty

Slovem polutant se označuje látka podílející se svou přítomností na znečištění prostředí (zde vody). Takových látek je mnoho. Mezi ty, způsobující v současnosti největší problémy, patří nutrienty, těžké kovy, nerozpuštěné pevné látky, pesticidy, oxidovatelné látky, patogeny, radioaktivní látky, aj [1].

Polutanty lze dělit podle více kriterií, např. na rozpuštěné a nerozpuštěné; organické a anorganické; rozložitelné a nerozložitelné; usaditelné a neusaditelné, aj [2]. Analýza složení (chemický rozbor) je nejpodrobnějším zdrojem poznatků o přítomnosti a množství znečišťujících látek ve vodě, umožňuje navrhnout vhodná čistící zařízení, dimenzovat kapacity čistících úseků, adaptivně řídit čistící procesy nebo kontrolovat stav a kvalitu vody na výtoku z čistících kolon.

1.2.1. Nutrienty

Obr. 1: Eutrofizace [45]

Souhrnný název pro všechny látky, které se podílejí na stavbě a výživě buněk. Je-li pojem používán v souvislosti se znečištěním, pak se myslí pouze prvky N a P [2]. Jejich vyšší přítomnost ve vodě nejprve způsobí přemnožení planktonu, sinic, aj. – tzv. eutrofizaci. Vzniká vodní květ. Po rychlém vyčerpání živin dochází k prudkému úhynu přemnožených mikroorganismů. Jejich těla jsou dále rozkládána oxidačními procesy, čímž dochází k prudkému úbytku kyslíku ve vodě a v důsledku toho k masivnímu úhynu vodních živočichů. Nutrienty se v abnormálních množstvích dostávají do vody jako důsledek lidské činnosti (např. hnojení polí).

Na nutrienty však nelze pohlížet pouze jako na polutanty, ale také jako na základní zdroj stavebních prvků pro mikroorganismy, které jsou nezbytné pro život všech vodních živočichů. Z toho vyplývá, že je žádoucí a nutné, aby takové látky byly v určitém rozsahu koncentrací ve vodě přítomny. Čistící procesy v čistírnách odpadních vod (ČOV) jsou zvláště citlivé na koncentraci nutrientů v OV.

1.2.1.1. Dusík

Dusík je ve vodách přítomen ve formě anorganických a organických sloučenin. Pro součet koncentrací anorganického a organického dusíku se používá pojem celkový dusík. Anorganický dusík se nejčastěji vyskytuje ve formě amoniakální ($NH_4{}^+$, nebo NH_3), dusitanové ($NO_2{}^-$), nebo dusičnanové ($NO_3{}^-$) [2]. Součet těchto tří forem se označuje jako celkový anorganický dusík [3].

Všechny sloučeniny dusíku podléhají ve vodním prostředí biochemickým přeměnám. Rozlišuje se nitrifikace – oxidace amoniakálního dusíku na dusitanovou nebo dusičnanovou formu za uvolnění vodíkových iontů a denitrifikace – redukce dusičnanů na elementární dusík.

Amoniakální dusík se vyskytuje v iontové ($NH_4{}^+$) a molekulární (NH_3) podobě. Zda převládá $NH_4{}^+$, nebo NH_3 závisí na kyselosti vody. Molekulární (nedisociovaná) forma je toxická pro ryby. Dusitanová ($NO_2{}^-$) forma je sice toxická pro ryby i člověka, ale vzhledem ke své nestálosti se nevyskytuje při vyšších koncentracích. Dusičnany již nelze dále oxidovat. Proto jsou v oxických (viz 5.2.) podmínkách stabilní. Právě dusičnany jsou hlavní příčinou eutrofizace [3].

1.2.1.2. Fosfor

Vyskytuje se ve formě různých sloučenin. Celkový fosfor je definován jinak, než v případě dusíku; a sice jako součet rozpuštěného a nerozpuštěného fosforu. Rozpuštěný a nerozpuštěný fosfor se dále dělí na organický a anorganický. Mikroorganismy jsou dobře schopné zpracovávat část anorganického rozpuštěného fosforu a některé málo rozpustné fosforečnany. Obecně se dá říct, že sloučeniny fosforu nejsou toxické, ale již v malých koncentracích způsobí značnou eutrofizaci [3].

1.2.2. Těžké kovy

Jako těžké kovy se označují kovy s hustotou větší než 5000 kg/m^3 (olovo, rtuť, kadmium, chrom) [4]. Do vody se v přijatelném množství dostávají přirozenou cestou – zvětráváním, jelikož jsou obsaženy v půdě; ale v nadkritickém množství zejména lidskou činností. Bývají produktem chemického, nebo těžebního průmyslu. Do této skupiny spadá i pro člověka vysoce jedovatá rtuť, která již v malém množství napadá nervovou soustavu. Charakteristickým rysem těchto polutantů je jejich schopnost kumulace v živých organismech. Některé těžké kovy jsou schopny při relativně malém množství rychle způsobit rozsáhlé ekologické kalamity, jiné působí skrytě a dlouhodobě. V ČOV působí toxicky na biologickou kulturu v sekundárním stupni čištění (viz 3.3.).

1.2.3. Nerozpuštěné látky

Dají se rozdělit na usaditelné, neusaditelné a vzplývavé [5]. Vzplývavé látky často vytvářejí filmy a vrstvy na hladině a tím, že jsou v kontaktu se vzduchem, narušují rozhraní voda – vzduch, což způsobí pokles rozpuštěného kyslíku ve vodě.

Usaditelné organické látky sedimentují u dna vodního toku a vytvářejí tzv. kalové lavice [2]. Hnijí za nepřístupu kyslíku. Je-li voda rozvířena, nastává skokový nárůst spotřeby

kyslíku a tím i úhyn vyšších živočichů. První úseky čistíren odpadních vod mají za cíl odstranit co největší podíl takovýchto látek (viz 3.2.).

1.3. Ukazatele znečištění

Znečištění může být charakterizováno nejen chemickým složením, ale i jinými indikátory – souhrnně tzv. ukazatele znečištění [2]. Tyto ukazatele mohou být fyzikální povahy (teplota, barva, zákal), chemické (pH, tvrdost), ekologické (podmínky pro život), skupinové, biologické, aj. Nejužívanějšími jsou skupinové (nazývané též technologické) ukazatele. V praxi je totiž ekonomicky neúnosné provádět rozsáhlé často až zbytečně přesné chemické analýzy, ale stačí znát přibližnou koncentraci určité skupiny látek. Takto se postupuje např. při stanovení organického znečištění. Jeho míru určují tzv. ukazatele organického znečištění.

1.3.1. CHSK, BSK

Jedná se o nejvýznamnější skupinové ukazatele organického znečištění. CHSK (chemická spotřeba kyslíku) udává, kolik mg kyslíku je potřebných na to, aby chemicky zoxidovaly látky přítomné v litru OV. Jednotkou je mg/l. Použité oxidační činidlo se značí indexem ($CHSK_{Cr}$, $CHSK_{Mn}$), většinou se jedná o dichroman draselný, nebo manganistan draselný. Označení bez indexu znamená, že činidlem byl dichroman draselný. BSK (biochemická spotřeba kyslíku) vyjadřuje množství kyslíku, které je potřeba k biochemické oxidaci organických látek v OV [6]. Jednotkou je rovněž mg/l. Délka trvání zkoušky ve dnech se udává indexem (např. BSK_5 znamená dobu trvání 5 dnů). BSK se používá k vyjádření množství znečištění, ale i k vyjádření účinnosti odstraňování organických nečistot v daném zařízení, za použití dané technologie (např. účinnost septiku 50% BSK).

Jelikož při CHSK jsou oxidovány všechny oxidovatelné látky a při BSK pouze ty biologicky rozložitelné, platí, že $CHSK > BSK$. Poměrem $BSK/CHSK$ lze stanovit biologickou rozložitelnost organických nečistot [2]. Oba ukazatele bývají nazývány kyslíkovými ekvivalenty. Při stanovení CHSK není respektováno, že rozklad některých látek probíhá pomalu, nebo že byla látka oxidována na meziprodukt, který by bylo možno dále oxidovat. Bývá proto porovnávána s teoretickou spotřebou kyslíku TSK, která udává množství kyslíku potřebné k maximální možné oxidaci látek až na oxid uhličitý a vodu [3].

1.4. Třídění OV

OV lze třídit dle původu na splaškové, průmyslové a zemědělské, srážkové, balastní [3]. Jako městské OV se označují ty, které jsou produktem měst. Nejčastěji je městská OV složena ze splaškových a průmyslových odpadních vod, ale obecně může být kombinací všech. Toto členění umožňuje předpokládat převládající nečistoty a zvolit vhodný způsob čištění bez nutnosti hlubších a častých analýz; předvídat kolísání průtoku v závislosti na počasí, denní době, nebo ročních obdobích; lokalizovat závadu kanalizační sítě, aj.

1.4.1. Splaškové OV

Složení splaškových vod závisí na složení pitné vody distribuované k odběratelům, metabolitech lidského zažívání a odpadních produktech (čisticí prostředky, zbytky jídla) [7]. V pitné vodě bývají přítomny soli člověku prospěšných anorganických minerálních látek (Ca, Mg, Na), podíl organických látek je zanedbatelný.

Podíl organických látek zvyšují zejména produkty trávicího traktu (nerozpustné tuky, rozpustné cukry, bílkoviny). Průměrný obyvatel ČR vyprodukuje denně 80 g organického a 30 g anorganického znečištění. Pro splaškové vody platí, že nejvíce dusíku je vylučováno

v amoniakální formě, protože významným zdrojem anorganických solí je moč, obsahující močovinu, která se rozkládá na amoniak dle rovnice:

$$NH_2 \cdot CO \cdot NH_2 + H_2O \rightarrow CO_2 + 2NH_3$$

Větší množství fosforu ve splaškových vodách je způsobeno jeho přítomností v moči a v organických sloučeninách (např. DNA), ale zejména v pracích prášcích [7].

1.4.2. Průmyslové a zemědělské OV

Tyto OV mohou být produktem továren, závodů, podniků, apod. Zahrnují v sobě i vody znečištěné zaměstnanci a vody srážkové svedené do kanalizace na území takových objektů. Část průmyslových OV jsou tedy vody splaškové a srážkové. Dále jsou to chladící vody a vody technologické, které se zúčastňují výrobních procesů a na znečištění se podílejí největší měrou [7]. Vzhledem k hrozbě vypouštění toxických, hořlavých, výbušných a jinak nebezpečných látek stanoví správce kanalizační sítě maximální přípustné množství takovýchto složek, které musí průmyslové objekty respektovat. Jejich překročení lze sankcionovat. Podniky tak musí investovat do vlastních čistících zařízení a zajistit určitou kvalitu svých OV (složení, pH, aj.).

Nejlépe vyčistitelné vody produkuje potravinářský průmysl, jelikož polutanty jsou z velké části dobře biologicky rozložitelné. Takovéto OV se často čistí společně se splaškovými vodami. Obtížněji odstranitelné jsou ropné látky, které produkuje petrochemický a strojírenský průmysl. Rozpustnost těchto látek značně kolísá. Většinou jsou biologicky nerozložitelné a při vyšších koncentracích mohou vytvářet vzduchu neprostupný film. Z těchto důvodů musí být jejich množství monitorováno a odstraňováno již v závodech.

Stejný důraz je kladen na koncentrace toxických látek. Míra jejich toxicity je posuzována vzhledem k jejich dopadu na biologické procesy a zaměstnance v ČOV [7]. Tyto látky nepůsobí na všechny organismy stejně, ale mají podobný dopad na příbuzné živočichy (bakterie, obratlovci). Mezi nejtoxičtější látky jsou řazeny kyanidy a těžké kovy.

1.4.3. Srážkové OV

Jejich znečištění je ovlivněno množstvím předchozích srážek, intenzitou nebo dobou trvání deště a obecně se výrazně mění s časem. V prvních fázích deště je koncentrace polutantů velmi vysoká, jelikož dochází ke smývání nečistot z povrchů (budov, silnic), tehdy je míra znečištění kvantitativně srovnatelná se splaškovými OV. V pozdějších fázích je jeho podíl menší. Mezi další charakteristiky srážkových vod patří zvýšený obsah písku při dlouhotrvajících deštích a zvětšená koncentrace chloridů v zimních měsících způsobená solením cest [7]. I přes značné počáteční koncentrace mají vesměs zřeďující a ochlazující účinek.

Podle způsobu vedení srážkových OV lze dělit kanalizační sítě na jednotné, oddělené a modifikované. V jednotných sítích jsou vedeny spolu se splaškovými vodami. Tato realizace je nejlevnější, Může však docházet k významnému zřeďování. Při překročení maximálního dovoleného průtoku je voda odváděna odlehčovacími stokami do retenčních nádrží, které jsou tak znečišťovány splašky. Oddělená soustava nesměšuje srážkové a splaškové OV. Pomocné kapacitní nádrže obsahují pouze dešťovou vodu. Modifikovaná soustava je nejobtížněji realizovatelná. V prvních fázích, kdy je srážková voda nejvíce znečištěna umožňuje její odtok spolu se splaškovými OV, později již k mísení nedochází.

1.4.4. Balastní OV

Slovo balast znamená neužitečnou přítěž. Tyto vody jsou v porovnání s předchozími typy málo znečištěné, nebo jsou zcela bez znečištění. Jejich přítomnost je nežádoucí, protože způsobují značné naředění OV, které může zkomplikovat čistící procesy. Do kanalizace se

dostávají kontinuálně, nebo nárazově. Kontinuálně přiváděné balastní vody vstupují do kanalizace průběžně a dlouhodobě. Hlavní příčinou bývají netěsnosti kanalizačních sítí, kterými proniká podzemní voda, nebo netěsnosti vodovodních soustav přes které protéká voda pitná. Nárazový, krátkodobý režim mohou způsobit havárie vodovodů, nebo podzemní vody cíleně vypouštěné do stokových sítí za účelem snižování jejich hladiny [3].

Kanalizační síť musí být konstruována vodotěsně, aby bylo zabráněno nadměrnému pronikání balastních OV dovnitř (infiltrace), ale také odpadních vod vně (exfiltrace). Vodotěsnost je nutno zkoušet ve stanovených časových intervalech. V současnosti se zpřísňují normy a požadavky na stoky a přípojky.

1.5. Ekvivalentní obyvatel

Pro vyjádření množství znečištění se používá jednotka EO – ekvivalentní obyvatel. Průměrná denní spotřeba vody a produkce znečišťujících látek (v gramech) vyprodukovaná jedním člověkem se nazývá populační ekvivalent. Tyto hodnoty jsou normovány. Jejich velikost je uvedena v Tab. 1.

Tabulka 1: Populační ekvivalenty v g/den [2]

Látky		minerální	organické	celkem	BSK_5	CHSK
nerozpustitelné	usaditelné	10	30	40	20	40
	neusaditelné	5	10	15	10	20
rozpustitelné		75	50	125	30	60
celkem		90	90	180	60	120

Pozn.: Hodnoty jsou vypočteny užitím průměrné produkce odpadních vod ve střední Evropě 150 l/den. Proto jsou jednotkami BSK_5 a CHSK v tabulce rovněž gramy a ne standardní mg/l. Spotřeba vody je závislá na geografické poloze. Zatímco v afrických státech činí v průměru pouze 50 litrů na osobu za den, Itálie, Anglie a Rusko spotřebují 200 l/den, v USA a Kanadě až 280 l/den. Hodnota 150 l/den byla normována a přijata Evropskou unií pro region střední Evropa. Průměrná produkce OV v ČR je 110, v Praze pak 180 l/den [8].

Množství znečištění OV se stanoví jako podíl skutečných denních hmotností polutantů k jednotlivým populačním ekvivalentům. Dosahuje-li množství nečistot tabulkových hodnot, jedná se o znečištění 1 EO – jeden ekvivalentní obyvatel. Z výše uvedeného vyplývá, že počet ekvivalentních obyvatel je jiný pro jednotlivé druhy znečišťujících látek. Pro dimenzování čistících zařízení a vyjadřování jejich velikostí je nejčastěji používán EO počítaný z ukazatele BSK_5 [2].

1.6. Nerovnoměrnost průtoku

Do čistících zařízení nepřitéká v každém okamžiku konstantní množství odpadních vod (Obr. 2). Je to způsobeno počasím (období dešťů, přívalové deště), ale zejména denním cyklem člověka. Proto produkce OV v nočních hodinách výrazně klesá a je pouhým zlomkem průtokových hodnot v odpoledních špičkách.

Pro kvantifikaci tohoto jevu se používají tzv. součinitelé nerovnoměrnosti. Z množství vody proteklého za rok se stanoví průměrný denní průtok Q_d. Pro maximální a minimální denní průtok platí:

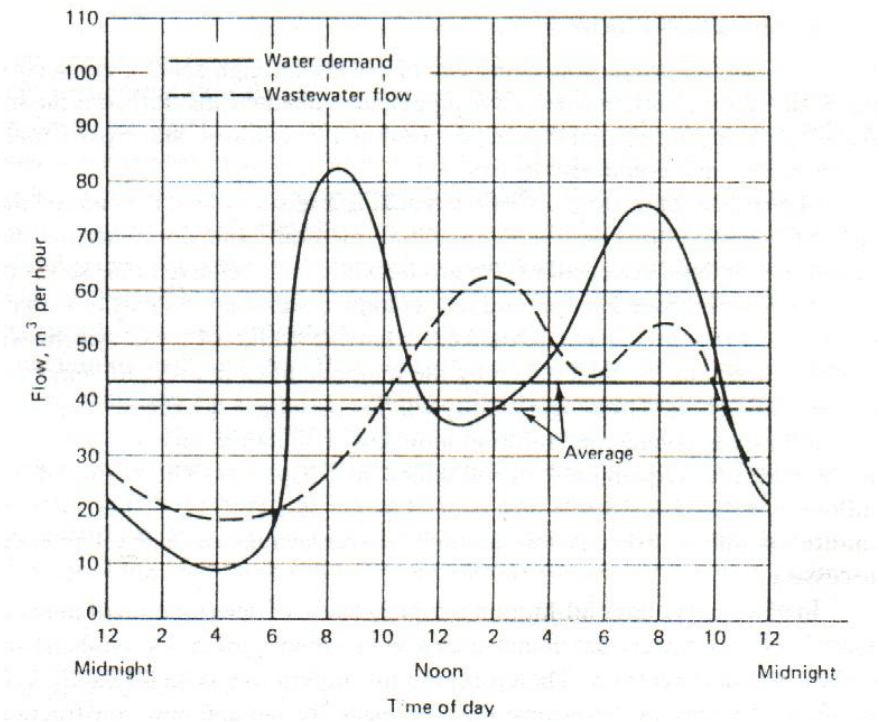
$$Q_{max} = \frac{Q_d}{24} \cdot k_{max} \tag{1}$$

$$Q_{min} = \frac{Q_d}{24} \cdot k_{min} \tag{2}$$

Jednotky průtoků jsou m^3/hod. Číslo k_{max} se nazývá součinitel hodinové nerovnoměrnosti, k_{min} je součinitel hodinového minimálního průtoku [4].

Znalost okamžitého průtoku je důležitá, jelikož při odběrech vody pro analýzu celkového znečištění je nutno odebírat vzorky v průběhu celého dne, nikoliv jednorázově. Množství odebírané vody musí být přímo úměrné průtoku. Dílčí odběry se smísí a vytvoří se tzv. slévaný vzorek, který se považuje za skutečný ukazatel celkového znečištění. Měřidla v ČOV odebírají stále stejný objem vody, proto je nutno spočítat a použít z něj pouze část [2].

Obr. 2: Příklad závislosti průtoku OV (čárkovaně) a spotřeby vody (plně) [m^3/hod] na denní době [46]



2. Čištění odpadních vod

Čištění OV v čistírnách odpadních vod je relativně nový přístup. V dobách minulých plnila funkci ČOV sama příroda. Kvůli vzrůstajícímu počtu lidí a průmyslu, který produkuje specifické a často obtížně rozložitelné znečištění, je samočisticí kapacita přírody vyčerpána. První systematická řešení svodu odpadních vod se ve světě objevují kolem roku 1820. V ČR se první kanalizace a ČOV staví mezi lety 1890 – 1905 a je spojena se jménem britského inženýra Williama Lindleyho. Jeho cihlové stoky sváděly OV do čistírny vhodně umístěné na severním okraji Prahy tak, aby nezamořovala město a aby mohla využít gravitačního stokování. Lindleyho čistírna byla modernizována roku 1927 i přes to však bylo jasné, že rychle se rozrůstající Praha bude potřebovat čistírnu novou. Soutěž vypsanou roku 1933 vyhrál návrh inženýra Vladimíra Maděry, který pracoval na dodnes používaném principu mechanicko-biologického čištění. Za lokalitu byl vybrán Císařský ostrov. Dodnes pro Prahu páteřní ČOV byla prvně uvedena do provozu roku 1967 [9].

V současnosti má každé město svojí vlastní ČOV. Český statistický úřad (ČSÚ) jich k roku 2008 evidoval na území ČR 2091 s celkovou kapacitou přes 3,8 milionů m^3/den OV. Dochází ke stálému (i když zpomalovanému) zvyšování počtu obyvatel připojených do kanalizační sítě. V roce 2013 to bylo 82,8% občanů, z toho 95% přípojek bylo zakončeno ČOV. Délka kanalizační sítě v ČR přesahuje 43000 kilometrů, v mezinárodním srovnání dosahuje ČR dle ministerstva životního prostředí lepší úrovně, než státy severní, západní a jižní Evropy [10].

2.1. Samočištění

Jedná se o přírodní čištění v uměle vybudovaných, nebo přirozených vodních plochách. I sebedokonalejší ČOV pracují s omezeními a s méně než stoprocentní účinností. Snaha o její zvyšování je limitována ekonomickými a technologickými možnostmi. Nebýt samočistících procesů v přírodě, docházelo by ke kumulaci polutantů a k ekologickým kalamitám. Zvláštním případem samočištění je tzv. dočišťování, což je využití přírodních toků ihned na výpusti z čistícího zařízení. Nejdůležitějším procesem samočištění je ředění, které umožní rozklad ve vyšších koncentracích nerozložitelných látek.

Rozklad organických látek provádějí tzv. destruenti. Patří sem např. viry, bakterie, houby. Jedná se o mikroorganismy, které většinou potřebují pro svou činnost kyslík, ale mohou být i anaerobní. Pokud je množství ve vodě rozpuštěného kyslíku spotřebované destruenty vyšší, než množství do vody prostupující přes rozhraní voda – vzduch, vzniká tzv. kyslíkový deficit. Překročí-li deficit únosnou mez, nastává kyslíkový kolaps. Ve vodě hynou živočichové kvůli nedostatku rozpuštěného kyslíku [2].

Organismy spotřebovávající minerální látky pro syntézu organické hmoty se nazývají producenti (sinice, řasy, mechy). Podmínkou pro syntézu je dostatek světla. Zlomek producentů – tzv. chemolitotrofové, využívá k zisku energie anorganické reakce. Mimo to, že se producenti účastní odbourávání nutrientů, obohacují vodu kyslíkem. Dojde-li však k prudkému poklesu zdroje živin, hynou a jejich těla jsou rozkládána destruenty. V důsledku toho může vznikat kyslíkový deficit, příp. kolaps.

Konzumenti (plankton, ryby) se přímo nepodílejí na rozkladu polutantů. Živí se hmotou tvořenou destruenty, nebo producenty a regulují tak jejich činnost [3].

Jelikož míra samočištění se nedá s uspokojivou přesností kvantifikovat, je tento princip nevyužitelný v právních nařízeních. Čištění musí probíhat bez spoléhání se na mechanismy v přírodě, které již tak byly lidskou činností významně poznamenány. Zejména narovnávání vodních toků a budování hlubokých a užších koryt vedlo k razantnímu poklesu účinnosti samočistících procesů, jelikož ta je závislá na době zdržení protékající vody a členitosti koryta [2].

2.2. Malokapacitní způsoby nakládání s OV

Využívají se v objektech, které nejsou připojeny do kanalizačních sítí, jedná se o soustavu jímek, filtrů, trativodů, podmoků, vodotečí, nebo nádrží. Používají se tři typy jímek: septik, žumpa a domovní (malá) ČOV. Výstavba septiku s dočištěním a ČOV musí být povolena stavebním úřadem a odborem životního prostředí (jako tzv. vodní dílo), který také stanoví a povolí možná nakládání s vyčištěnými OV. Stav vody na výstupu musí být kontrolován stejně jako jímka samotná. Žumpu lze do určitých výměr stavět bez povolení, jinak s povolením stavebního úřadu [11].

2.2.1. Septik

Obr. 3: Tříkomorový septik [47]

Slouží k mechanickému předčištění OV a jako sedimentační nádrž oddělující hrubé nečistoty před vstupem do filtru. Jedná se o vícekomorovou válcovou konstrukci zasypanou v zemi s přístupným revizním otvorem. Septiky bývají z plastu s dobrou svařitelností (polypropylen), sklolaminátu, nebo betonu. Klasické provedení je dvoukomorové. Komory jsou odděleny svislými vodotěsnými příčkami, které zároveň zachytávají nečistoty. V první komoře vyplavou na povrch lehké látky, naopak těžší sedimentují na dně ve formě kalu a jsou zde rozkládány anaerobními mikroorganismy. Blízko dna je otvor, přes který teče voda z jedné komory do druhé. Vysoko v poslední komoře je umístěno odtokové potrubí. Odtékající voda je zbavena lehkých látek ve vznosu a těžkých sedimentů. Nerozložitelné sedimenty se usazují na dně a vytvářejí hrubý kal. Účinnost septiku cca 30% BSK se tak s postupem času snižuje. Proto je kal nutno pravidelně odstraňovat. Standardně se přečerpání kalu provádí v intervalu 1-2 roky fekálním vozem, nebo použitím kalového čerpadla v ceně 2-5 tisíc korun, které si lze i zapůjčit [12].

V současnosti se od druhé do poslední komory umísťují speciální vestavby. Jedná se o tvarované norné stěny vhodné pro kultivaci mikroorganických kolonií, které zvyšují účinnost čištění v septiku až na 50% BSK. Obecně je účinnost nejvíce závislá na době zdržení OV. Septik je vysoce náchylný na nerozpustné tuky a oleje (zejména z kuchyní), barvy, laky a silné desinfekce. Dále je důležitá pravidelná produkce OV, aby nedocházelo k úhynům mikrokultur. Při odsávání kalu je nutno čerpat souměrně a dostatečně pomalu, aby nedošlo k vylámání norných stěn.

Pro předběžný návrh velikosti septiku lze užít vztah:

$$V = S \cdot O \cdot t_D \cdot k \tag{3}$$

kde V je objem zařízení, O počet připojených osob, t_D počet dnů zdržení $(3 \div 5)$, k je koeficient zahrnující do objemu vznik kalu $(1{,}25 \div 1{,}5)$ [13].

Mezi hlavní výhody patří až na vývoz kalu takřka bezúdržbový provoz a nezávislost na elektrické energii. Nevýhodou je nutnost instalovat filtr jako sekundární čistící zařízení. Použití septiku k předčištění a napojení odtoku ke kanalizaci je zakázáno. Pochody v septiku mohou citelně ovlivnit procesy v ČOV na konci kanalizace – např. snížením obsahu kyslíku v kanalizaci a na ČOV, nebo přítomností cizích metabolitů. V případě starých objektů je nutno septik vyjmout, nebo za jeho výstup instalovat malou ČOV, případně se napojit

obtokem a septik využívat jako zásobárnu dešťové vody k zalévání. Cena septiků se pohybuje v řádu 20-50 tisíc korun [14], ale k investici je nutno přičíst cenu zemního filtru. Počáteční investice je tak značná a je třeba pečlivě promyslet, jestli poskytne dostatečnou zpětnou návratnost.

2.2.2. Žumpa

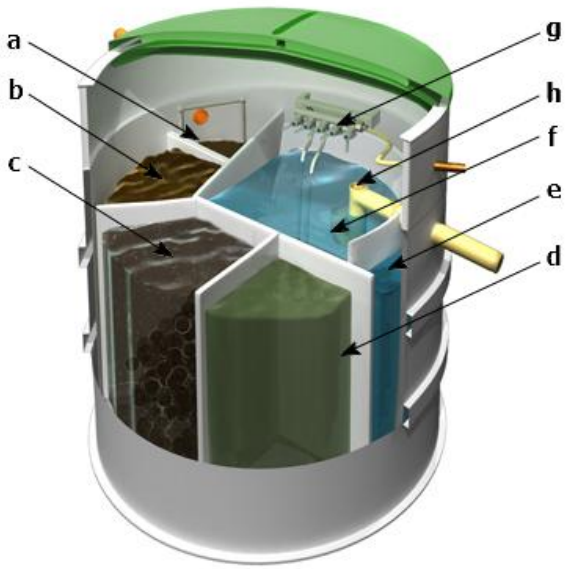
Bezodtoková, vodotěsná jímka, která akumuluje příchozí OV. Často je jediným možným řešením nakládání s OV při zamítavém stanovisku místní samosprávy. Vyrábí se ze stejných materiálů, jako septik. Instalace je možná pouze v místech, kde je zajištěna přístupná cesta pro fekální vůz, který obsah odveze na blízkou ČOV. Četnost přečerpávání závisí na velikosti žumpy a množství produkce OV. Cena vývozu je 1-2 tis. Kč [15]. Bohužel kvůli nutnosti vyvážet se lidé uchylují k vlastním levnějším řešením. Často tak vznikají ilegální trativody, které znečišťují podzemní vody. Argumenty, že se OV průchodem přes vrstvu země přefiltruje lépe než užitím ČOV, jsou liché. Filtrační kapacita podloží je sice značná, avšak není neomezená. OV navíc prochází vrstvami, které nefiltrují vůbec. Lidé tak znehodnocují zásobárny sladké vody, nebo vypouštějí svou OV na cizí pozemek.

Výhodou je jednoduchost konstrukce, nemusí se řešit nakládání s vyčištěnou vodou a lze budovat bez vodohospodářských povolení. Žumpy musí být vzdáleny minimálně 5m od studny. Mají životnost řádově desítky let. Musejí splňovat normy na vodotěsnost a odpovídat geologickému podloží s důrazem na množství spodní vody. Cena leží v rozmezí 30-60 tis. Kč [16].

2.2.3. Domovní ČOV

Jako vodní dílo musí být stavba i odtok budovány se souhlasem úřadů. Princip činnosti je v zásadě stejný jako v městských ČOV (viz kap. 3.). Do ČOV lze přivádět pouze splaškové OV. Srážkové vody způsobí nežádoucí naředění a zejména ochlazení, což může být pro malá zařízení fatální, ale existují i čistírny zpracovávající určité množství srážkových vod. Přítok balastních vod je eliminován zkouškami vodotěsnosti. Základním principem čištění je aerobní čištění aktivovaného kalu ve vznosu (viz 5.3.). Zdrojem vzduchu jsou dmychadla. Dmychadla bývají nejčastěji membránová s nehlučným provozem, jejich provoz je adaptivně řízen elektronickými časovači. Moderní řídicí systémy umožňují uživateli, aby navolil program čištění dle aktuální potřeby (návštěva, dovolená) [17], případně online monitoring a kontrolu okamžitého stavu výrobcem. ČOV lze instalovat do již vybudovaných septiků, nebo žump, které se využijí jako vodotěsná zástavba [11].

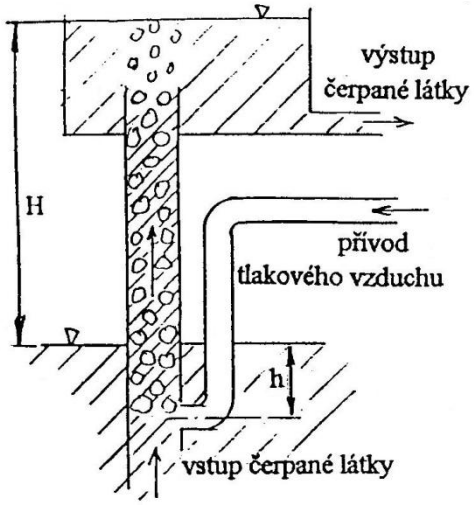
Obr. 4: Domovní ČOV [48]



Na Obr. 4 je čistička standardního typu vyrobená z polypropylenu. Splašková voda přitéká do koše (a) umístěného v první komoře (b), který zachytí cizí tělesa. Koš je probubláván hrubými bublinami, jeho obsah je tak míchán a rozmělňován. Komory jsou odděleny kaskádovitými přepady a nornými stěnami. První tři komory (b, c, d) nejsou provzdušňovány. Dochází zde k sedimentaci hrubého kalu a k jeho anaerobnímu rozkladu. Třetí komora (d) má u dna mamutku, která přečerpává kapalinu u dna zpět do první komory (b). Z třetí se pak voda přepadem dostává do čtvrté obvodové podlouhlé komory (e) provzdušňované jemnými bublinkami. V této komoře probíhá biologické

čištění. Odsud přes otvor ve spodní části do trychtýřovitého usazováku (f), kde probíhá závěrečná sedimentace vločkovitého kalu. Část kalu je mamutkou odvedena zpět do třetí komory (d). Takto je vytvořen vratný cyklus aktivovaného kalu (viz 5.3.). Všechny aerační elementy jsou poháněny membránovým kompresorem umístěným buď přímo v zařízení na vyvýšeném místě, nebo odděleně. Dmychadlo je poháněno elektřinou. V případě výpadku proudu bývá vybaveno záložní baterií. Výstup z kompresoru je připojen na centrální adaptivně řízený rozvod vzduchu (g). Odtok (h) vyčištěné vody z ČOV je v horní části usazováku [18].

Obr. 5: Mamutkové čerpadlo [19]



Mamutkové čerpadlo (Obr. 5) pracuje na hydraulicko-pneumatickém principu. Rozvaděč vzduchu vhání tlakový vzduch (0,2 ÷ 2 MPa) do válce. Směs kapaliny a vzduchu má nižší hustotu, než samotná kapalina, a je tlačena působením hydrostatického tlaku. Čerpaný objem a výkon je malý, předností je však absence jakýchkoliv mechanických částí. Díky tomu je prakticky nemožné vyřadit jej z činnosti a je bezúdržbové. Pro svůj chod potřebuje pouze kompresor, který je už beztak nedílnou součástí čističky. Jeho využití mimo domovních ČOV je v nepřetržitých provozech, vyžadují spolehlivý provoz a pro čerpání suspenzí. [19].

Stejně jako v případě septiku je nutno zajistit odčerpávání nerozložitelného kalu fekálním vozem, nebo kalovými čerpadly. Majitel má povinnost podrobit jednou za dva roky ČOV revizi a má lhůtu 60 dnů pro odstranění případných závad [20]. Nejčastější příčinou poruchy činnosti ČOV bývá způsobeno jejím neodkalováním, nebo prasknutím dmychadlové membrány. Výrobci doporučují její výměnu v intervalu dvou let. Cena je asi 700 Kč [21].

Správná funkce ČOV závisí na jejím pravidelném zásobování splaškovou OV. Není-li dlouhodobě využívána, klesne počet mikroorganismů v aktivovaném kalu. Stane-li se tak, je nutno čistírnu nepřetěžovat, než dojde k jeho opětovnému namnožení, což bývá v řádu několika týdnů [21]. Množství kalu se zjišťuje odběrem vzorku vody z prostor udávaných výrobcem a sedimentační zkouškou. Obvykle se pohybuje kolem 30-70% objemu odebraného vzorku. Je-li objem kalu ve vzorku vyšší, je nutno kal odčerpat.

Standardní účinnost domovních ČOV je 97-99% BSK. Výhodou je snadná údržba, ušetření za vývoz. Vyčištěnou vodu lze jímat a využívat k zalévání. Čistírna je jediným a konečným stupněm čištění, proto není třeba budovat zemní filtry, jako v případě septiků. Napojení na kanalizační síť, vodní toky, nebo podzemní vody se povoluje, jsou-li splněny všechny kvalitativní a revizní náležitosti. ČOV lze budovat na nepřístupných místech a malých prostorech. Předepsaná vzdálenost od studní je 15m. Je-li připojena k zásobníku vody na zalévání, není třeba jakýchkoliv povolení, jelikož se předpokládá využití vody rostlinami bez zásahu do podzemních vrstev. Splašková voda je tak efektivně využívána.

Nevýhodou je nutnost kontrol stavu OV na výstupu a odběrů na stanovení množství kalu, složité úřední povinnosti (zejména v počátcích), nutnost seznámení se se základními principy činnosti a údržby. Pro optimální funkční režim je nutný kontinuální přítok OV. V neposlední řadě jsou negativem vyšší pořizovací náklady, zejména, je-li čistička určena pro objekty s větší produkcí OV. Ceny se pohybují v rozmezí 30-200 tis. Kč [22].

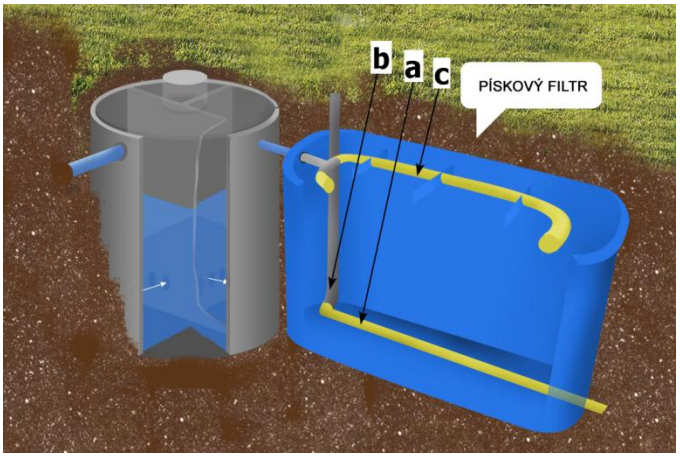
Domovní čističky nenachází uplatnění v městech a obcích, jelikož při produkci znečištění větší 2000 EO mají být podle směrnic Evropské unie města a obce vybaveny

centralizovaným odvodem odpadních vod. V praxi to znamená, že je jak pro občana, tak pro úřady jednodušší využívat společný kanalizační systém, zakončený velkými městskými ČOV, než individuálně vymýšlet a řešit zacházení s OV.

2.2.4. Zemní filtry

Používání septiku jako předčišťovače je možné, pouze pokud za ním následuje sekundární stupeň čištění – zemní filtr. Filtrace probíhá přes vrstvu zrnitého materiálu. Nejčastěji se užívá směs písku a štěrku. Na členitém povrchu dochází k adsorpci mikroorganismů. Protékající voda protéká mezerami mezi osídlenými zrny a je biologicky čištěna. Rozlišuje se horizontální a vertikální (Obr. 6) uspořádání. Zpravidla platí, že vertikální filtr zabírá menší plochu, ale je náchylnější k ucpání (kolmataci).

Obr. 6: Septik a zemní filtr [47]



Běžný filtr se skládá z izolační PE folie, která zabraňuje průsaku vody do okolí. Aby se zabránilo jejímu protržení, je vhodné výkop vyplnit geotextílií. PE folie je ukotvena do země kolíky. U dna filtru se položí sběrné a odtokové potrubí (a) spolu se svislou větrací trubicí (b). Vytvoří se štěrkové lože a zakryje se geotextílií. Následně se výkop zasype pískem. Vrstva písku se překryje geotextílií, na kterou se položí přítokové potrubí (c), které se opět zasype štěrkem a zakryje geotextílií. Závěrem se celé těleso zasype zeminou [23].

Nad těleso filtru se často zasazují vodní a mokřadní rostliny. Je-li filtr horizontální a filtrační směs je přizpůsobena rostlinám, užívá se pro filtr název kořenová čistírna. Ještě v nedávné minulosti se vliv rostlin na čistící proces významně přeceňoval. Argumentovalo se snižováním množství fosforu a dusíku, nebo provzdušňováním filtrů díky kořenům [2]. Reálný vliv rostlin na účinnost čištění je asi 5%, kořenové čistírny se budují spíše s estetických důvodů [24].

Pro předběžný návrh potřebné plochy zemního filtru lze vyjít ze vztahu:

$$F = \frac{k \cdot n \cdot q}{h} = \frac{Q_{24} \cdot k}{h} \tag{4}$$

F je plocha filtru [m^2], koeficient bezpečnosti k kompenzuje vliv úhlu stěn výkopu (svislé stěny $k = 1$), n je počet připojených osob, q produkce OV jedním obyvatelem [$\mathrm{m}^3/\mathrm{den}$], h denní nápustná výška [m/den] - závisí zejména na filtračním médiu a Q_{24} je celková produkce OV za den [2].

Standardní účinnost filtrů je 85-95% BSK, přičemž ty nejlepší dosahují až 96-98% BSK, což je kvalita vody srovnatelná s ČOV a lze ji vypouštět do vodních toků, nebo v odůvodněných případech do podzemních vod. Výhodou soustavy septik – filtr je, že oproti domovním ČOV mnohem lépe snáší nárazovité a nepravidelné zatěžování a jsou tak vhodné pro sezónní nebo rekreační objekty. Filtry mají kontrolovaný odtok, to umožňuje řízení doby zdržení a regulaci výšky hladiny v tělesu filtru.

Nejvýznamnější slabinou všech filtrů je náchylnost k ucpávání. Proto je nesmírně důležité předřadit filtru kvalitní septik. Pokud filtr kolmatuje, lze zareagovat uzavřením odtokového potrubí a zatopením filtru čistou vodou. Nevede-li postup k zlepšení je nutno

vyměnit filtrační směs. Standardní životnost směsi je 10-20 let. Cena zemního filtru se pohybuje v rozmezí 20-30 tis. Kč.

3. Technologická linka čistírny odpadních vod

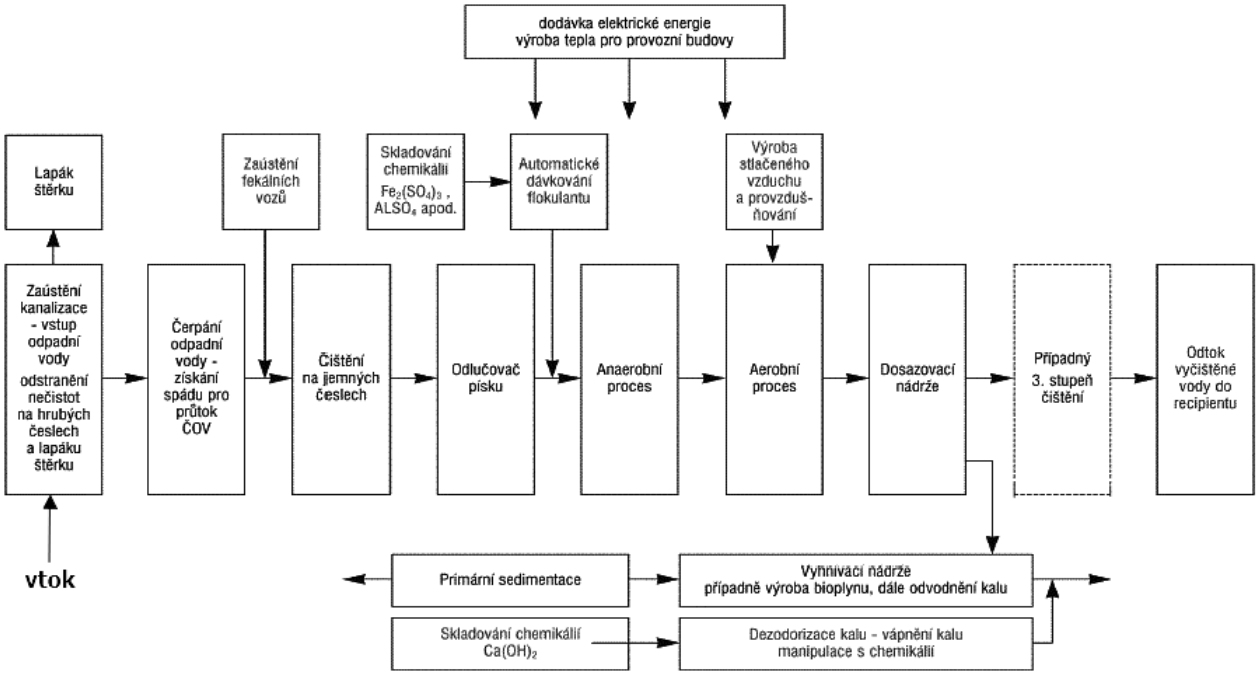
Všechny výše zmíněné způsoby nakládání s OV jsou vhodné pro méně početné skupiny osob, nebo jako řešení, není-li možno využít kanalizační síť z důvodu její neexistence, nedostupnosti, obtížného či nechtěného napojení, aj. Ve městech a obcích se z důvodu vyšší hustoty osídlení řeší čištění OV hromadně a centralizovaně. Vstupem do EU přijala ČR směrnici 91/271EHS (Evropského hospodářského společenství), podle které má mít každá aglomerace s produkcí OV nad 2000 EO sběrný systém OV, s biologickým stupněm čištění. Jsou-li hodnoty EO vyšší 10000, musí vyčištěná voda splnit přísnější kritéria čistoty a zdravotní nezávadnosti [25].

Z ekonomických, ekologických, realizačních, kontrolních aj. důvodů mají městské objekty zajištěno napojení na kanalizaci jako součást tzv. inženýrských sítí. OV se tak odvádí městskými stokami do ústředních ČOV, kde je vhodně zvolenými univerzálně navrženými procesy a postupy čištěna. Provoz ČOV musí být plynulý, bezporuchový a nepřetržitý. Pro jednotlivé čistící procesy se používá název jednotková operace, jejich řazením vzniká technologická linka [4]. Pro návrh operací jsou určující kritéria účinnosti, ekonomičnosti, energetické náročnosti, nebo zamezení zamoření čištěné vody jinými polutanty (např. nerozložitelnými enzymy). Podle velikosti lze ČOV dělit na velké (do 5000 EO), střední (5-20 tis. EO) a velké (nad 20000 EO). Velikost má vliv na skladbu čistících procesů [2].

Na Obr. 7 je znázorněn příklad skladby jednotlivých operací větší mechanicko-biologické ČOV v blokovém schématu. Celou linku takové čistírny lze rozdělit na tři úseky:

1. Oblast primárního mechanického čištění (tzv. předčištění)
2. Oblast sekundárního biologického čištění
3. Oblast terciárního čištění (tzv. dočištění)

Obr. 7: Příklad technologické linky [49]



V tomto dělení není zmíněna samostatná větev stojící vedle zmíněných úseků – kalové hospodářství (viz kap. 4.), které sice není přímou součástí čištění, ale umožňuje efektivní využití odpadních látek k tvorbě energie, nebo k jejich prodeji jako hnojivo a tak zlevnit provoz, příp. zajistit energetickou soběstačnost ČOV.

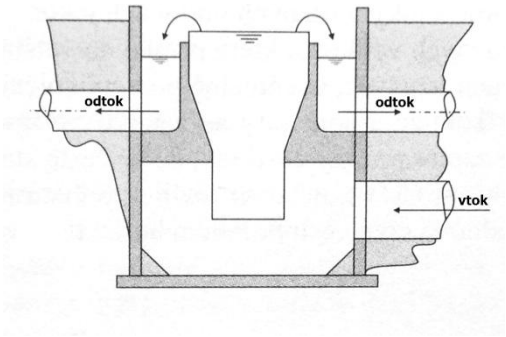
Volba a řazení jednotkových operací nemusí být pro všechny ČOV stejná. Nejdůležitějším faktorem při návrhu a dimenzování je zmíněná velikost, ale je nutno respektovat složení OV, nároky na zastavěnou plochu, ekonomičnost, kvalitu na výstupu, spolehlivost, užité technologie, legislativu a mnoho dalších. Následující popis linky v tomto textu tak není univerzální. Popisuje středně velkou čistírnu městských OV. Na alternativní postupy a rozdíly v přístupu je upozorňováno v textu dále.

3.1. Nátok

Na samotném nátoku do ČOV, ale i uvnitř čistírny může protékat OV rozdělovacími členy. Jejich funkce je rovnoměrně rozčlenit přítok do paralelních cest. Cesty mohou vést k několika stejným zařízením, kdy je důvodem pro rozdělení nátoku kapacita těchto zařízení, nebo vedou k odlišným zařízením, kdy na každou cestu připadají jiné jednotkové operace.

- Kašnový přeliv (Obr. 8) je konstrukce o dvou soustředných válcích. První vyšší a užší válec je přívodní potrubí, po jehož naplnění buď přepadá voda přes jeho okraj, nebo otvory ve stejné výšce do druhého válce, rozděleného přepážkami na stejné komory, v kterých jsou umístěna odtoková potrubí.
- Přítokový žlab stěnami rozděluje přívodní koryto do několika částí. Používá se ve vertikálním, ale i horizontálním provedení.
- Rozdělovací klín tvaru V pracuje na stejném způsobu jako přítokový žlab. Vrchol je umístěn proti směru toku.
- Vtoková okna umožňují rozčlenění v jednom přítoku bezprostředně před zařízeními [3].

Obr. 8: Kašnový přeliv [3]



Pohyb vody technologickou linkou je u velkých čistíren výhradně gravitační (u menších lze použít objemová čerpadla). Nátok do ČOV je zakončen velkým Archimédovým šroubem s maximálním čerpaným objemem v jednotkách m^3/sec. Maximální sklon je asi 40° a běžná dopravní výška 2-3 metry [26]. Výhodou těchto čerpadel je robustnost, spolehlivý chod a bezproblémová doprava silně viskózních a znečištěných kapalin (kaly), nebo jiných tekutin (obilí, sypké materiály). Skládá se ze šroubovité hřídele uložené ve dvou ložiscích (nebo jednom a letmým uložením spodní části) v poloválcovitém žlabu. Žlab je v případě menších šroubů plechový, jinak z betonu. Žlab může být pokryt korozivzdornými nebo otěruvzdornými dlaždicemi [26]. Chod lze přizpůsobit množství na přítoku. Šrouby lze řadit do série a tak čerpat do větších výšek, nutno ale počítat s velkou zastavěnou plochou. Další nevýhody jsou vyšší počáteční investice a nižší účinnost v porovnání s jinými typy čerpadel, obtížná regulace a vznik aerosolu, který lze odstínit krytováním [3].

3.2. Primární mechanické čištění

Odstraňuje nejhrubší nerozpuštěné nečistoty a tím chrání citlivější zařízení v útrobách ČOV před mechanickým poškozením, ucpáním, apod. Využívá jednoduchých fyzikálních principů – nejčastěji cezení, sedimentace a vznosu. V dobách minulých bylo často jediným stupněm ČOV, likvidace rozpuštěných a neusaditelných látek byla ponechána na samočistících přírodních procesech (viz 2.1.).

3.2.1. Lapák štěrku

Je umístěn ještě před šroubovým čerpadlem, bezprostředně za ústím kanalizace. Slouží k zachycení nejtěžších nečistot (cihly, kameny, štěrk). Nejčastější příčinnou jejich přítomnosti bývají prudké nárazové deště, které s sebou strhávají materiál ze stavenišť, komunikací, nebo

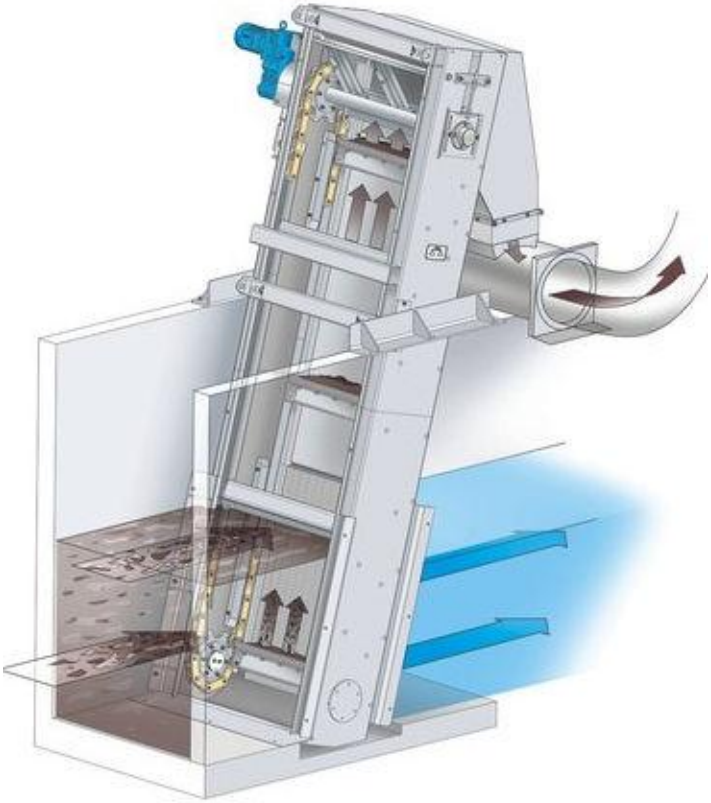
části zeminy. Lapák je koryto s ostrohranným příkopem, ve kterém se taková tělesa usadí a zachytí. V menších čistírnách se nestaví, nápor největších těles tak nesou až česle. Po čase se usazeniny vytěží. Nejčastěji se užívá drapák – dvoučelisťový elektricky poháněný stroj na nosníku, položeném na dvou pevných podporách kolmo přes koryto, nebo na otočném sloupu. Ve vhodných případech lze použít i rýpadlo, nebo bagr [27].

3.2.2. Česle

Jedná se o mřížoví s česlicemi, což jsou pruty, které cedí OV. Míra cezení je dána roztečí mezi česlicemi – tzv. průlinami. Podle šířky průlin lze provést základní dělení na:

- Hrubé česle mají šířku průlin 40-100 mm.
- Střední 20-40 mm.
- Jemné 3-20 mm.

Obr. 9: Strojně stírané česle [50]



Česle se často řadí za sebe od hrubých po jemné. Bývají skloněny o 30°až 60° vůči rovině kolmé na rychlost toku a proti rychlosti toku. Je nutno zajistit aby rychlost tekoucí vody nepřesáhla 1 m/s, z důvodu strhávání zachycených těles, a současně neklesla pod 0,3 m/s, kdy se usazuje písek. Snížené dno za česly potlačuje vzdouvání hladiny na přítoku [2].

Rychlost v průlinách je mírně vyšší, než v přívodním kanálu podle vztahu:

$$v' = \frac{b+d}{b} \cdot v \qquad (5)$$

v' je průlinová rychlost, v rychlost v kanálu, b šířka česlic, d šířka průlin [28].

V případě větších čistíren se česle umísťují do zvláštních budov, tzv. česloven. Vzhledem ke zhoršenému průtoku, strhávání a vzdouvání hladiny, je nutno pravidelně stírat zachycené předměty. Hrubé česle se stírají asi dvakrát denně a jemné častěji [2]. Naplaveniny odstraněné z prostoru česlí se nazývají shrabky. Stírání může probíhat strojně, nebo manuálně; kontinuálně, nebo nárazovitě. Je- li automatizováno, sledují senzory řídicího systému rozdíl hladin Δh mezi přítokem a odtokem. Pro Δh neznečištěných česlí platí vztah:

$$\Delta h = \beta \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot \sin\alpha \qquad (6)$$

Kde β je tvarový součinitel, t šířka průlin, b šířka česlí, v rychlost před česlemi, g tíhové zrychlení a α sklon česlí [28].

Jsou-li česle zaneseny, dochází k výraznému zvýšení rozdílu hladin a ke snížení účinnosti cezení. Podle způsobů čištění lze rozlišit tyto typy česlí:

- Manuálně stírané česle mívají většinou hrubé průliny a bývají často před strojně shrabovanými jemnými česlemi. Ruční stírání se provádí pomocí hrabla (shrabováku)

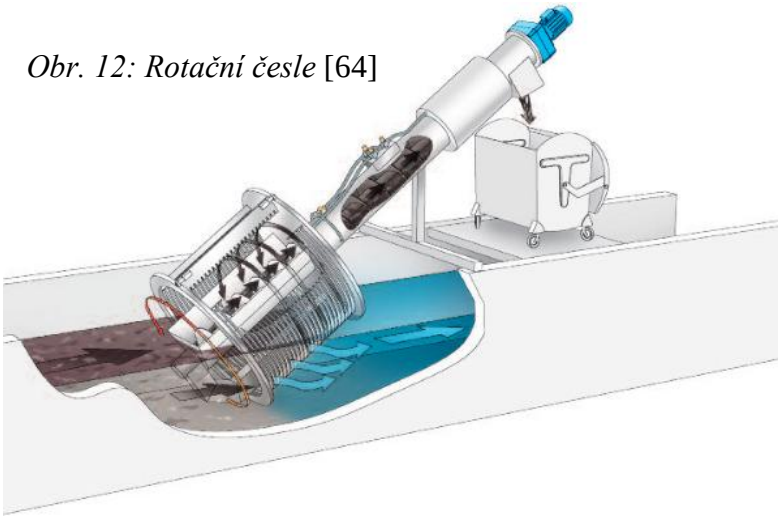
přizpůsobeného šířce průlin. Sklon česlí je menší (30°-45°). Nánosy jsou nahrnuty do děrovaného žlabu a po odkapání vody lopatou nakládány na dopravník, nebo jinam.

Obr. 10: Česličky [51]

Obr. 11: Krokové česle [52]

- Vozíkové česle mají na svém boku vodící prvek (např. hřeben) po kterém se pohybuje vozík, který posouvá s hrablem. Princip je stejný jako u ručního stírání.
- Řetězové česle (Obr. 9) mají v horní části elektromotor, který otáčí vřetenem s řetězovými koly, které uvádí do pohybu řetěz se shrnovacími lištami (obdoba hrabla), které jsou do správného prostoru česlí postrkávány naváděcími členy. V horní části přepadávají shrabky do zásobníku, nebo na dopravník [29].
- Pásové česle se na rozdíl od předchozích typů nestírají hrablem. Jsou tvořeny česličkami (Obr. 10) – rozčleněnými česlicemi důmyslné samočisticí konstrukce, které jsou uspořádány do nekonečného pásu, poháněného elektromotorem.
- Krokové česle pracují na principu eskalátoru. Díky výraznému sklonu zahnutých česlic se mezi jednotlivými stupni vytváří transportní prostor (Obr. 11).
- U rotačních česlí (Obr. 12) tvoří česlice plášť válce. Válec je ponořen do vody pod úhlem asi 35° jeho podstavou bez česlic natéká voda. Nečistoty jsou zachytávány na jeho vnitřní stěně. Po zvýšení hladiny na vstupu se válec poháněný elektromotorem otočí o 180°, shrabky jsou speciálním hrablem na vnější stěně posílány na šnekový dopravník a česlice čištěny soustavou jemných snadno vyměnitelných kartáčů.

Obr. 12: Rotační česle [64]



Česle produkují shrabky v ročním množství asi 2-3 litry na 1 EO u hrubých a 5-10 litrů na 1 EO v případě jemných. Shrabky obsahují 70-80% vody. V průměru jsou tvořeny z 50% hadry, 20-30% papíru, 5-10% plasty, 2-3% zbytky ovoce a zeleniny, 2-3% fekáliemi, 2% gumy, mrtvými těly hlodavců, cigaretovými filtry, listím a trávou, aj [4]. Jedná se tudíž o odpad rozmanitého složení s vyšším obsahem patogenů, který se nehodí ke kompostování, jelikož může obsahovat nehnijící složky. Shrabky jsou manuálně či strojně systémem šnekových nebo pásových dopravníků transportovány do kontejnerů, případně lisů, má-li je ČOV ve výbavě. Někdy se před lisováním drtí nebo řežou. Nejčastěji se využívá šnekových, hydraulických, nebo gravitačních lisů. Kromě zmenšení objemu zredukují lisy podíl vody až na 50%. Shrabky se likvidují skládkováním (po neutralizaci patogenů vápnovým posypem), nebo spalováním [2]. Zachází se s nimi jako s nebezpečným odpadem. Z výše uvedeného vyplývá smysl situování česlí do česloven. Mimo izolaci zápachu a patogenů platí pro tyto budovy přísná hygienická nařízení a vstup pouze povolanému a proškolenému personálu.

Zejména u menších ČOV lze namísto česlí použít alternativní řešení. Mělnící čerpadlo nepracuje na principu cezení, ale homogenizuje OV za použití drtičů nebo nožů. Výhodou je,

že neprodukuje obtížně likvidovatelné shrabky, nicméně posílá do dalších čistících operací nečistoty, které by česle poměrně snadno vyloučily.

Další náhradou může být bubnové síto (Obr. 13). Je gravitačně protékáno vodou, přičemž se větší tělesa zachytávají na jeho ocích a díky rotačnímu pohybu bubnu jsou kartáči posouvány do zásobníku, nebo na dopravník [30]. Je zpravidla méně náročné na prostor a zachytává více těles. Kvalita vody je tak zpravidla vyšší v porovnání s česly. Provoz sít však bývá energeticky náročnější.

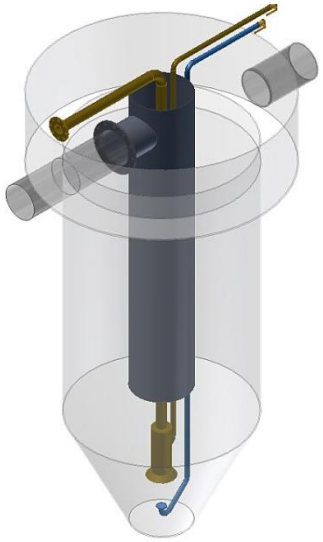
Obr. 13: Bubnové síto [65]

3.2.3. Lapák písku

V lapáku písku sedimentují jemnější částice o průměru 100-200 mikrometrů. Do kanalizace se dostávají zejména při srážkách, podobně jako v případě štěrku. Jejich podíl v OV je závislý na terénu a na jeho skladbě. Průměrná roční produkce je asi 5-12 litrů na 1 EO [4]. Písek je sice přírodní materiál, nicméně není-li jeho množství v OV redukováno, sedimentuje spolu s kalem v usazovacích a vyhnívacích nádržích a snižuje tak jeho kvalitu. Mimo to může také přímo poškodit citlivější strojní zařízení (např. abraze čerpadel).

Při horizontálním protékání lapákem je nutno držet průtočnou rychlost okolo 0,3 m/s. Jedná se o hodnotu zjištěnou empiricky. Je-li rychlost vyšší, je písek v znatelném množství přítomen v dalších operacích; nižší rychlost způsobí sedimentaci organického znečištění [3]. Další podmínkou pro správnou funkci je dostatečná doba zdržení v prostoru lapáku. Běžně dosahuje několika minut, nezbytné minimum je 30 sekund. Lapák je rozčleněn do několika paralelních komor. Při menších průtocích může pracovat pouze jedna komora. Způsob, jak zaručit stálou průtokovou rychlost i při rozkolísaných průtocích OV jsou clony, což jsou mechanické překážky různých tvarů přizpůsobené korytu a vhodně navržené tak, aby vzdouvaly protékající vodu a tím zvýšily průřez průtoku, což se projeví poklesem rychlosti. Míra vzdutí hladiny je přímo úměrná průtoku [2]. Nejznámějším příkladem uspořádání clona – koryto je Parshallův žlab. Jedná se o obdélníkovou clonu v parabolickém žlabu. Kromě vzdouvání hladiny se používá pro měření průtoku [4].

Obr. 14: Vertikální lapák písku [53]



U vertikálních lapáků je přívodní potrubí zaústěno do vtokového válce. Na jeho spodním konci je voda nucena měnit směr svého pohybu a tím je zbavována těžkých sedimentů. Výška lapáku bývá v jednotkách metrů. Pro účinnost je určující vzestupná rychlost – ideálně 0,03 m/s při době zdržení asi 2 minuty [2]. Lapák jednodušší konstrukce (Obr. 14) nemá regulovanou průtočnou rychlost. Sedimentující písek tak může být organicky znehodnocen a musí se prát v separátorech, nebo pračkách písku. Odvod písku je na Obr. 14 řešen přívodem vzduchu a mamutkovým čerpadlem (viz 2.2.3.).

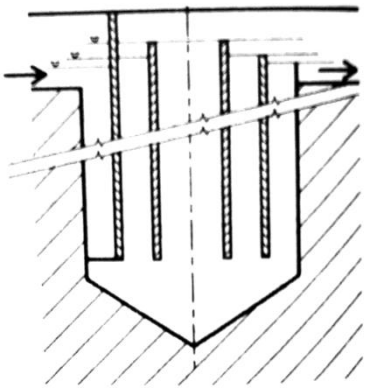
Jedním z možných řešení regulace průtočné rychlosti ve vertikálním provedení je Bochumský lapák (Obr. 15). Jedná se o několik soustředných válců s odstupňovanou výškou.

Při nejnižších průtocích protéká voda pouze vnějším meziválcím, pokud dojde k jeho navýšení, zapojí se i vnitřní válce.

Mezi další konstrukční pojetí lapáků písku patří:

- Vírový lapák, což je vertikální separátor, do kterého OV vstupuje tangenciálně a vytváří vír ve kterém těžší částice klesají ke dnu a čištěná voda odtéká potrubím v horní části zařízení.
- Provzdušňovaný lapák je protékán horizontálně. Blízko boku koryta u dna je vzhůru orientovaný přívod tlakového vzduchu, díky kterému začne voda rotovat v rovině kolmé na směr toku. Vznikne tak „šroubovitý“ průtok. Písek je z vody vylučován u druhého boku koryta, jelikož vypadává z proudu v důsledku zrychlování při pohybu směrem dolů.

Obr. 15: Bochumský lapák písku [2]



Po určitém intervalu probíhá těžba písku. V případě horizontálních lapačů předchází samotné těžbě shrabování písku do těžících prostor strojními stěrači. Písek tak vytváří souvislou vrstvu, kterou je možno těžit mamutkou, nebo zřídit násypku ústící na korečkový, nebo jiný dopravník, v případě malých ČOV je možně těžit ručně. Kvalita, tzn. míra znehodnocení, je určena množstvím organického znečištění v písku. Prvotním indikátorem je zápach. Pasivním opatřením pro eliminaci kalu v písku je správná průtočná rychlost a konstrukce žlabu, aktivním pak občasné lehké provzdušňování a prohrabávání usazeného písku v lapáku, tím dojde k čechrání a část usazeného kalu se vrací do vody. Pokud se nedaří snížit podíl organických látek pod 15%, je nutno písek prát buď přímo v jímce lapáku vzduchem a vodou, nebo odděleně v pračkách písku [3].

3.2.4. Lapák tuků

Snížení průtočné rychlosti pod 0,3 m/s má mimo sedimentaci písku za následek vzplývání lehčích látek – zejména různých tuků, olejů apod. Ty vytvoří souvislou vrstvu na hladině, která je odstraňována a odváděna do kalového hospodářství [2]. Tuky jsou odstraňovány jednak proto, že ve vyšších koncentracích ovlivní biologické čištění, ale také kvůli zanášení biofiltrů na výstupu z aktivačních procesů.

Ke vznosu lehkých látek dochází víceméně za stejných podmínek jako při sedimentaci písku, ale pomalejším tempem. Proto bývají lapáky tuku přímou součástí lapáků písku. Neumožňuje-li konstrukce lapače písku stírání tuků, je nutno je odstraňovat v oddělených zařízeních, příp. až teprve z hladin sedimentačních nádrží. Samostatné lapáky tuků bývají provzdušňovány. Látky zachycené na norných stěnách padají do shromažďovacích košů nebo jsou stírány hladinovými stěrači. Vzduchové bubliny s sebou strhávají lehké látky a unáší je směrem k hladině.

3.2.5. Primární usazovací nádrže

3.2.5.1. Popis procesu

Na principu usazování pracovaly již zmíněné lapáky (viz 3.2.1. a 3.2.3.). Usazovací nádrž odstraňuje těžší tuhé částice zejména organického původu v suspenzi OV a nerozpuštěných nečistot. Využívá rozdílných výslednic tíhových a vztlakových sil působících na kapalinu a pevné částice. Pevné částice klesají ke dnu, zatímco voda odtéká přepady blízko hladiny do dalších operací linky. Před odtokový přepad je instalována norná stěna, která nepropouští lehké látky plovoucí na hladině. Nádrž tak zadrží jak nejtěžší částice, tak ty nejlehčí. Sedimentující látky lze rozdělit na zrnité a vločkovité. Zrnité si za každé okolnosti zachovávají svůj tvar a usazovací rychlost (např. písek), zatímco vločkovité flokulují, tzn., že

se shlukují do větších celků, tzv. vloček. Organický kal má vločkovitý charakter sedimentace. V některých případech se flokulace podporuje chemickými činidly. Rozlišují se tři způsoby usazování kalu:

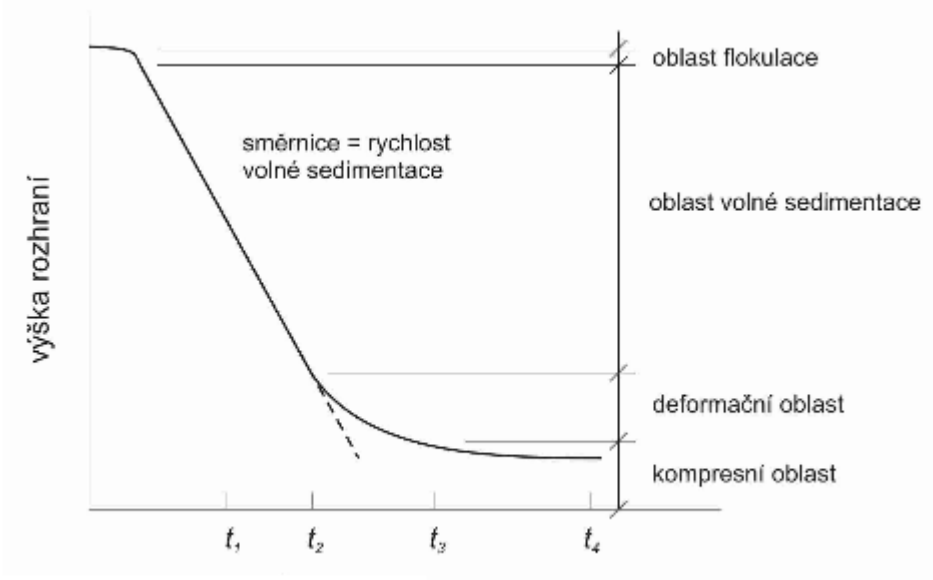
- Prosté usazování probíhá při nižších koncentracích sedimentujících látek v kapalině. Jednotlivé částice klesají ke dnu stálou rychlostí a nejsou ovlivňovány svým okolím.
- Rušené usazování vzniká, jsou-li objemové koncentrace vyšší, než 0,5%. Sestupná rychlost je ovlivněna okolními částicemi. Při dopadu částic dochází k lehkému rozvíření dříve sedimentujících vrstev.
- Zahušťování probíhá za více než 15% objemové koncentrace. Částice se usazují jako celek za vytváření patrného rozhraní mezi sedimentem a okolní kapalinou. Svrchní vrstvy pěchují ty pod nimi, vytlačují z nich kapalinu a redukují jejich objem. Sedimentující látka se zahušťuje [4].

3.2.5.2. Zahušťování

Vzhledem k požadavku, odstranit z nádrže co možná nejvíce kalu s co možná nejmenším podílem vody, je nejlepší, pokud bude sedimentace probíhat v zahušťovacím režimu. Již bylo zmíněno, že pro způsob usazování je nejdůležitějším kriteriem koncentrace. Zřeďování OV srážkovými nebo jinými vodami tak snižuje účinnost zahušťovacího procesu. To je jedním z důvodů, proč je zakázáno připojit OV ze septiků, nebo některých domovních ČOV do kanalizace (viz 2.2.); potažmo proč se dbá na vodotěsnost a budování oddělených stokových sítí (viz 1.4.).

Pro popis zahušťování se používá zahušťovací křivka (Obr. 16), která zaznamenává výšku znatelného rozhraní mezi kapalnou a pevnou sedimentující fází v závislosti na času.

Obr. 16: Zahušťovací křivka [54]



Rozlišují se čtyři oblasti zahušťování. S přibývajícím časem to jsou:

1. Oblast flokulace, ve které se částice shlukují ve větší celky. Pohyb rozhraní, které se utvoří blízko hladiny, je velice pomalý, nebo žádný.
2. Oblast volné sedimentace. V této oblasti má zahušťovací křivka přímkový charakter. Směrnice přímky odpovídá rychlosti volné sedimentace. Spojené částice padají jako celek stálou rychlostí.

3. Deformační oblast je charakterizována vznikem koncentračního rozdílu (gradientu) mezi spodními a svrchními vrstvami. Viditelné rozhraní mezi hustým a řidším sedimentem se posouvá od spodu vzhůru až k nejsvrchnějším vrstvám sedimentu. Usazenina se homogenizuje.
4. Kompresní oblast: částice jsou stlačeny k sobě a zbavují se zbylé vody v mezipartikulárním prostoru. Výška rozhraní se ustálí na hodnotě maximální možné ulehlosti částic a již se nemění [4].

3.2.5.3. Typy nádrží

Sedimentace se nevyužívá pouze v usazovacích nádržích mechanického předčištění, ale také na výstupu z biologického úseku – dosazovací nádrže; a při zahušťování kalu – zahušťovací nádrže. V zahušťovacích nádržích se nechává primární kal z usazovacích a sekundární přebytečný kal z dosazovacích nádrží znovu sedimentovat. Koncentrace kalu v zahušťovací nádrži je dostatečná pro zahušťovací režim sedimentace.

Dekantační usazovací nádrž pracuje v přerušovaném režimu, ve většině případů se používají průtočné nádrže horizontální, nebo vertikální s pravoúhlou, nebo kruhovou geometrií. V obou případech je důležitá dostatečná doba zdržení OV, která bývá asi 1-3 hodiny [4].

– Pro horizontální nádrž platí: $d/š > 3:1$; $š/h = (1 \div 2{,}25)$

  š je šířka, *d* délka a *h* hloubka nádrže.

Pro usazování je nejvhodnější laminární režim proudění ($Re < 3000$), tudíž nižší rychlosti a proudění ve vrstvách. Správným umístěním norných stěn se dá laminárního proudění dosáhnout i při vyšších průtočných rychlostech. Vzhledem k heterogenním poměrům v OV z hlediska látkového a teplotního dochází často k lokálním přechodům do turbulentního proudění za vzniku tzv. zkratových proudů, které jsou nežádoucí, jelikož způsobují vyplavování sedimentovaných vrstev. Způsobem jak stanovit vhodné podmínky usazovacího procesu je mimo *Re* také Froudeho kriteriální číslo *Fr*:

$$Fr = \frac{u^2}{g \cdot R} \tag{7}$$

ve kterém *u* představuje střední průtočnou rychlost, *g* tíhové zrychlení a *R* hydraulický poloměr nádrže (průtočná plocha/smočený obvod). Podle velikosti Froudeho čísla lze posoudit tzv. hydraulickou stabilitu, která zjednodušeně řečeno postihuje odolnost systému proti vlnám, nebo turbulencím. Za stabilní se považuje nádrž, ve které je $Fr > 10^{-5}$ [4].

Nejčastěji se používají tyto sedimentační nádrže:

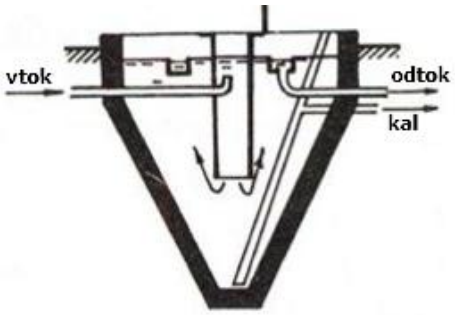
– Pravoúhlá horizontální nádrž bývá obdélníkového půdorysu. Voda je přiváděna pravoúhlým žlabem obsahujícím dělící členy. Dno žlabu má být ve stejné výšce, jako výška hladiny v nádrži. Dělící členy zpomalí nátok a rovnoměrně ho rozdělí do celé plochy nádrže. Díky tomu je přiváděná hybnost utlumena na krátké vzdálenosti bez turbulencí. Voda protéká celou délkou nádrže. Odtok je řešen přepadovými hranami s nornými stěnami.
– Horizontální kruhová nádrž (Obr. 17) má přívodní potrubí v uklidňovacím vtokovém válci, který je zároveň nornou stěnou. Voda

Obr. 17: Horizontální kruhová nádrž [62]

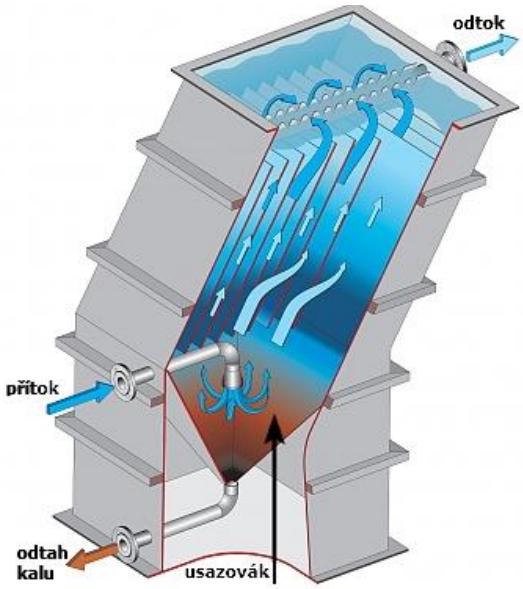
musí být pod výtlačným přetlakem zajištěným čerpadlem, nebo hydrostaticky.

- Vertikální kruhová nádrž (Obr. 18) má ve svém středu vtokový válec zaústěný do hloubky pod hladinu. Voda nádrží protéká radiálně k přepadovým hranám a zároveň stoupá z hloubky k hladině. Na výtoku válce je umístěn odrazový štít, který zabraňuje nadměrnému víření kalu. Nádrž nepotřebuje zařízení pro stírání kalu, ale je dražší z hlediska výstavby vzhledem k větší hloubce. Buduje se spíše v menších ČOV.
- Emšerská štěrbinová nádrž (Obr. 29) se v ČOV přestává používat. Skládá se ze dvou komor nad sebou. V horní komoře dochází k sedimentaci, na jejím dně je štěrbina, kterou propadá usazený kal do spodní části, kde podléhá anaerobnímu vyhnívání. Jedná se tedy o kombinaci sedimentační a vyhnívací nádrže. Kal se vyváží v průměru dvakrát do roka [3]. Dnes je možno se s tímto typem výjimečně setkat před vstupem do zemních filtrů nebo kořenových čistíren.
- Lamelová usazovací nádrž (Obr. 19) využívá vestavěného profilu ve tvaru destiček, které napomáhají usazování, díky zvětšování povrchu nádrže. V ČR nejsou příliš rozšířené. Hodí se pouze pro kal, který se nelepí, jinak dochází k zanášení profilů [3].

Obr. 18: Vertikální kruhová nádrž [33]



Obr. 19: Lamelová nádrž [66]



3.2.5.4. Odstraňování kalu a tuků

Aby byl zajištěn pohyb kalu do míst odtahu (čerpání), mají stěny nádrže, které jsou pod hladinou a nejsou stírány sklon alespoň 1,7:1. Stírané dno pak 2-3% v horizontálně-pravoúhlých a 5-10% v horizontálně-radiálních nádržích směrem ke kalové prohlubni určené k akumulaci kalu [31]. Délka pravoúhlých nádrží bývá 30-50 m, průměr radiálních 40 m a více. Hloubka vody bývá většinou 2-3 metry u horizontálních a až 10 i více metrů u vertikálních nádrží. Pro správné zachytávání lehkých látek, které jsou ve vodě i po použití lapačů mají být pohyblivé norné stěny ponořené asi 10-20 cm pod hladinu [31].

Obr. 20: Most kruhové nádrže [60]

Sklon nestíraných stěn zajišťuje, aby se na nich částice kalu nezachytávaly ve větším množství. Kal sedimentuje na dně nádrže. Jako akumulační prostor slouží u horizontálních nádrží kalová jímka situována pod vtokovou soustavou; tzn. u pravoúhlých nádrží u kraje pod přívodním žlabem, u kruhových v jejich středu pod tlumícím stabilizačním válcem. Vertikální nádrže většinou jímku nemají, jelikož sklon jejich stěn bývá dostatečný i u dna.

K tomu, aby se kal usazený mimo kalovou jímku dostal do prostoru jímky, slouží stírací lišty, které jsou shora umístěny na otočném mostu (Obr. 20), který slouží také jako lávka. K mostu je připojen i stěrač hladiny. U pravoúhlých nádrží může být stěrač jeden, při pohybu k jímce pracuje ponořen ke dnu. V úvrati vytáhne stírací lištu na hladinu a vrací se zpět. S pomocí norné stěny odvede tuk do sběrného koše a opět se noří na dno.

Hnací elektromotor se umisťuje po obvodu nádrže, nebo doprostřed na lávku. Stírání probíhá kontinuálně, nebo nárazovitě [3]. Most je na obvodu zakončen jedním, nebo více koly, jedoucími po kolejnicích, případně jsou kolejnice na dnu nádrže, nebo je pohyb mostu řešen navíjením řetězu.

Kal z jímky je hydrostatickým přetlakem, nebo kalovými čerpadly přečerpáván do objektů kalového hospodářství (viz kap. 4.). Ponorná kalová čerpadla mohou mít velké výkony (desítky kW), většinou ale pracují s menšími výtlačnými výškami. Materiálem je nejčastěji litina. Univerzálním typem jsou odstředivá čerpadla s litinovými lopatkami oběžného kola. Zvláštní důraz se klade na utěsnění elektromotoru před čerpaným médiem (gufera, ucpávky s olejem). Vývody kabeláže jsou těsněny „O“ kroužky. Samotné vodiče jsou zalité pryskyřicí, aby při porušení izolace nestekla voda do svorkovnice. Kontrolní čidlo snímá množství oleje v prostorách elektromotoru a přítomnost vody v oleji, v případě průsaku čerpané látky skrze těsnění je chod čerpadla zastaven [32].

Životnost čerpadla je závislá zejména na množství abrazivních částic ve vodě, proto je důležité předřadit usazovacím nádržím účinný lapač písku. Je-li koncentrace abrazivních částic v kalu malá, lze použít vřetenová čerpadla (Obr. 21). Obecně platí, že jsou méně odolná na abrazivní opotřebení, ale lépe čerpají více viskózní tekutiny. Pracují na principu Archimédova šroubu, nebo excentrického šnekového rotoru. Platí pro ně stejné konstrukční zásady jako pro odstředivá čerpadla [3].

Obr. 21:Vřetenové čerpadlo [55]

Pro posouzení účinnosti usazovacích nádrží se na odtoku z nádrže odebírají kontrolní vzorky, které se nechají odstát v tzv. Imhoffovu kuželu. Po stanoveném čase se měří objem usazených nerozpuštěných látek. Je-li objem vyšší než 0,5 ml/l (ml usazených látek v litru odebrané vody), je funkce nádrže hodnocena jako špatná [3].

3.3. Sekundární biologické čištění

Cílem celého primárního úseku je zbavit OV hrubých nečistot, těžkých usaditelných látek a lehkých látek ve vznosu. Po dlouhou dobu byla voda, pro kterou se dnes používá název hrubě předčištěná, vypouštěna do vodních toků. To je v současnosti nepřípustné (viz 2.1.). Sekundární úsek ČOV pracuje na principu biologických reakcí. Z toho důvodu je v něm možno odstranit pouze látky biologicky rozložitelné. Údaje o bio-rozložitelnosti látek jsou katalogizovány. Biologicky rozložitelné polutanty jsou živnou směsí pro mikroorganismy a tvoří složku tzv. substrátu. Substrát je označení prostředí, ve kterém mikroorganismy žijí a které je pro ně zdrojem energie [2].

Již ve zmíněných decentralizovaných způsobech čištění (viz 2.2.) byly OV čištěny biologicky. V bioreaktorech ČOV se cíleně vytvářejí podmínky pro vznik rozmanité biokultury, její udržení a maximální využití. Biokultura je tvořena jednobuněčnými i mnohobuněčnými organismy (mikroskopickými houbami, plísněmi, kvasinkami, sinicemi, bičíkovci, nálevníky, háďátky, vířníky, červy, roztoči, aj) [2]. Dbá se při tom na univerzálnost

rozkladných procesů v biokultuře, jelikož se znečištění OV v městských nebo průmyslových čistírnách mění v podstatně větší míře, než je tomu u malokapacitních zařízení. Ne nadarmo je biologický stupeň označován jako „srdce čistírny odpadních vod.“

Tato kapitola se zaměřuje na principy a zařízení sekundárního stupně čištění. O základech biologického čištění je pojednáno v kapitole 5.

3.3.1. Aktivační nádrž

Jedná se o objekt, ve kterém probíhá proces aktivace (viz 5.3.). Nejčastěji se jedná o pravoúhlou nádrž s kontinuálním provozem, která je ve svých aerobních zónách uměle provzdušňována aerátory a v anaerobních zónách míchána míchadly. Rozlišují se dva typy aktivačních nádrží:

- Kontinuální nádrž s postupným tokem je dlouhá pravoúhlá provzdušňovaná nádrž. Na přítoku je OV směšována s vratným aktivovaným kalem. Koncentrace substrátu se postupně snižuje.
- v Kontinuální směšovací nádrži se smísí voda s aktivovaným kalem až v prostoru nádrže. Celá nádrž je intenzivně promíchávána a homogenizována. V celé nádrži se tak udržuje konstantní koncentrace substrátu. Využívá se zejména při likvidaci specifického znečištění, které je při vyšších koncentracích toxické [4].

3.3.1.1. Aerátory

Aerátory uměle dodávají vzduch do aktivační směsi v aktivační nádrži. Přiváděný vzduch je důležitý pro aerobní mikroorganismy, jelikož pro ně vytváří příznivé kultivační podmínky, ale slouží také k tomu, aby vločky aktivovaného kalu neklesly ke dnu nádrže a udržovaly se ve vznosu. Pokud by vločky sedimentovaly u dna, výrazně by se tím snížila jejich činná plocha, která se účastní čistícího procesu.

Lze rozlišit tyto základní principy aerace:

- Mechanická aerace, kdy je provzdušňování zajištěno pohyblivými členy, které zvyšují míru rozpouštění kyslíku z fázového rozhraní voda – vzduch rozvířením hladiny.
- Pneumatická aerace, kdy je OV provzdušňována pneumatickými členy, které produkují bubliny vzduchu.
- Hydropneumatická aerace pracuje na principu ejektoru, který směšuje vodu a vzduch.
- Kyslíková aktivace, kdy se nepřivádí vzduch, ale čistý kyslík, nebo kyslíkem obohacený vzduch.

Mezi mechanické aerátory se řadí horizontální aerační válce a vertikální aerační turbíny [3]. Výhodou těchto strojů je vyšší intenzita míchání než u pneumatických aerátorů. Míchání je žádané, protože homogenizuje obsah aktivační nádrže. Obecně platí, že tato zařízení jsou robustní, spolehlivá a bezúdržbová. Mezi nevýhody patří nižší účinnost, hluk, tvorba aerosolu, prochlazování směsi, větší plocha potřebná pro nádrž, obtížná regulace, aj. V moderních ČOV se nepoužívají kvůli své nižší účinnosti a ve starších jsou nahrazovány pneumatickými aerátory [7].

V současnosti převládá v ČOV pneumatický způsob aerace, při které se vzduch do nádrže vhání dmychadly a do vody vstupuje přes tzv. aerační elementy, které vytvářejí bublinky. Soustava dmychadlo, rozvod vzduchu, aerační element se označuje jako aerační systém. Podle velikosti bublin se systémy dělí na:

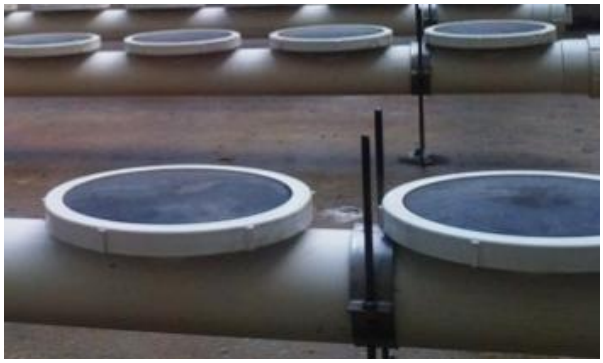
- Hrubobublinné: průměr bublin je větší než 10 mm. Používají se v odplyňovacích úsecích aktivační nádrže.
- Středobublinné: průměr bublin 4-10 mm. Byly předchůdcem jemnobublinných systémů, které je dnes nahrazují. Bývají ve starších ČOV.

– Jemnobublinné: průměr bublin 1-4 mm. V současnosti nejpoužívanější a nejúčinnější aerační systém [2].

Systémy v moderních ČOV jsou vybaveny senzory, které měří množství dodávaného vzduchu do aktivační nádrže a množství rozpuštěného kyslíku v OV. Podle naměřených hodnot mění řídicí systém frekvenčním měničem výkon turbodmychadel [3].

Aerační elementy bývají deskové, nebo trubkové. Materiálem je nejčastěji plast, nebo keramika. Bublinky jsou vytlačovány dírami, úzkými štěrbinami; nebo jsou elementy membránové (Obr. 22). Výhodou membránových elementů je jejich odolnost proti ucpávání.

Obr. 22: Membránové aerační elementy [57]



Hlavní předností jemnobublinné aerace je zejména vysoká účinnost přestupu kyslíku do aktivační směsi. Účinnost vzrůstá s plochou mezifázového rozhraní, která je u malých bublin velká. Účinnost lze zvýšit mícháním směsi. Jemné bubliny neničí strukturu vloček a nepřímo tak napomáhají tvorbě dobře usaditelného kalu [2].

Nejdůležitější charakteristikou aeračního systému je jeho oxygenační kapacita. Oxygenační kapacita (OC) udává hmotnost kyslíku, kterou dodá zařízení do jednotkového objemu aktivační směsi za jednotku času (nejčastěji den) při počáteční nulové koncentraci rozpuštěného kyslíku ve směsi. Jednotkou OC je $[\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3} \cdot \mathrm{d}^{-1}]$. Standardní oxygenační kapacity jednotlivých systémů jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Oxygenační kapacity aeračních systémů [33]

Aerační systém	Oxygenační kapacita $[\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3} \cdot \mathrm{d}^{-1}]$
hrubobublinný	1
středněbublinný	3
jemnobublinný	6

Aerační systém	Oxygenační kapacita $[\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3} \cdot \mathrm{d}^{-1}]$
mechanický	3
hydropneumatický	2

3.3.1.2. Režimy aktivace

Podle průtoku OV se aktivační nádrže dělí na:

– Klasické: jedná se o dlouhý koridor, na vstupu a v jeho blízkosti je aktivační směs nejkoncentrovanější a dochází k největší spotřebě kyslíku, proto se tyto části nejvíce provzdušňují. Často užívaná modifikace je, že OV přitéká na několika místech tak, aby bylo v celé nádrži rovnoměrné zatížení.
– S oddělenou regenerací kalu: aktivovaný kal se odtahuje z kaliště dosazovací nádrže a před vrácením do aktivační nádrže prochází přes regenerační nádrž, kde se obnovuje jeho schopnost rychle kumulovat živiny (viz 5.5.). Regenerace výrazně zintenzivní čistící proces. Tento typ se užívá pro čištění koncentrovanějších OV s vyšším podílem snadno rozložitelných látek.

– Dvoustupňové: sériové uspořádání dvojice aktivační nádrž – dosazovací nádrž za sebou. Dvoustupňové nádrže jsou vhodné pro OV s vysokým podílem organického znečištění. Nedostatkem je, že se k mikroorganismům v druhé aktivační nádrži v případech méně koncentrovaných OV nedostává dostatek živin.

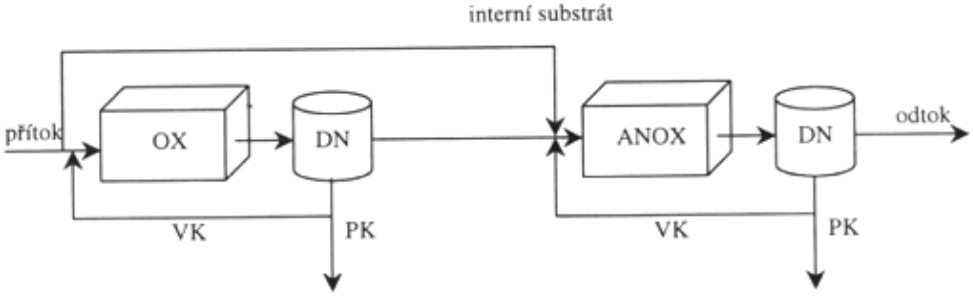
Obr. 23: Oxidační příkop [67]

– Oxidační příkop (Obr. 23): používá se pro čištění méně koncentrovaných OV v menších ČOV. Jedná se o mělký uzavřený příkop s jedním nebo více mechanickými aerátory (nejčastěji horizontálními). Aerátory jsou nejčastěji umístěny v rovných částech příkopu, vytvářejí aerobní podmínky a způsobují pohyb čištěné vody ve směru oběhu. Ve 180° zatáčkách je voda v klidu a není provzdušňována. To má za následek vytvoření anoxických kultivačních podmínek. Voda tak při oběhu v příkopu prochází střídavě oxickými a anoxickými zónami.
– Karuselové: v podstatě několik oxidačních příkopů za sebou. Mají vysokou účinnost odstraňování dusíku.
– Šachtové: vertikální nádrže, používají se k úspoře zastavěného místa (až 50%), ale je nutno investovat do dokonalého utěsnění nádrže kvůli kontaminaci podzemních vod [4].

Biologickou přeměnu sloučenin dusíku (viz 1.2.1.1.) lze realizovat dvěma způsoby:

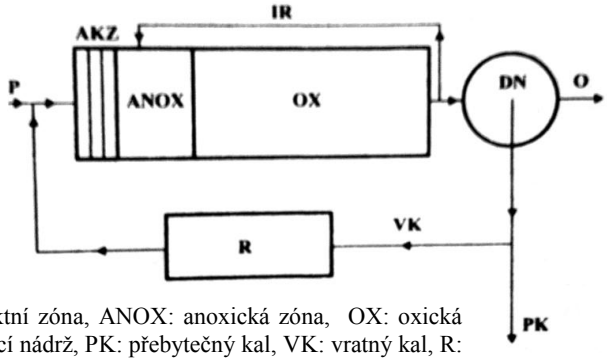
– Dvoukalovým systémem (Obr. 24), kdy jsou vytvořeny dva oddělené kalové cykly. První část je oxická a probíhá v ní nitrifikace, druhá je anoxická a probíhá v ní denitrifikace. Obě části mají vlastní aktivační a dosazovací nádrže a vlastní okruh vratného kalu, případně vlastní regenerační nádrže. Rozlišuje se systém s interním substrátem, kdy je přítok do první nádrže rozdělen a část z něj je použita jako substrát pro druhou nádrž, nebo s externím substrátem, kdy je substrát pro anoxickou část dodáván z vnějšku.

Obr. 24: Dvoukalový systém s interním substrátem [59]



– Jednokalový systém (Obr. 25), ve kterém nitrifikace a denitrifikace probíhá v jedné nádrži jedním aktivovaným kalem. Nádrž je rozčleněna na přítokovou část tvořenou oxickými, nebo anoxickými selektory (popř. kontaktními zónami) a na zóny. Pokud je selektor oxický, následuje za ním oxická zóna, je-li anoxický, následuje anoxická zóna. Těsně před odtokem je

Obr. 25: Jednokalový systém [2]



Vysvětlivky k obrázkům: P: přítok, AKZ: anoxická kontaktní zóna, ANOX: anoxická zóna, OX: oxická zóna, IR: interní recirkulace aktivační směsi, DN: dosazovací nádrž, PK: přebytečný kal, VK: vratný kal, R: regenerační nádrž, O: odtok

aktivační směs provzdušňována hrubou bublinou, kvůli odstranění N_2 a N_2O z aktivační směsi [4]. Regenerace vratného kalu se provádí v oddělené nádrži probublávané jemnými bublinami.

3.3.2. Dosazovací nádrž

Popis sedimentačního procesu byl proveden v kapitole 3.2.5.1. Sedimentem usazovacích nádrží byl primární kal, který byl odváděn do zahušťovacích nádrží a následně do objektů kalového hospodářství. Sedimentem dosazovacích nádrží je sekundární kal, který je rovněž odváděn do zahušťovacích nádrží, nebo vracen do usazovacích nádrží (viz kap. 4.). Dosazovací nádrže jsou principiálně, typově i konstrukčně shodné s usazovacími nádržemi.

Vločky aktivovaného kalu v aktivační nádrži, které jsou ve vznosu díky aeračnímu systému, jsou na odtoku z aktivační nádrže stírány hladinovými stěrači, nebo přetékají přes přepad a jsou spolu s OV přivedeny do dosazovacích nádrží, kde sedimentují. Kvalita usazovacího procesu je závislá na koncentraci kalu a také na kalovém indexu KI (viz 5.5.). Na dno dosazovacích nádrží sedimentují vločky aktivovaného kalu. Část z nich (tzv. vratný kal) je přečerpána do regeneračních nádrží a poté smísena s OV na vtoku do aktivační nádrže. Zbylé množství (tzv. přebytečný kal) je čerpáno do zahušťovacích, nebo usazovacích nádrží a následně se zpracovává v kalovém hospodářství.

3.3.3. Alternativy k aktivačnímu procesu

Kromě dnes nejrozšířenějšího způsobu biologického čištění v aktivační nádrži a následné sedimentaci v dosazovací nádrži existují i jiné varianty, které se používají nejen v menších, ale i ve větších, hlavně městských ČOV. Jedná se zejména o čištění za použití biofilmových reaktorů a anaerobní způsoby čištění OV.

3.3.3.1. Biofilmové reaktory

Jsou používány zejména při předčištění průmyslových OV před vypuštěním do kanalizace (viz 1.4.2.) a v menších ČOV. Mezi biofilmové reaktory se řadí:

- Skrápěné biologické kolony (neboli biofiltry)
- Ponořené biologické kolony
- Rotační biofilmové reaktory

Obr. 26: Biofiltr [61]

Skrápěné biologické kolony (Obr. 26) pracují na principu zemního filtru (viz 2.2.4.). Nádoba je vyplněna buď zrnitou filtrační směsí, na které se kultivuje povlak mikroorganismů (nejčastěji štěrkopísek, nebo plastová směs); nebo blokovou náplní, což jsou speciální plastové profily s vertikálním nebo křížovým průtokem, které se užívají pro více zatěžované biofiltry a mají větší odolnost vůči ucpávání. OV přitéká přívodním potrubím, které je zakončeno Segnerovým kolem, nebo jiným rozstřikovačem. Kolo, nebo rozstřikovač rovnoměrně distribuují vodu po celém povrchu biofiltru. Voda vertikálně protéká filtrem, nečistoty adsorbují na povrchu filtrační směsi a slouží jako živiny pro mikroorganismy. Za biofiltrem je nejčastěji zařazena dosazovací nádrž. Filtrační směs je položena na roštu s větracími otvory, kterými proudí vzduch a provzušňuje filtrační směs. Provzdušňování biofiltru je nezbytné pro správnou činnost, jinak dochází k odumření aerobní polykultury a anaerobnímu vyhnívání. Vzduch je hnán dmychadly, nebo proudí v důsledku komínového efektu, který vzniká kvůli

rozdílu teplot protékané vody a okolního vzduchu. Je-li voda teplejší než vzduch, proudí vzduch zezdola nahoru, pokud je voda chladnější, proudí shora dolu [2].

Ponořené biologické kolony obsahují podobně jako biofiltry nosič, na kterém se vytváří film mikroorganismů. Nosič je permanentně zatopený. Voda do kolony přitéká zespodu a vyčištěná voda odtéká otvorem umístěným v horní části zařízení. Kolona je nuceně provzdušňována vzduchem z aeračního systému [4].

Rotační biofilmové reaktory se používají v nejmenších ČOV a v domovních, nebo rekreačních objektech. Jsou jednoduché konstrukce a nepotřebují přívod vzduchu pro vytvoření oxických podmínek. Nosičem biokultury jsou speciální disky řazené za sebou a umístěné na společné otáčející se hřídeli. Hřídel s disky je umístěna v korytu, kterým protéká OV. Disky jsou z části ponořené a z části nad hladinou. Mikroorganismy střídavě získávají živiny z OV a jsou v kontaktu se vzdušným kyslíkem [4].

3.3.3.2. Anaerobní způsoby čištění

Stručný popis anaerobních procesů a jejich srovnání s aerobními procesy viz 5.6.

Obecně platí, že anaerobní reaktory jsou v porovnání s aerobními více náchylné na změnu kultivačních podmínek, zejména na koncentraci substrátu a změnu jeho složení. Anaerobní mikroorganismy se adaptují delší dobu, a proto reaktory potřebují dostatečný čas pro své zapracování. Nejčastěji se používají dva typy anaerobních reaktorů:

- Rektory s biomasou v suspenzi.
- Reaktory s kultivací imobilizované biomasy.

V reaktoru s biomasou v suspenzi dochází ke směšování OV a anaerobní polykultury v reaktoru. Směs je promíchávána a homogenizována míchadly. OV přitéká většinou kontinuálně. Část biomasy opouští s čištěnou vodou prostor reaktoru. Není-li tato biomasa opětovně využívána, používá se pro reaktor název chemostat.

Zařazením separačního zařízení za anaerobní reaktor a znovupoužitím separované biomasy se vytváří vratný cyklus. Pro proces se někdy užívá název anaerobní aktivace. Separátorem směsi nebývá dosazovací nádrž, protože biomasa se usazuje podstatně hůře, než aktivovaný kal. Moderní reaktory využívají technologii membránové ultrafiltrace [4]. Pro ultrafiltraci se používají membrány s velikostí pórů 1-100 nm [34].

Reaktory s imobilizovanou biomasou jsou konstruovány tak, aby biomasa neopouštěla prostor zařízení. Nejčastěji se jedná o filmové reaktory pracující na filtračním principu. Reaktory jsou uzavřené a náplň není v kontaktu se vzduchem.

V horní části anaerobních reaktorů jsou umístěny odvody pro vznikající bioplyn.

3.4. Terciární čištění

Terciární stupeň se v ČOV nestaví vždy, ale pouze pokud je požadována vyšší účinnost technologické linky, která je bez dočišťování nedosažitelná. Obecně platí, že terciární dočištění má nejvýznamnější vliv na koncentraci sloučenin fosforu ve vodě [3]. Nejčastěji se v terciárním stupni používají filtrační zařízení, stabilizační nádrže, gravitační nádrže a mikrosítové filtry.

3.4.1. Zemní filtry, kořenové čistírny

Tato zařízení byla popsána v kapitole 2.2.4. Zemní filtry a kořenové čistírny užívané v ČOV se v principu neliší od malokapacitních filtrů. Hlavní rozdíl je v kapacitě a zastavěné ploše. Někdy se používá speciální filtrační směs, která chemicky váže sloučeniny fosforu a zvyšuje tak účinnost jeho odstraňování.

3.4.2. Stabilizační nádrže

Jedná se o uměle vybudované nádrže, někdy se pro ně používá název biologické rybníky. Budují se zejména u menších ČOV. V nádržích probíhají přírodní čistící procesy. Nerozpuštěné látky sedimentují na dně a rozložitelné látky jsou rozkládány anaerobními a aerobními mikroorganismy. Nutrienty jsou využívány producenty (zejména vodními rostlinami).

Pro účinné čištění je nutná doba zdržení vody v prostorách nádrže asi 10 dnů, minimálně pak 5 dnů. Hloubka nádrží většinou nepřesahuje 2 m. Vzhledem k tomu zabírají nádrže značnou plochu. Pro zvýšení účinnosti se osvědčilo budovat nádrže dvoustupňové, nebo vícestupňové. První stupeň je budován jako anaerobní. Dochází v něm k sedimentaci nerozpuštěných látek a k anaerobnímu čištění. Anaerobní stupeň odstraňuje největší podíl organického znečištění. Druhý aerobní stupeň slouží zejména k dočištění, odstranění zápachu a estetickému zprůhlednění vody.

Dno nádrže může být stíráno. Pro lepší stírání usazenin zejména v prvním úseku se na dno pokládají betonové panely. Na dně může být zatopená technická komunikace, po které se při těžbě sedimentů pohybuje těžší technika. Výška vrstvy sedimentů na dně se kontroluje většinou 1-2 krát do roka. Jejich vyklízení se standardně provádí jednou za 8-10 let [3].

Při vyklízení sedimentů, neboli těžbě se analýzou určí složení dnových sedimentů a množství toxických látek, zejména těžkých kovů. Z výsledků rozboru se stanoví míra kontaminace a zdravotní nezávadnosti. Rozhodne se, zda bude sediment označen za odpadní látku. Je-li sediment nezávadný, lze jej po vytěžení použít jako hnojivo, zeminu pro revitalizaci skládek, pro terénní úpravy, aj. Pokud je sediment klasifikován jako odpadní, je nejčastěji skládkován. Skládkování by mělo být až posledním a krajním řešením [35].

Obr. 27: Těžba sedimentů [63]

V aerobním stupni nádrží jsou na hladině umístěny plovoucí mechanické aerátory. Ty jednak nasycují vodu kyslíkem a také zabraňují zamrzání hladiny. Aerobní část nádrže bývá osídlena rybami a dalšími vodními živočichy, kteří jakožto konzumenti regulují množství producentů a destruentů a jsou také spolehlivým indikátorem kvality vody v nádrži. Plocha aerobního stupně bývá větší, než plocha anaerobní části (asi 80% celkové plochy nádrže). Je tomu tak mimo jiné proto, že aerátory rozvířují hladinu. Za aerátorem musí být dostatečná klidová plocha, která již není jeho činností ovlivněna, aby mohlo docházet k nerušené sedimentaci nejlehčích nečistot a produktů čistících procesů.

Členy, které rozdělují jednotlivé části nádrže, jsou buď sypané valy, tvárnicové stěny, nebo plovoucí stěny z polyamidové síťoviny. Mimo dočišťování plní nádrže retenční funkci, v odůvodněných případech plní funkci sekundárního stupně čištění (produkce OV do 500 EO) [2].

3.4.3. Gravitační nádrže

Gravitační nádrže jsou konstrukčně totožné s nádržemi zmiňovanými v kap. 3.2.5. Hladina i dno jsou stírány. Interval stírání a odtahu kalu bývá delší, než v primárních a sekundárních nádržích, protože objem nerozpuštěných látek ve vodě je menší.

3.4.4. Mikrosítový filtr

Mikrosítové filtry (mikrosíta) jsou nejpoužívanější a nejúčinnější způsob terciárního čištění ve větších ČOV. Nejčastěji se používají bubnová, nebo disková mikrosíta. Rozsah filtrace se pohybuje v desítkách až stovkách μm, záleží na konkrétním zařízení.

Bubnový filtr (Obr. 28) se skládá z vnější vodotěsné skříně, do které je zaústěno přívodní potrubí. Ve skříni je umístěna nosná mřížka, na kterou je přimontována filtrační tkanina. Mřížka a tkanina vytvářejí filtrační buben. Voda přitéká přívodním potrubím do vnitřního prostoru bubnu a gravitačně protéká filtrační tkaninou. Odtok je umístěn ve spodní části zařízení na vnější straně bubnu. Nečistoty jsou zachytávány vnitřní stranou filtrační tkaniny. Dochází tak k zanášení filtru. V prostoru filtru mohou být instalovány senzory, které měří stav hladiny uvnitř bubnu. Vyšší hladina signalizuje, že filtr je zanesen. Moderní filtry mají automatický samočisticí program. Řídicí systém roztočí buben a přivede část přefiltrované vody do čistících trysek umístěných na vnější straně bubnu. Trysky čistí zanesenou tkaninu. Nečistoty jsou odváděny odpadním žlabem umístěným uvnitř bubnu. Samočisticí program nepřerušuje činnost zařízení [36].

Obr. 28: Bubnový mikrosítový filtr [36]

Diskové filtry jsou tvořeny několika disky na společné hřídeli. Disky jsou potaženy filtrační tkaninou. Princip činnosti je stejný jako u bubnových filtrů. Počet disků se volí podle požadované kapacity zařízení.

Filtr je bezúdržbový, provádí se pouze kontrola jeho činnosti a základních součástí, zejména se kontrolují všechna čerpadla a stav filtrační tkaniny. V případě poškození tkaniny je třeba její výměna (mění se pouze poškozená část).

4. Kalové hospodářství

Přesto, že pojem „čistírna odpadních vod“ může navodit dojem, že se v ČOV pouze „čistí voda,“ tvoří kalové hospodářství asi polovinu rozpočtu celé ČOV. Objekty kalového hospodářství vytvářejí z patogenních, toxických nebo jinak nebezpečných látek pokud možno zdravotně nezávadný odpadní produkt, který může být dále využíván. Tento proces se nazývá stabilizace kalu. Při stabilizaci kalu může vznikat bioplyn. V něm uložená energie může významně zlevňit provoz celé ČOV a zajistit zpětnou návratnost dobře navrženého kalového hospodářství.

Kal je koncentrovaná směs polutantů přítomných v OV před vstupem do čistírny, přídavného znečištění, které vzniká jako produkt některých jednotkových operací a také organické biomasy, která je součástí sekundárního kalu.

Kaly jsou do objektů kalového hospodářství přiváděny potrubním systémem s odolnými kalovými čerpadly. Pro odtah kalů z nádrží je nutno zvolit vhodný časový interval na základě měření množství usazeného kalu. Může se provádět několikrát denně, ale také třeba jednou týdně. Kal by měl být dostatečně zahuštěn, ale přílišné zahuštění má za následek obtíže s jeho čerpáním [3]. Kaly ze všech úseků se obvykle směšují dohromady. Častým způsobem směšování je přečerpání sekundárního přebytečného kalu do usazovací nádrže, kde se nechá sedimentovat spolu s primárním kalem. Odtud je pak směsný kal přečerpán do zahušťovací nádrže [4]. Jiným způsobem je směšování obou kalů až v zahušťovací nádrži, nebo těsně před vstupem do metanizačních nádrží, příp. ke směšování nedochází.

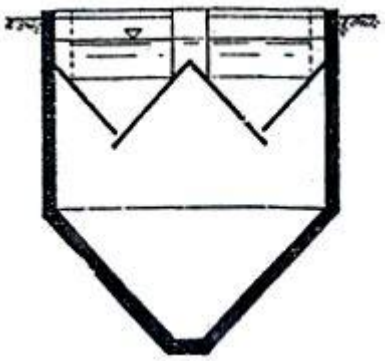
4.1. Stabilizace kalu

Stabilizace kalu neutralizuje nebezpečné vlastnosti kalu, které brání jeho dalšímu využívání nebo způsobují problémy s jeho manipulací. Stabilizovatelnost se liší v závislosti na složení kalu, použitých technologiích a zařízeních. Kal lze považovat za stabilizovaný, jestliže nepůsobí škodlivě ve vztahu k životnímu prostředí. Přesnější definice v legislativě ČR zatím chybí, ale existuje několik kritérií, kterými lze stanovit míru stability (např. CHSK, BSK, zápach, viskozita, aj.). Nelze-li vhodným způsobem kal stabilizovat, přistupuje se k jeho spalování, v nejzazším případě je kal skládkován.

4.1.1. Anaerobní stabilizace kalu

Jedná se o nejrozšířenější způsob stabilizace, jelikož produktem anaerobních rozkladných procesů je bioplyn, ve kterém je vázáno velké množství energie (viz 5.6.). Pro optimální průběh metanogenních procesů je nutno zajistit vhodné podmínky – zejména homogenitu směsi a teplotu. Homogenita je zajišťována mícháním. Anaerobní rozklad neprobíhá při teplotách nižších než 6°C [37]. Nejstarší a dnes už nepříliš využívaný způsob stabilizace je vyhnívání anaerobního kalu v emšerských nádržích (Obr. 29). V emšerských nádržích se neudržuje stabilní teplota, kal není homogenizován. Vznikající bioplyn je bez využití vypouštěn do atmosféry.

Obr. 29: Emšerská nádrž [33]



V ČOV se kal stabilizuje ve speciálních anaerobních reaktorech. Pro tyto reaktory se někdy používají názvy vyhnívací nádrže, fermentory, aj. Anaerobní reaktory menších objemů mají nejčastěji vejčitý tvar. Větší reaktory jsou pak válcové s kuželovými podstavami. Tvar a rozměry reaktoru významně snižují únik tepla z vytápěného vnitřku do okolí. Teoreticky se vyplatí budovat reaktory co největších objemů a kulových tvarů, aby byl povrch, kterým uniká teplo do okolí vůči objemu reaktoru co

nejmenší. Z prostoru kulových nádrží by se ale špatně odtahoval kal, docházelo by k ulpívání kalu na vnitřních stěnách a k dalším komplikacím. Příliš velké reaktory jsou více náročné na přesnou manipulaci s kalem, homogenitu prostředí uvnitř reaktoru a na zastavěnou plochu [4].

Anaerobní reaktory jsou vytápěné nádrže s čerpadly, míchadly a soustavou pro jímání bioplynu. Kal vstupující do nádrže ze zahušťovacích nádrží se nazývá surový kal. Surový kal je v prostoru reaktoru míchán. Míchání může probíhat mechanickými míchadly, přečerpáváním kalu ze spodní části nádrže do horní, pneumatickým vháněním bioplynu do prostoru reaktoru nebo tzv. pulzací, při které probíhá míchání změnami tlaků nad hladinou surového kalu [2].

Obr. 30: Vyhnívací nádrže [68]

Prostor nádrže je vytápěn topnými systémy. Nejčastěji se jedná o vytápění vodou nebo párou uvnitř reaktoru nebo vně, vstřikováním páry do prostoru reaktoru nebo ponořenými hořáky. V ČR se nejčastěji vytápí na teplotu okolo 35°C. Vznikající bioplyn se z horních prostorů jímá a plynovody dopravuje do uskladňovacích plynojemů.

Doba zdržení kalu v reaktoru je v souladu s průměrnými dobami zdržení při mezofilní metanizaci (viz 5.6.) asi 20-30 dnů. Po ukončení hlavních metanizačních procesů je vyhnilý kal přečerpán do tzv. uskladňovacích nádrží, což jsou sedimentační nádrže sloužící k odvodnění a zahuštění vyhnilého kalu. V nádržích zároveň v malé míře probíhají poslední závěrečné metanizační procesy [37]. Voda, která je oddělena od kalu (tzv. kalová voda) se nejčastěji vrací zpět před aktivační nádrž ČOV.

Obr. 31: Kalová pole [38]

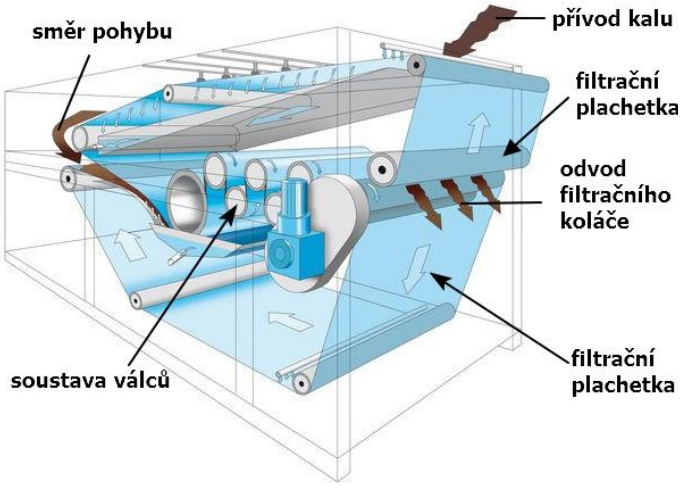
Kal, který sedimentuje v uskladňovacích nádržích, stále ještě obsahuje poměrně velké množství vody, proto za nádržemi následují zařízení, která tento podíl dále sníží. Nejjednodušším způsobem je budování kalových polí (Obr. 31), což jsou mělké nádrže s vrstvou štěrkopísku a drenážním potrubím. Poté, co je kal dopraven do prostoru nádrže se zde nechá odstát. Část podílu vody v kalu je po průchodu přes štěrkopískovou vrstvu odváděna drenážním potrubím a další část se vypaří. Nevýhodou těchto nádrží je náročnost na plochu, delší doby zdržení a závislost jejich funkce na počasí, teplotě a dalších podmínkách okolí [38]. Na podobném principu jako kalová pole pracují tzv. kalové laguny, které se budují bez drenážního média a další typy kalových nádrží.

Ve větších ČOV se kal odvodňuje nejčastěji strojně. Používají se zejména:

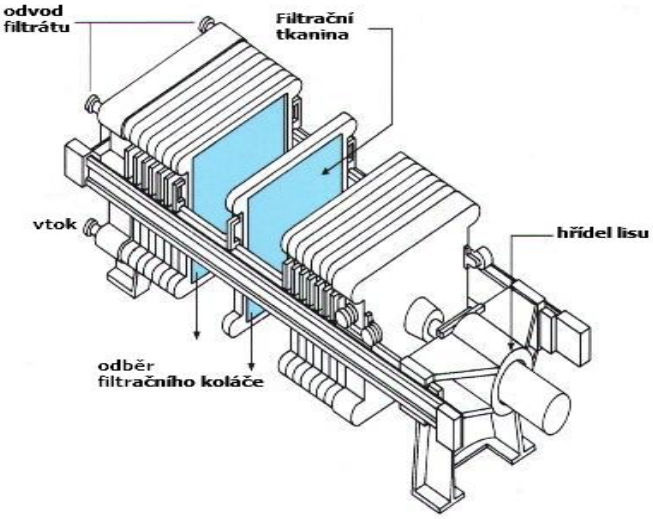
- Sítopásové lisy (Obr. 32), které se skládají z dvojice nekonečných filtračních plachetek, mezi kterými je kal nucen procházet soustavou válců. Válce stlačí obě plachetky k sobě. Kal mezi nimi je deformován střihem, což napomáhá jeho odvodnění. Voda, které se kal zbaví je filtrována plachetkami a odváděna pryč [2].

- Kalolisy (Obr. 33) pracují na principu tlakové filtrace. Skládají se z několika filtračních desek, mezi kterými je vrstva filtrační tkaniny. Desky jsou volně posuvné ve vaně zařízení. Před spuštěním kalolisu se desky k sobě stlačí a sevřou. Poté se nechá kalolisem procházet kalová suspenze. Voda ze suspenze proteče filtrační tkaninou a je odváděna z prostoru mezi talíři. Tuhá fáze zůstává v prostoru mezi deskami, kde vytváří filtrační koláč. Po zaplnění prostoru mezi deskami se desky oddálí od sebe a filtrační koláč vypadne ze zařízení.
- Šnekové centrifugy (Obr. 34) oddělí složky suspenze vlivem větších měrných odstředivých sil působících na pevné částice. Pevné částice se tak usadí na vnitřní stěně válcovité části odstředivky a Archimédovým šroubem jsou posouvány v axiálním směru do kuželové části, kde dochází k jejich dalšímu odvodnění [2].
- Vakuový filtr (Obr. 35) má vnější stěnu bubnu zčásti ponořenu do suspenze. Na vnitřní straně bubnu je vytvořen podtlak. Díky tomu jsou pevné částice kalu přisány k bubnu a filtrát odtéká odtokem umístěným uvnitř bubnu. Z vnější strany bubnu je umístěno stírací zařízení, které odvádí odvodněný kal [4].

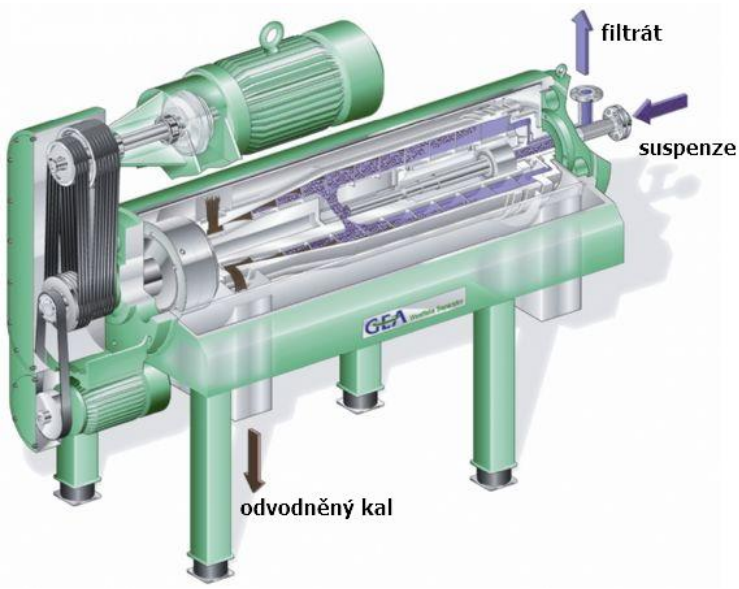
Obr. 32: Sítopásový lis [50]



Obr. 33: Kalolis [69]



Obr. 34: Šneková odstředivka [70]



Obr. 35: Vakuový filtr [71]

Při použití těchto zařízení se pro účinnější snížení podílu vody do kalu často přidávají různá chemická činidla, která podporují srážení, nebo flokulaci. Použití těchto činidel je u některých zařízení nutné, u jiných doporučené, nebo zbytečné.

4.1.2. Aerobní stabilizace kalu

Aerobní stabilizace kalu je v porovnání s anaerobní stabilizací mnohem méně používaná. Klasická aerobní stabilizace spočívá ve vhánění vzduchu do stabilizační nádrže za běžných teplot okolo 20°C. Oxidovatelné látky v kalu se oxidují a dochází k tzv. mineralizaci kalu [38]. Zejména z důvodu energetických výdajů na provoz dmychadel a kvůli tomu, že nevzniká zdroj energie, jako v případě anaerobní stabilizace se tato metoda příliš nepoužívá.

Jedinou více užívanou aerobní metodou je tzv. aerobní termofilní stabilizace. Metoda je založena na exotermním aerobním rozkladu. Aerobní mikroorganismy při rozkladu látek v kalu vyvíjejí značné množství tepla. Toto teplo ohřívá kal v provzdušňované nádrži a způsobuje úhyn choroboplodných, patogenních a dalších mikroorganismů a napomáhá tak k hygienizaci kalu. Teplota směsi se pohybuje kolem 50-60°C. Doba zdržení je kratší než v anaerobních reaktorech. Nejčastěji bývá asi 10 dnů [38].

Termofilní reaktory se vyplatí budovat v menších až středně velkých ČOV. Odpadá nutnost zřizování plynového hospodářství a sníží se náklady na hygienizaci kalu, ale je nutno počítat s výdaji na provzdušňování reaktoru.

4.2. Metody zpracování kalu

Jedná se o procesy, které předcházejí samotné stabilizaci, nebo ji následují. Jejich účelem je eliminovat co nejvíce bakterií a vytvořit z kalu nezávadnou odpadní látku, kterou lze dále používat bez jakéhokoliv omezení a ekologických nebo zdravotních rizik. Patří sem zejména:

- Separace: rozdělování složek kalu podle chemických, fyzikálních a dalších vlastností, (např. recyklovatelnost).
- Kondicionace: zpracování kalu chemickými, fyzikálními nebo jinými pochody (např. přidání flokulačního činidla).
- Zahuštění a odvodnění.
- Hygienizace: buď je součástí stabilizační technologie (aerobní termofilní stabilizace), nebo probíhá odděleně.
- Desintegrace.

4.3. Možnosti využití kalu

Stabilizovaný, hygienicky a zdravotně nezávadný kal lze dále využít. I přes to, že byl kal cíleně rozkládán v reaktorech ČOV, stále ještě obsahuje nerozložené látky a minerály, které mohou být dále využity v přírodě. Proto je nejlepším možným způsobem využití kalu jeho kompostování nebo hnojení zemědělské půdy.

Další možností je kal spalovat. Spalování je nejúčinnější hygienizační metoda v případě silně toxických a nebezpečných kalů. Kal lze také spalovat v cementárenských pecích a může se zapracovat do cementu, nebo se kal využívá jako palivo a zdroj energie při spalování s jiným palivem.

Stabilizovaný kal lze použít při terénních úpravách nebo kultivačních pracích. Nenajde-li kal využití a z nějakého důvodu jej nelze spálit, nezbývá než ho skládkovat. Skládkování by měla být až poslední a nejzazší možnost. Skládkovaný kal by měl být co nejvíce inertní [2].

5. Základy biologického čištění

5.1. Biologická rozložitelnost

Porovnáním BSK_5 a TSK (viz 1.3.) lze rozdělit látky podle jejich biologické rozložitelnosti. Snadno rozložitelné látky mají $BSK_5 / TSK = (0{,}4 \div 0{,}2)$. Nižší nenulové hodnoty znamenají, že látka je buď obtížně rozložitelná, nebo byla použita kultura, která se nestihla přizpůsobit. Nulové, nebo zanedbatelné hodnoty signalizují látku biologicky nerozložitelnou. Důležitým údajem je mimo posouzení, zda vůbec, také za jak dlouho bude látka rozložena. K tomu slouží specifická rychlost odstraňování, která je kromě látky samotné také závislá na samotné biokultuře; zejména na jejím stáří a adaptaci [4].

Jednotkou specifické rychlosti r_x je $[\mathrm{mg} \cdot \mathrm{g}^{-1} \cdot \mathrm{h}^{-1}]$, lze ji vyjádřit vztahem:

$$r_x = \frac{S_0 - S_1}{t \cdot \psi} \tag{8}$$

kde $S_0 - S_1$ je změna koncentrace látky v OV $[\mathrm{mg} \cdot \mathrm{l}^{-1}]$, t je doba rozkladu [h] a ψ je koncentrace biokultury $[\mathrm{g} \cdot \mathrm{l}^{-1}]$ [39].

Podle r_x lze látky dělit na:

Velice snadno rozložitelné: $r_x > 50\ \mathrm{mg} \cdot \mathrm{g}^{-1} \cdot \mathrm{h}^{-1}$

Pomaleji rozložitelné: $r_x = 15 \div 50\ \mathrm{mg} \cdot \mathrm{g}^{-1} \cdot \mathrm{h}^{-1}$

Obtížně rozložitelné: $r_x < 15\ \mathrm{mg} \cdot \mathrm{g}^{-1} \cdot \mathrm{h}^{-1}$

Mezi snadno rozložitelné patří látky, které jsou přímo využívány v buňkách bez nutnosti chemických reakcí. Jsou to jednoduché cukry, kyseliny, alkoholy. Jejich podíl v OV bývá asi 15-20%. Pomaleji rozložitelné látky musí být bakteriemi nejprve upraveny, pomocí extracelulární hydrolýzy, což je enzymatické štěpení. Štěpící enzym se nazývá hydroláza. Výsledkem štěpení jsou snadno rozložitelné látky. Pomaleji rozložitelné látky mají v OV většinový podíl asi 70%. Obtížně rozložitelné látky jsou buď zcela inertní, nebo podléhají rozkladu příliš pomalu. Řadí se k nim i nerozložitelné produkty enzymatických reakcí. Jsou-li nerozpuštěné, zachytávají se většinou v dosazovacích nádržích. Rozpuštěné opouštějí čistírnu a jsou tak složkou zbytkového znečištění [2].

5.2. Kolonie mikroorganismů, kultivace

Základním požadavkem pro úspěšný provoz biologického stupně je zajištění vhodného prostředí pro udržení a množení mikroorganismů v tzv. inokulu (polykultuře). Odpadní voda je prostředím, ve kterém mikroorganismy žijí a berou si z něj živiny. Energii získanou látkovou přeměnou využívají k tvorbě nových buněk, nebo ji ukládají vytvářením zásobních látek. Pro syntézu nových buněk potřebují mikroorganismy tzv. biogenní prvky (C, H, O, N, S, aj.) [4]. V případě, že voda některé z nich neobsahuje v dostatečném množství, je nutno chybějící prvky uměle dodávat.

Látkové přeměny, které jsou zdrojem energie, mají oxidačně – redukční charakter. Látka, která přijímá elektrony (akceptor), tvoří kultivační prostředí (podmínky). Za oxických podmínek je akceptorem molekulární kyslík, ten je redukován a vázán do molekuly vody. V anoxických podmínkách přijímá elektron dusičnanový nebo dusitanový iont a redukuje se až na plynný dusík. Anaerobní prostředí neobsahuje molekulární kyslík, ani ionty dusíku, akceptorem je organická látka. Charakter kultivačního prostředí lze posoudit tzv. oxidačně – redukčním potenciálem (ORP) – viz tab.3 [2].

Tabulka 3: Kultivační podmínky

Prostředí	akceptor e^-	ORP
oxické	O_2	$\mathrm{ORP} > +50\ \mathrm{mV}$
anoxické	N^{+3}, N^{+5}	$-50 < \mathrm{ORP} < +50$
anaerobní	organická látka	$\mathrm{ORP} < -50\ \mathrm{mV}$

Určité typy bakterií, které jsou potřebné pro odstranění specifického znečištění, nemohou získávat energii v pro ně nevhodném kultivačním prostředí. Proto bývá zajištěno, aby voda prošla několika kultivačními prostředími se specifickým osídlením za sebou (viz Obr. 25).

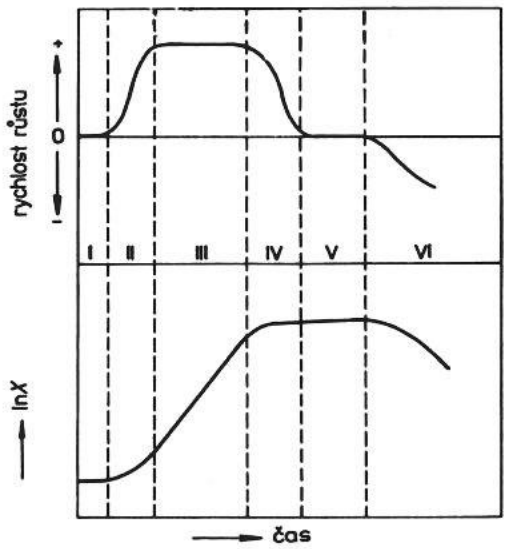
Jsou-li mikroorganismy delší dobu v substrátu s vhodnými vlastnostmi, dojde k jejich růstu nebo množení. Zatímco růst je pouze zvětšování buněčné hmoty, pří množení dochází ke zvětšování počtu buněk jejich dělením. Hlavním faktorem, který určuje, zda bude probíhat dělení a růst je bezrozměrný podíl koncentrace substrátu S_0 a inokulaX_0:

$$\varepsilon = \frac{S_0}{X_0} \tag{9}$$

Obě koncentrace jsou v $[\mathrm{kg/m^3}]$. Dosahuje-li ε vysokých hodnot (10-100), bude míra množení a růstu vysoká, jsou-li hodnoty malé (0,01-1), bude docházet k velice mírnému množení a růstu, nebo k poklesu koncentrace inokula. Pro běžné městské OV je ε asi 0,1. K významnému množení tak nedochází. Poměr mezi množením a růstem je u každého mikroorganismu v inokulu jiný. Zatímco některé mikroorganismy dokážou před samotným množením zvětšit svoji hmotnost až několikanásobně, jiné se množí bez předchozího růstu [4].

Pokud dochází k růstu a množení inokula, probíhá podle tzv. růstové křivky (Obr. 36), která popisuje koncentraci inokula X při jeho přenesení do nového prostředí v závislosti na času.

Obr. 36: Růstová křivka [33]



Je patrno, že křivka má několik fází:

- I Lagová fáze. Rychlost množení je nulová. Bakterie nejsou adaptovány na substrát.
- II Zrychlený růst. Bakterie se adaptovaly, dochází k růstu a množení.
- III Exponenciální růst. Rychlost růstu je nejvyšší a konstantní. Fáze trvá do poklesu koncentrace substrátu.
- IV Zpomalený růst. Klesá rychlost růstu.
- V Stacionární fáze. Zastavení růstu. Veškeré živiny v substrátu jsou využívány.
- VI Fáze poklesu. Kvůli nedostatku živin získává inokulum energii ze zásob v buňkách.

Doba trvání jednotlivých fází závisí na vlastnostech prostředí a na vlastnostech inokula; zejména na jeho adaptibilitě [4].

Růstová křivka je stěžejní při tzv. vsádkovém čištění OV. Vsádkový režim čištění spočívá v zadržení OV v nádrži – bioreaktoru, do které se přidá předpřipravená vsádka biokultury. Následně se nechá voda v nádrži stát. Kultura se adaptuje podle růstové křivky a

voda je čištěna. V ČOV se tento způsob používá pouze výjimečně k odstranění specifického znečištění, samotné biologické stupně jsou navrhovány pro chod v kontinuálním režimu.

5.3. Aktivace

V ČOV probíhá biologické čištění prostřednictvím tzv. aktivačního procesu neboli aktivace. Jedná se o aerobní rozklad biologicky rozložitelného znečištění s aktivovaným kalem ve vznosu. Probíhá ve dvou zařízeních – aktivační nádrži a v za ní následující dosazovací nádrži. Aktivace je kontinuální proces, kdy je tzv. aktivační směs přiváděna do aktivační nádrže, což je provzdušňovaný bioreaktor, ve kterém dochází k aerobnímu rozkladu polutantů na produkty metabolických drah mikroorganismů v inokulu. Aktivační směs je označení pro směs OV přitékající z primárního úseku čištění a vratného aktivovaného kalu.

Vratný aktivovaný kal je sediment usazený v dosazovací nádrži, který byl zregenerován a je cíleně vpouštěný zpět do OV na vtoku do aktivační nádrže. Tento zdánlivě nelogický krok je základním principem aktivace. V počátečních fázích vývoje biologického čištění se angličtí a američtí inženýři potýkali s problémem nedostatečné rychlosti biologického čištění OV. Změny kultivačních podmínek nevedly k významnějšímu urychlení čistícího procesu. Inženýři ale pozorovali, že mikroorganismy se za určitých podmínek mají tendenci shlukovat do větších celků – vloček. Toto shlukování se dnes nazývá bioflokulace, nebo prostě flokulace. Bioflokulace je způsobena poklesem povrchového náboje buněk vlivem látek, produkovaných zejména ve stacionární fázi a fázi poklesu (fáze V a VI Obr. 36). Pokles náboje umožní, aby se buňky mikroorganismů spojovaly za pohybu. Takto vytvořené vločky jsou usaditelné (viz. 3.2.5.1.). Zprvu se sediment tvořený těmito vločkami bez využití vypouštěl spolu s čištěnou vodou. Až na počátku první světové války inženýři zjistili, že vrátí-li se sedimentované vločky zpět do aktivační nádrže, dojde k razantnímu poklesu doby potřebné k čištění. Tato časová úspora biologického čištění ze dnů na hodiny byla zcela zásadní pro projektování nových ČOV jako mechanicko-biologických. Mechanicko-biologický přístup k čištění přetrvává i v současnosti [40].

5.4. Bioflokulace

K tomu, aby se mohly mikroorganismy spojovat do vloček, musí vytvořit kolem svých buněk vláknitý obal – tzv. glykokalix. Stavebním materiálem glykokalixu jsou zejména polysacharidy, které vytvářejí řetězce, obalují buňku a snižují její povrchový náboj. Vznik vloček není pro čištění OV nutný, ale je nutný k tomu, aby bylo možno odvést aktivovaný kal z dosazovací nádrže, vrátit jej zpět do aktivační nádrže a tak významně zkrátit dobu čištění. Vzhledem k usaditelnosti vloček je voda na výtoku z dosazovací nádrže čirá [4].

Protikladem k vločkovitému charakteru aktivovaného kalu je, když kal není usaditelný a zůstává rozptýlen v prostoru. Takový kal se označuje za dispergovaný. Disperzní způsob tvorby kalu znemožňuje odtah aktivovaného kalu z dosazovací nádrže a následnou aktivaci. Voda je zakalená a vykazuje vyšší hodnoty BSK. Nejčastější příčinou disperze kalu je buď skoková změna vlastností OV, nebo že se inokulum nachází v jiných oblastech růstové křivky – zejména jedná-li se o novou polykulturu [4].

Obecně se dá říct, že jakýkoliv kal je tvořen z části flokulujícím a z částí dispergovaným kalem. Změna podmínek mění poměr mezi oběma částmi. Žádaným stavem je, aby v aktivační nádrži byly takové podmínky, které sníží podíl dispergované části na minimum.

5.5. Kalový index

Pro stanovení kvality sedimentace zahušťování kalu se používá tzv. kalový index (KI), někdy zvaný Mohlmanův index; anglicky sludge volume index (SVI). Kalový index lze stanovit ze vztahu:

$$\mathrm{KI} = \frac{V_{30}}{X_S} \tag{10}$$

kde V_{30} je objem usazeného kalu v odměrném válci za dobu 30 minut vztažený na objem měřeného vzorku. Jednotkou je $[\mathrm{ml} \cdot \mathrm{l}^{-1}]$ a X_S je hmotnost sušiny kalu rovněž vztažená na měřený objem v $[\mathrm{g} \cdot \mathrm{l}^{-1}]$. Jednotkou kalového indexu je tak $[\mathrm{ml} \cdot \mathrm{g}^{-1}]$. Kalový index je převrácená hodnota hustoty, neboli měrný objem usazeného kalu [41].

Podle hodnoty kalového indexu lze provést dělení aktivovaného kalu na:

- Normální: $\mathrm{KI} < 100\ \mathrm{ml} \cdot \mathrm{g}^{-1}$
- Lehký: $100 < \mathrm{KI} < 200$
- Zbytnělý: $\mathrm{KI} > 200\ \mathrm{ml} \cdot \mathrm{g}^{-1}$

Zbytnělý aktivovaný kal je způsoben přemnožením tzv. vláknitých mikroorganismů na úkor nevláknitých neboli vločkotvorných. Sedimentace probíhá velice pomalu a větší množství kalu je dispergováno. Průvodním jevem zbytnělého kalu je vznik pěny. Hlavními příčinami zvýšeného podílu vláknitých mikroorganismů v OV je složení vody, koncentrace rozpuštěného kyslíku a koncentrace rozpuštěného substrátu [4].

Opatření proti bytnění kalu mohou spočívat v ovlivňování zmíněných příčin nebo v přidávání chemického činidla do OV. Činidlo musí být použito ve správné koncentraci. Svou přítomností ve vodě narušuje činidlo povrch všech mikroorganismů. V případě vločkovitého kalu dochází k poškození povrchové vrstvy vloček, zatímco vláknité mikroorganismy jsou poškozeny ve větší míře a umírají. Nejekologičtějším řešením je použití peroxidu vodíku, jelikož nevnáší do procesu další polutanty. Vzhledem k vyšší ceně peroxidu se používá chlor, kvůli kterému však vznikají sloučeniny chloru a přídavné znečištění. Při aplikaci jakéhokoliv činidla je nutno počítat se zpomalením nitrifikačních procesů v inokulu, jelikož se nitrifikační bakterie vyskytují při povrchu vloček [4].

Velmi účinným způsobem, který zabraňuje nadměrnému množení vláknitých mikroorganismů, je použití tzv. selektoru. Selektor využívá průběhu Monodovy funkce, která popisuje princip kinetické selekce v inokulu. Kinetická selekce využívá rozdílu rychlosti využití substrátu u vláknitých a nevláknitých mikroorganismů. Podle Monodova kinetického modelu platí pro růstovou rychlost mikroorganismů vztah:

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S} \tag{11}$$

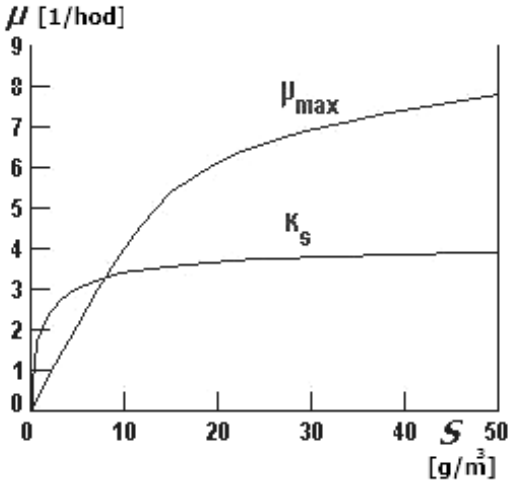
μ je růstová rychlost [1/hod], $\mu_{\max}$ maximální růstová rychlost [1/hod], S koncentrace substrátu [g/m^3] a K_S je saturační konstanta [mg/l]. Rozlišují se dvě strategie růstu:

- K_S strategie znamená, že mikroorganismus má nízkou hodnotu saturační konstanty.
- $\mu_{\max}$ strategie charakterizuje mikroorganismy s vysokou hodnotou maximální růstové rychlosti.

Typický průběh růstové rychlosti v závislosti na koncentraci substrátu u obou strategií je zachycen na Obr. 37. Většina vláknitých mikroorganismů patří mezi K_S stratégy, zatímco vločkotvorné mikroorganismy se řídí strategií $\mu_{\max}$. Je patrné, že bude-li koncentrace substrátu vlevo od průsečíku obou křivek, budou rychleji růst vláknité mikroorganismy, bude-li koncentrace substrátu vyšší, pak budou vykazovat vyšší růst vločkotvorné mikroorganismy [2].

Některé vločkotvorné mikroorganismy jsou schopny, na rozdíl od vláknitých, do svých buněk rychle uložit energii ze substrátu ve větší míře než v daný okamžik potřebují. Z těchto látek poté přežívají delší dobu v porovnání s mikroorganismy bez této schopnosti. Tato schopnost je velice důležitá, jelikož využití samotné Monodovy kinetiky pro vyloučení vláknitých organismů z aktivace nestačí [2].

Obr. 37: Ks/μ_{max} strategie [56]



Selektor je umístěn na přítoku do aktivační nádrže, jedná se o úsek nádrže, nebo samostatnou nádrž, ve které je uměle navýšena koncentrace substrátu za vzniku koncentračního gradientu. V souladu s výše uvedeným zde budou dominovat vločkotvorné mikroorganismy. V částech aktivační nádrže za selektorem již nedojde k přemnožení vláknitých bakterií, jelikož vláknité bakterie jsou na odtoku ze selektoru vůči vločkovitým v značné menšině. Podmínkou pro správnou činnost selektoru je, aby bakterie do něj přiváděné ve formě aktivovaného kalu prošly regeneračním zařízením. Není-li tomu tak, nevyužijí vločkotvorné bakterie v aktivovaném kalu plně svou schopnost kumulovat živiny a vláknité bakterie zvýší svůj podíl ve vodě díky vyšším hodnotám specifické rychlosti odstraňování r_x [4].

Není-li aktivační nádrži předřazen selektor, plní jeho funkci tzv. kontaktní zóna, což je labyrint sloužící pro vytvoření koncentračního gradientu (viz Obr. 25).

Princip kinetické selekce se často kombinuje s principem metabolické selekce, kdy je aktivační nádrž rozčleněna na úseky s rozdílnými kultivačními podmínkami. Tyto úseky jsou za sebe řazeny tak, aby dávaly v konkurenčním boji výhodu vločkotvorným bakteriím.

I přes to, že se množství vláknitých bakterií cíleně snižuje, nesmí dojít k jejich úplnému vyhubení v inokulu. Neobsahuje-li kal vláknité bakterie, dochází k jeho deflokulaci [2].

5.6. Anaerobní procesy

Jedná se o rozkladné procesy, které probíhají za nepřístupu vzduchu. Využívají se pro stabilizaci kalu v kalovém hospodářství, ale někdy také při čištění OV (viz kap. 3.3.3.2.). Anaerobní bakterie rozkládají složitější látky na jednodušší a získávají tak energii. Rozlišují se čtyři fáze anaerobního rozkladu (neboli metanizace):

- Hydrolýza: enzymatické štěpení organických látek zejména fermentačními bakteriemi.
- Acidogeneze: rozklad enzymů hydrolýzy na snadno rozložitelné kyseliny a alkoholy.
- Acetogeneze: oxidace snadno rozložitelných látek na vodík (H_2), oxid uhličitý (CO_2) a kyselinu octovou (CH_3COOH).
- Metanogeneze: metanogenní bakterie rozkládají snadno rozložitelné látky, vodík, oxid uhličitý, organické kyseliny (octovou, aj.) na metan a další produkty (např. H_2O, nebo CO_2) [4].

Zatímco při aerobních pochodech je asi 60% energie získané chemickými přeměnami spotřebováno na syntézu nových buněk, nebo uloženo do buněk ve formě zásobních látek a 40% energie přeměněno na teplo; využívají anaerobní mikroorganismy při anaerobních procesech velice malý podíl energie. Pouze asi 7% celkového množství energie je použito na syntézu biomasy, 3% se přemění na teplo a 90% je uloženo ve vznikajícím plynu – tzv. bioplynu, což je směs zejména metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2) [4].

Hlavním přínosem metanizace je možnost rozložit biologicky rozložitelné látky za vývinu bioplynu, který obsahuje velké množství uložené energie. Bioplyn se jímá a následně spaluje. Používá se tak k výrobě tepla a elektřiny.

Anaerobní procesy probíhají za nepřístupu vzduchu, proto do reaktoru není třeba umísťovat aerátory a ušetří se tak energie potřebná na provoz dmychadla. Produkce nové biomasy nedosahuje takové míry jako při aerobním rozkladu. Koncentrace biomasy není závislá na obsahu rozpuštěného kyslíku, ale pouze na přísunu a koncentraci živin v OV. Anaerobní metabolismus je pomalejší, než aerobní. To má za následek pomalejší čištění OV, delší doby zdržení a prostoje. Účinnost anaerobního čištění je nižší, než při aerobním čištění. Bakterie jsou velice citlivé na životní podmínky a vykazují nízkou adaptabilitu k měnícímu se prostředí [4].

Přestože v anaerobních reaktorech nejsou umístěny aerátory, je nutno zajistit homogenitu substrátu a homogenitu teploty míchadly. Anaerobní procesy jsou citlivé na teplotu. Při teplotě nižší, než 6°C metanizace neprobíhá. Teplota má významný vliv na intenzitu anaerobního rozkladu a tudíž na dobu zdržení potřebnou k dosažení žádané účinnosti.

Dle teploty t a na ní závislé době zdržení τ se rozlišuje metanizace [37]:

- Kryofilní: $t < 20°C$ $\tau \doteq 1{,}5 \div 3$ měsíce
- Mezofilní: $27°C < t < 37°C$ $\tau \doteq 20 \div 30$ dnů
- Termofilní: $t > 45°C$ $\tau \doteq 15$ dnů

Uvedené hodnoty jsou orientační. Obecně platí, že s vyšší teplotou se snižuje doba zdržení, zároveň ale stoupá citlivost biomasy na změnu kultivačních podmínek. V současnosti je nejvíce využíván mezofilní režim metanizace.

6. Experimentální stanovení oxygenační kapacity

6.1. Cíl měření

Cílem experimentu bylo stanovit objemový součinitel prostupu hmoty ($k_L a$), ze kterého se vypočítá oxygenační kapacita (OC) a účinnost přestupu kyslíku (E_a) aeračního elementu.

6.2. Popis měřícího zařízení

Měření bylo provedeno na aerační koloně (Obr. 38). Kolona se skládá z válcové trubice, s přívodem kapaliny a aeračním elementem z děrovaného plechu na dně (Obr. 39). Do kolony je přiváděn vzduch z kompresoru. Množství přiváděného vzduchu lze nastavit pomocí plovákového průtokoměru. Objem proteklého vzduchu lze zjistit z počátečního a koncového stavu analogového plynoměru. Pro vypuzení již rozpuštěného kyslíku z vody byl použit plynný dusík přiváděný do kolony z plynové lahve.

Do vnitřního prostoru kolony je zavedena měřící sonda napojená na zaznamenávací zařízení, která měří okamžitý stav koncentrace ve vodě rozpuštěného kyslíku a teplotu vody v koloně. Použitá sonda je membránová s fluorescenčním barvivem.

Obr. 38: Aerační kolona [44]

6.3. Postup měření

1) Napustit kolonu vodou.
2) Vypudit kyslík, který obsahuje napuštěná voda plynným dusíkem.
3) Uzavřít přívod plynného dusíku.
4) Odečíst počáteční stav plynoměru.
5) Otevřít přívod vzduchu z kompresoru.
6) Na plovákovém průtokoměru nastavit požadovanou hodnotu průtoku vzduchu Q.
7) Spustit měření a záznam dat.
8) Po uplynutí zvolené doby měření a záznamu uzavřít přívod vzduchu z kompresoru.
9) Odečíst koncový stav plynoměru
10) Opakovat krok 2-9 podle zvoleného počtu měření.
11) Vypustit vodu z kolony.

Obr. 39: Aerační element

6.4. Použité přístroje

- Plovákový průtokoměr ABB:FAG1190 (0,4-5,2 m^3/hod)
- Měřící sonda WTW FDO 925-3
- Zapisovací přístroj WTW Multi3410
- Teploměr GREISINGER GTH 175/Pt
  s teplotním čidlem GREISINGER GTF 175 Pt1000
- Plynoměr BK-G4

Pozn.: Veškeré hodnoty zaznamenané zapisovacím přístrojem WTW Multi3410 jsou uvedené na CD, které je přiloženo k této práci. Doba měření Δt byla nastavena na 5 minut (300 sekund), krok záznamu na 1 sekundu.

6.5. Teoretický základ

Hmotnostní tok kyslíku přestupujícího mezi fázemi voda-vzduch lze vyjádřit vztahem:

$$\dot{m}_{O2} = \frac{\mathrm{d}m_{O2}}{\mathrm{d}t} = k_L \cdot S \cdot (c_L^* - c_L) \tag{12}$$

$\dot{m}_{O2}$ je hmotnostní tok [kg/h] kyslíku, k_L je součinitel prostupu hmoty [m/h], S je mezifázový povrch [m^2], c_L^* je hmotnostně-objemová rovnovážná koncentrace [kg/m^3] O_2 v kapalině odpovídající koncentraci O_2 v plynu a c_L je hmotnostně-objemová koncentrace [kg/m^3] O_2 v kapalině.

Vzhledem k tomu, že stanovení mezifázového povrchu je v praxi obtížné, upraví se vztah (12) na:

$$\frac{\mathrm{d}m_{O2}}{\mathrm{d}t} \cdot \frac{1}{V_L} = k_L \cdot S \cdot (c_L^* - c_L) \cdot \frac{1}{V_L} \tag{13}$$

kde V_L je objem kapalné fáze. Vztah (13) lze dále přepsat na tvar:

$$\frac{\mathrm{d}c_L}{\mathrm{d}t} = k_L \cdot a \cdot (c_L^* - c_L) \tag{14}$$

Podíl plochy a objemu kapaliny se značí písmenem a a nazývá se měrný mezifázový povrch. Jednotkou je m^2/m^3. Kvůli obtížnému stanovení měrného mezifázového povrchu a se vyhodnocuje součin $k_L a$, který se nazývá objemový součinitel prostupu hmoty [h^{-1}]. Ze vztahu (14) se dá pro bezrozměrnou koncentraci c^+ odvodit vztah:

$$c^+ = \frac{c_L^* - c_L(t)}{c_L^* - c_{L0}} = \exp(-k_L \cdot a \cdot t) \tag{15}$$

kde c_{L0} je počáteční koncentrace v čase $t = 0$. Tento vztah platí za předpokladu, že koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vsádce nezávisí na prostorových souřadnicích. Předpokládá se, že je všude v koloně stejná. Dále se zanedbává změna koncentrace kyslíku v bublinách vzduchu při přestupu kyslíku z bubliny do vody.

Pro výpočet rovnovážné hmotnostně-objemové koncentrace c_L^* odpovídající koncentraci O_2 v plynu y_{O2} platí podle Henryho zákona:

$$c_L^* = \frac{m_{O2}}{V_{H2O}} = \frac{M_{O2}}{M_{H2O}} \cdot \rho_{H2O}(T) \cdot x_{O2} = \frac{M_{O2}}{M_{H2O}} \cdot \rho_{H2O}(T) \cdot \frac{y_{O2} \cdot p}{H_{O2}(T)} \tag{16}$$

kde M_{O2} značí molární hmotnost kyslíku, M_{H2O} molární hmotnost vody, $\rho_{H2O}(T)$ je hustota vody, která závisí na teplotě, x_{O2} molární zlomek kyslíku ve vodě, y_{O2} je molární koncentrace kyslíku ve vzduchu, p je tlak vzduchu na vstupu do kolony a $H_{O2}(T)$ je Henryho konstanta závislá na teplotě.

Oxygenační kapacita (OC) je definována jako hmotnost kyslíku, kterou dodá zařízení do jednotkového objemu aktivační směsi za jednotku času (viz kap. 3.3.1.1.) při nulové počáteční koncentraci rozpuštěného kyslíku ve vodě (tj. $c_L = 0$), kdy je rychlost absorbce nejvyšší. Proto pro oxygenační kapacitu platí:

$$OC = \frac{dc_L}{dt} = k_L \cdot a \cdot c_L^* \tag{17}$$

OC lze stanovit dvěma způsoby:

- Z definice *OC*, tzn. měřit v časovém intervalu hmotnost rozpuštěného kyslíku, za předpokladu, že rozpuštěný kyslík bude spotřebováván, aby byla zachována nulová koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě a tak maximální rychlost absorbce O_2. Ke spotřebovávání kyslíku se používá např. chemické činidlo siřičitan sodný Na_2SO_3.
- Stanovit objemový součinitel k_La, rovnovážnou koncentraci c_L^* a z nich stanovit *OC*.

Jelikož *OC* je veličina závislá na teplotě, standardizuje se *OC* na teplotu 20°C, někdy na 10°C. V tomto experimentu bude *OC* standardizována na 20°C Pro přepočet *OC* měřené za jiné teploty na *OC* při dvaceti stupních se používá korekční teplotní koeficient:

$$f_{OC20} = \frac{(OC)_{20}}{(OC)_T} \tag{18}$$

kde $(OC)_{20}$ je oxygenační kapacita při 20°C a $(OC)_T$ oxygenační kapacita při jiné teplotě.

Hodnoty koeficientu f_{OC20} se stanovují empiricky a lze je dohledat v odborné literatuře. Pro přepočet budou v tomto případě použity hodnoty z tabulky 4.

Tabulka 4: Hodnoty teplotního koeficientu v závislosti na teplotě podle [42], *převzato z* [43]

T (°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18
f (-)	0,977	0,980	0,983	0,985	0,988	0,990	0,993	0,994	0,997
T (°C)	19	20	21	22	23	24	25	26	27
f (-)	0,999	1,000	1,002	1,004	1,005	1,007	1,009	1,010	1,011

Oxygenační kapacita bude v tomto experimentu stanovena pro vodu z vodovodu, která má vyšší hodnoty objemového součinitele prostupu hmoty a vyšší hodnoty rovnovážné koncentrace c_L^*, než odpadní voda.

Pro přepočet na oxygenační kapacitu odpadní vody se provádí další přepočty podle opravných koeficientů α a β, které jsou definovány jako:

$$\alpha = \frac{(k_La)_{ov}}{(k_La)_{vv}} \tag{19}$$

$$\beta = \frac{(c_L^*)_{ov}}{(c_L^*)_{vv}} \tag{20}$$

Index ov znační odpadní vodu, vv vodu z vodovodu. Pro běžné případy OV platí pro koeficienty: $\alpha = (0{,}7 \div 0{,}9)$ a $\beta = (0{,}95 \div 1)$.

Množství kyslíku, které se rozpustí ve vodě a množství kyslíku, které dodávají aerační elementy do nádrže/kolony se liší. Proto se definuje veličina nazývaná účinnost přestupu kyslíku E_a, pro kterou platí:

$$E_a = \frac{OC}{\dot{m}_{O2VZ}/V_L} \tag{21}$$

kde $\dot{m}_{O2VZ}$ je hmotnostní tok kyslíku, který protéká kolonou jakožto složka protékajícího vzduchu, V_L je objem kapaliny v koloně.

Účinnost přestupu kyslíku E_a se často vztahuje na hloubku ponoření a vyhodnocuje se podíl E_a/H_a, kde H_a je hloubka ponoru.

Vztah (15) lze transformovat na:

$$\ln c^{+} = \ln \frac{c_L^* - c_L(t)}{c_L^* - c_{L0}} = -k_L a \cdot t \tag{22}$$

Objemový součinitel prostupu hmoty $k_L a$ se stanoví pomocí lineární regrese množiny bodů zobrazené v semilogaritmických souřadnicích. Pro vyhodnocení je nutné znát čas a jemu odpovídající hodnotu $c_L(t)$, kterou ve zvolených krocích zaznamenává zařízení připojené na sondu. Okrajové oblasti průběhů, kdy dochází k počátečnímu zpoždění systému a koncové saturaci se vyloučí [44].

6.6. Výsledky měření

Vlastnosti okolí a aparatury

průměr kolony: $d = 150$ mm

kolona naplněna do výšky: $H_{L0} = 1250$ mm

objem vody v koloně: $V_L = 22{,}09$ dm^3

počáteční teplota vody v koloně: $T = 24{,}8$ °C (teplota se lehce měnila v průběhu měření, proto se rovnovážné koncentrace v jednotlivých měřeních mírně odlišují)

Měření č. 1.

Nastavený průtok vzduchu: 20 mm výšky plovákového průtokoměru

Výška hladiny bez aerace: H_{L0}=1250 mm

Výška hladiny při aeraci: $H_{G+L} = 1340$ mm

Zádrž: $Z = (H_{G+L} - H_{L0})/H_{L0} = (1340 - 1250)/1250 = 0{,}072$

Objem vzduchu v koloně:

$V_{VZK} = \pi \cdot r^2 \cdot (H_{G+L} - H_{L0}) = \pi \cdot 75^2 \cdot (1340 - 1250) = 1590431\ \mathrm{mm}^3 = 1{,}59\ \mathrm{dm}^3$

Počáteční stav plynoměru: $pp = 0{,}492\ \mathrm{m}^3$

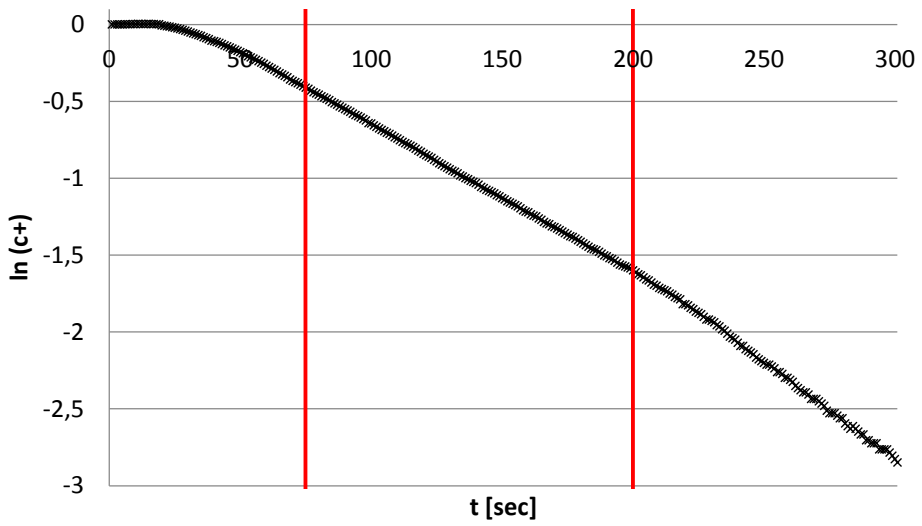
Koncový stav plynoměru: $pk = 0{,}536\ \mathrm{m}^3$

Celkový objem dodaného vzduchu: $V_{VZ} = pk - pp = 0{,}536 - 0{,}492 = 0{,}044\ \mathrm{m}^3 = 44\ \mathrm{dm}^3$

Průtok vzduchu kolonou: $Q = V_{VZ}/\Delta t = 44/5 = 8{,}8\ \mathrm{dm}^3/\mathrm{min} = 0{,}528\mathrm{m}^3/\mathrm{h}$

Hmotnostní tok vzduchu kolonou: $\dot{m}_{vz} = Q \cdot \rho_{VZ}(25°\mathrm{C}) = 0{,}528 \cdot 1{,}181 = 0{,}624\ \mathrm{kg/h}$

Graf 1: Závislost $\ln c^+(t)$ *s vyznačenou oblastí, která bude použita pro vyhodnocení - měření č. 1*



Počet bodů ve zvolené oblasti: $N = 200 - 75 = 125$

Výsledek lineární regrese: $y = -0{,}0096 \cdot x + 0{,}309$

Směrodatná odchylka s_A bude stanovena ze vztahu:

$$s_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Y_i - \overline{Y})^2 - B^2 \cdot \sum_{i=1}^{N}(X_i - \overline{X})^2}{N - 2}} \tag{23}$$

kde Y_i jsou hodnoty logaritmů bezrozměrných koncentrací, $\overline{Y}$ je aritmetický průměr hodnot logaritmů bezrozměrných koncentrací, B je směrnice aproximační přímky, X_i jsou hodnoty časů, $\overline{X}$ je aritmetický průměr časů a N je počet naměřených údajů.

$s_A = 0{,}02403$

Pro stanovení meze přesnosti mez lineární aproximace bude použita tabulková hodnota koeficientu $t_{(N-1),\alpha}$ Studentova rozdělení pro zvolenou hladinu významnosti $\alpha = 0{,}05$ a počet měření N. Hladina pravděpodobnosti je tak 95%.

$mez = s_A \cdot t_{(N-1),\alpha} = 0{,}02403 \cdot 1{,}9799 = 0{,}04758$

Počet bodů ležící mimo toleranční oblast aproximační hodnoty a pásma *mez*: $n = 0$

Procento bodů mimo toleranční oblast: $pr = n/N = 0/110 = 0$

Objemový součinitel prostupu hmoty ze vztahu (22):

$k_L a = 0{,}0096\ \mathrm{sec} = 34{,}56\ \mathrm{h}^{-1}$

Oxygenační kapacita:

$(OC)_T = k_L \cdot a \cdot (c_L^*)_T = 34{,}56 \cdot 8{,}47 = 292{,}72\ \mathrm{g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}} = 7{,}03\ \mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}}$

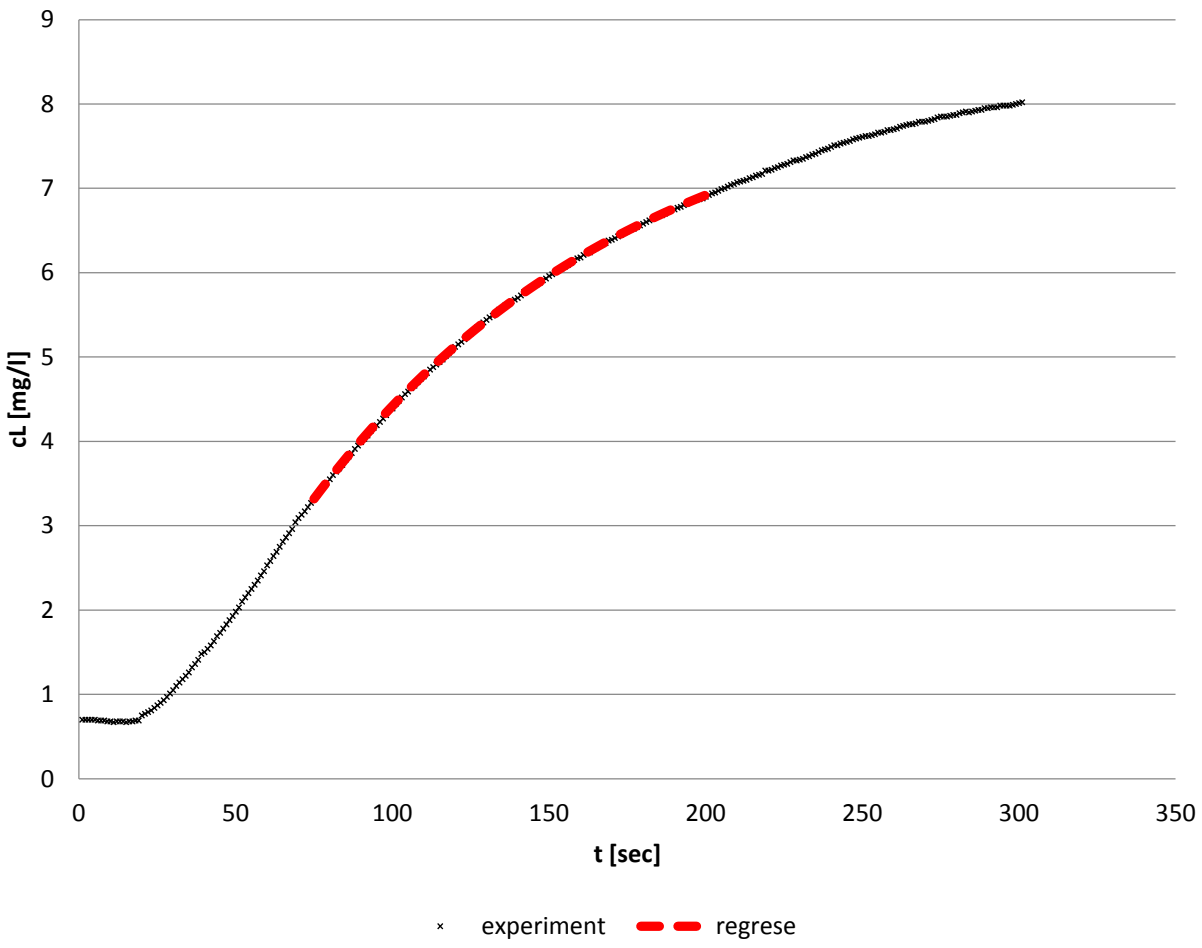
$(OC)_{20} = f_{OC20} \cdot (OC)_T = 1{,}009 \cdot 297{,}72 = 295{,}36\ \mathrm{g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}} = 7{,}09\ \mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}}$

Účinnost přestupu kyslíku:

(Výpočet proveden s tabulkovou hodnotou hmotnostního podílu kyslíku ve vzduchu 23,2%.)

$$(E_a)_{20} = \frac{(OC)_{20}}{\dot{m}_{O2VZ}/V_L} = \frac{(OC)_{20}}{(\dot{m}_{VZ} \cdot 0{,}232)/V_L} = \frac{0{,}295}{(0{,}624 \cdot 0{,}232)/0{,}022} = 0{,}0448 \approx 4{,}5\%$$

Graf 2: Srovnání experimentálních a regresních hodnot $c_L\ (t)$ - měření č. 1



Měření č. 2.

Nastavený průtok vzduchu: 30 mm výšky plovákového průtokoměru

Výška hladiny bez aerace: H_{L0}=1250 mm

Výška hladiny při aeraci: $H_{G+L} = 1370$ mm

Zádrž: $Z = (H_{G+L} - H_{L0})/H_{L0} = (1370 - 1250)/1250 = 0{,}096$

Objem vzduchu v koloně:

$V_{VZK} = \pi \cdot r^2 \cdot (H_{G+L} - H_{L0}) = \pi \cdot 75^2 \cdot (1370 - 1250) = 2120575\ \mathrm{mm}^3 = 2{,}12\ \mathrm{dm}^3$

Počáteční stav plynoměru: $pp = 0{,}620\ \mathrm{m}^3$

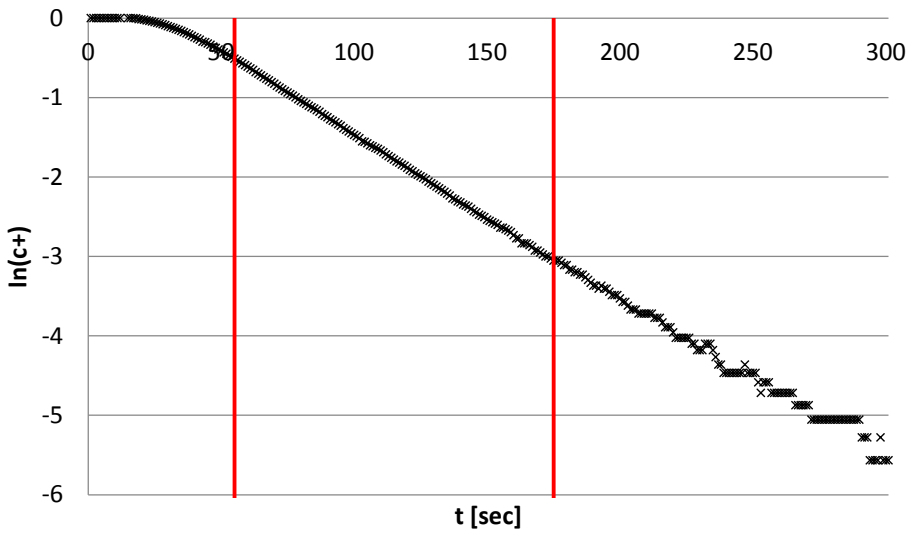
Koncový stav plynoměru: $pk = 0{,}699\ \mathrm{m}^3$

Celkový objem dodaného vzduchu: $V_{VZ} = pk - pp = 0{,}699 - 0{,}620 = 0{,}079\ \mathrm{m}^3 = 79\ \mathrm{dm}^3$

Průtok vzduchu kolonou: $Q = V_{VZ}/\Delta t = 79/5 = 15{,}8\ \mathrm{dm}^3/\mathrm{min} = 0{,}948\ \mathrm{m}^3/\mathrm{h}$

Hmotnostní tok vzduchu kolonou: $\dot{m}_{vz} = Q \cdot \rho_{VZ}(25°\mathrm{C}) = 0{,}948 \cdot 1{,}181 = 1{,}120\ \mathrm{kg/h}$

Graf 3: Závislost $\ln c^+(t)$ *s vyznačenou oblastí, která bude použita pro vyhodnocení - měření č. 2*



Počet bodů ve zvolené oblasti: $N = 175 - 55 = 120$

Výsledek lineární regrese: $y = -0{,}0212 \cdot x + 0{,}6579$

$s_A = 0{,}04060$

$mez = s_A \cdot t_{(N-1),\alpha} = 0{,}04060 \cdot 1{,}9799 = 0{,}08039$

Počet bodů ležící mimo toleranční oblast aproximační hodnoty a pásma *mez*: $n = 0$

Procento bodů mimo toleranční oblast: $pr = n/N = 0/100 = 0$

Objemový součinitel prostupu hmoty:

$k_L a = 0{,}0212\ \mathrm{sec} = 76{,}32\ \mathrm{h}^{-1}$

Oxygenační kapacita:

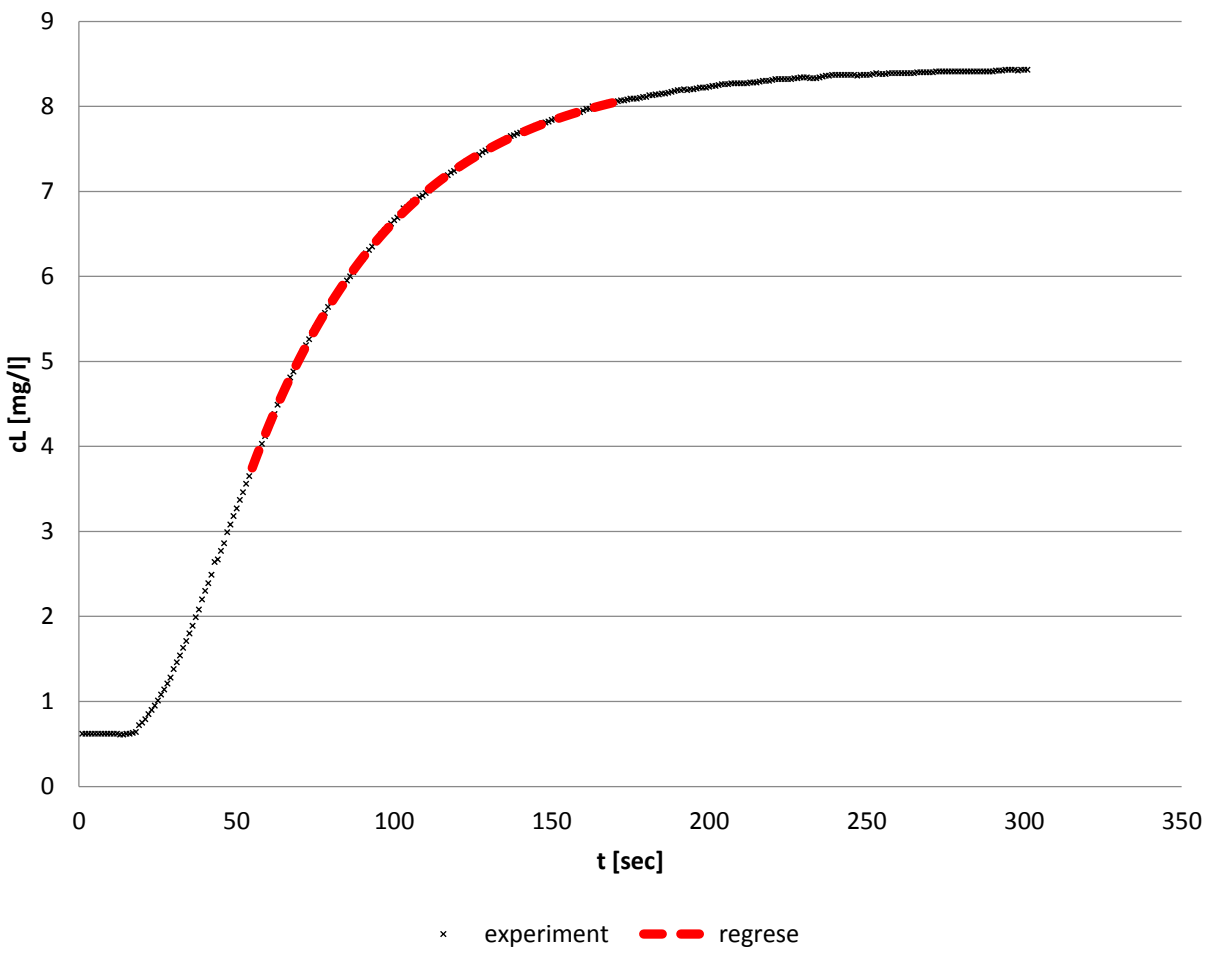
$(OC)_T = k_L \cdot a \cdot (c_L^*)_T = 76{,}32 \cdot 8{,}46 = 645{,}667\ \mathrm{g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}} = 15{,}50\ \mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}}$

$(OC)_{20} = f_{OC20} \cdot (OC)_T = 1{,}009 \cdot 645{,}667 = 651{,}48\ \mathrm{g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}} = 15{,}64\ \mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}}$

Účinnost přestupu kyslíku:

$$(E_a)_{20} = \frac{(OC)_{20}}{\dot{m}_{O2VZ}/V_L} = \frac{(OC)_{20}}{(\dot{m}_{VZ} \cdot 0{,}232)/V_L} = \frac{0{,}651}{(1{,}120 \cdot 0{,}232)/0{,}022} = 0{,}0554 \approx 5{,}5\%$$

Graf 4: Srovnání experimentálních a regresních hodnot $c_L\ (t)$ - měření č. 2



Měření č. 3.

Nastavený průtok vzduchu: 40 mm výšky plovákového průtokoměru

Výška hladiny bez aerace: H_{L0}=1250 mm

Výška hladiny při aeraci: $H_{G+L} = 1400$ mm

Zádrž: $Z = (H_{G+L} - H_{L0})/H_{L0} = (1400 - 1250)/1250 = 0{,}120$

Objem vzduchu v koloně:

$V_{VZK} = \pi \cdot r^2 \cdot (H_{G+L} - H_{L0}) = \pi \cdot 75^2 \cdot (1400 - 1250) = 2650719\ \mathrm{mm}^3 = 2{,}65\ \mathrm{dm}^3$

Počáteční stav plynoměru: $pp = 0{,}430\ \mathrm{m}^3$

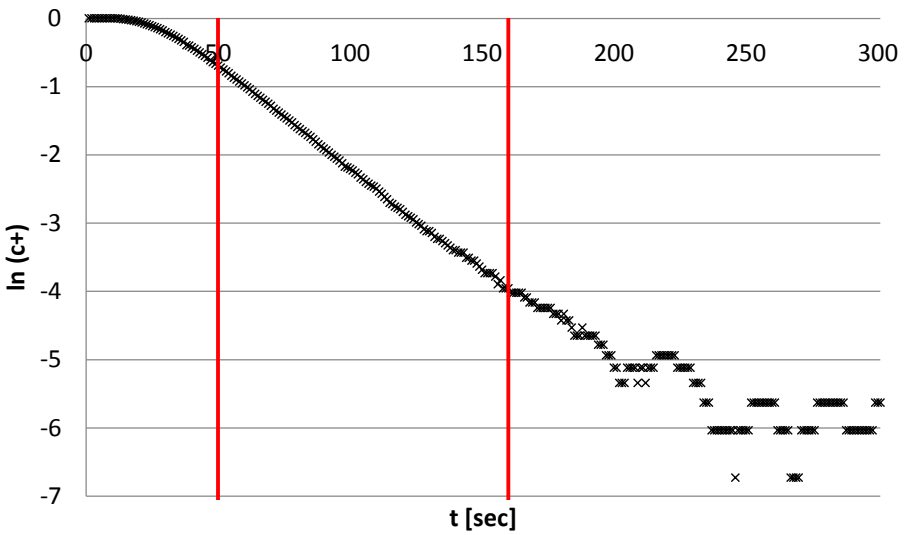
Koncový stav plynoměru: $pk = 0{,}527\ \mathrm{m}^3$

Celkový objem dodaného vzduchu: $V_{VZ} = pk - pp = 0{,}527 - 0{,}430 = 0{,}097\ \mathrm{m}^3 = 97\ \mathrm{dm}^3$

Průtok vzduchu kolonou: $Q = V_{VZ}/\Delta t = 97/5 = 19{,}4\ \mathrm{dm}^3/\mathrm{min} = 1{,}164\ \mathrm{m}^3/\mathrm{hod}$

Hmotnostní tok vzduchu kolonou: $\dot{m}_{vz} = Q \cdot \rho_{VZ}(25°\mathrm{C}) = 1{,}164 \cdot 1{,}181 = 1{,}375\ \mathrm{kg/h}^{-1}$

Graf 5: Závislost $\ln c^+(t)$ *s vyznačenou oblastí, která bude použita pro vyhodnocení - měření č. 3*



Počet bodů ve zvolené oblasti: $N = 160 - 50 = 110$

Výsledek lineární regrese: $y = -0{,}03 \cdot x + 0{,}8027$

$s_A = 0{,}04765$

$mez = s_A \cdot t_{(N-1),\alpha} = 0{,}04765 \cdot 1{,}9799 = 0{,}09434$

Počet bodů ležící mimo toleranční oblast aproximační hodnoty a pásma *mez*: $n = 0$

Procento bodů mimo toleranční oblast: $pr = n/N = 0/110 = 0$

Objemový součinitel prostupu hmoty:

$k_L a = 0{,}03\ \mathrm{sec} = 108{,}00\ \mathrm{h}^{-1}$

Oxygenační kapacita:

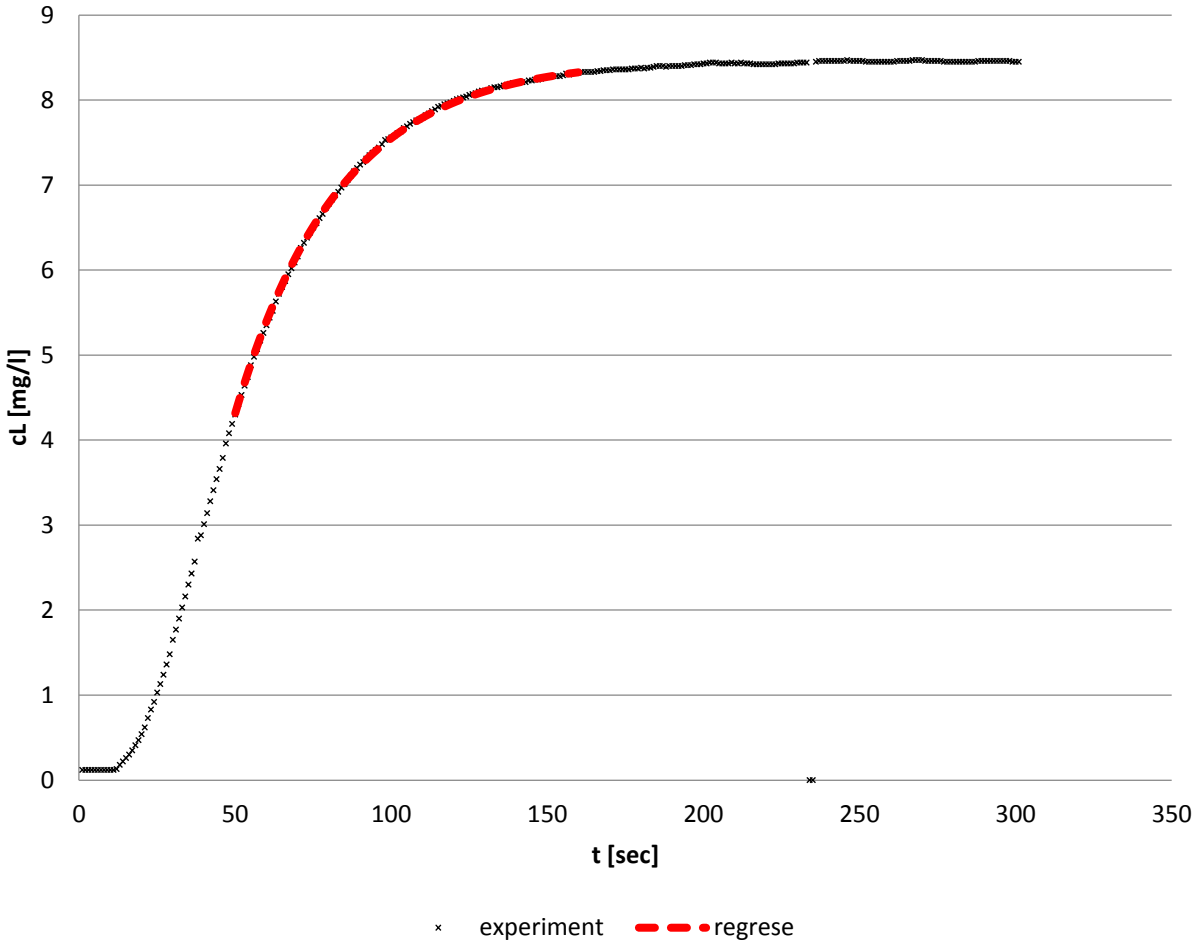
$(OC)_T = k_L \cdot a \cdot (c_L^*)_T = 108 \cdot 8{,}48 = 915{,}84\ g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1} = 21{,}98\ \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3} \cdot \mathrm{d}^{-1}$

$(OC)_{20} = f_{OC20} \cdot (OC)_T = 1{,}009 \cdot 915{,}84 = 924{,}08\ g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1} = 22{,}18\ \mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3} \cdot \mathrm{d}^{-1}$

Účinnost přestupu kyslíku:

$$(E_a)_{20} = \frac{(OC)_{20}}{\dot{m}_{O2VZ}/V_L} = \frac{(OC)_{20}}{(\dot{m}_{VZ} \cdot 0{,}232)/V_L} = \frac{0{,}924}{(1{,}375 \cdot 0{,}232)/0{,}022} = 0{,}064 \approx 6{,}4\%$$

Graf 6: Srovnání experimentálních a regresních hodnot $c_L\ (t)$ - měření č. 3



Měření č. 4.

Nastavený průtok vzduchu: 50 mm výšky plovákového průtokoměru

Výška hladiny bez aerace: H_{L0}=1250 mm

Výška hladiny při aeraci: $H_{G+L} = 1430$ mm

Zádrž: $Z = (H_{G+L} - H_{L0})/H_{L0} = (1430 - 1250)/1250 = 0{,}144$

Objem vzduchu v koloně:

$V_{VZK} = \pi \cdot r^2 \cdot (H_{G+L} - H_{L0}) = \pi \cdot 75^2 \cdot (1430 - 1250) = 3180863\ \mathrm{mm}^3 = 3{,}18\ \mathrm{dm}^3$

Počáteční stav plynoměru: $pp = 0{,}768\ \mathrm{m}^3$

Koncový stav plynoměru: $pk = 0{,}890\ \mathrm{m}^3$

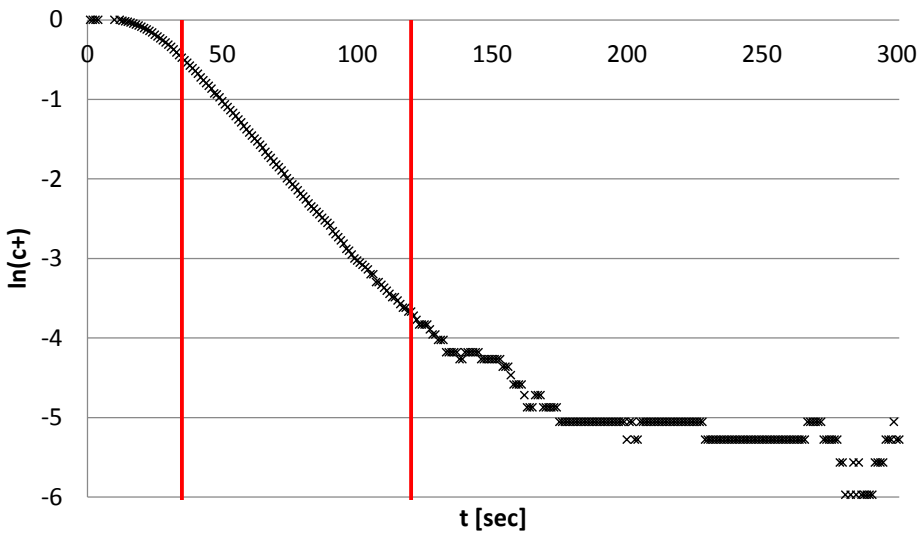
Celkový objem dodaného vzduchu:

$V_{VZ} = pk - pp = 0{,}890 - 0{,}768 = 0{,}122\ \mathrm{m}^3 = 122\ \mathrm{dm}^3$

Průtok vzduchu kolonou: $Q = V_{VZ}/\Delta t = 122/5 = 24{,}4\ \mathrm{dm}^3/\mathrm{min} = 1{,}464\ \mathrm{m}^3/\mathrm{h}$

Hmotnostní tok vzduchu kolonou: $\dot{m}_{vz} = Q \cdot \rho_{VZ}(25°\mathrm{C}) = 1{,}464 \cdot 1{,}181 = 1{,}729\ \mathrm{kg/h}$

Graf 7: Závislost $\ln c^+(t)$ *s vyznačenou oblastí, která bude použita pro vyhodnocení - měření č. 4*



Počet bodů ve zvolené oblasti: $N = 120 - 35 = 85$

Výsledek lineární regrese: $y = -0{,}0389 \cdot x + 0{,}9103$

$s_A = 0{,}05402$

$mez = s_A \cdot t_{(N-1),\alpha} = 0{,}05402 \cdot 2{,}0003 = 0{,}10806$

Počet bodů ležící mimo toleranční oblast aproximační hodnoty a pásma *mez*: $n = 0$

Procento bodů mimo toleranční oblast: $pr = n/N = 0/85 = 0$

Objemový součinitel prostupu hmoty:

$k_L a = 0{,}0389\ \mathrm{sec} = 140{,}04\ \mathrm{h}^{-1}$

Oxygenační kapacita:

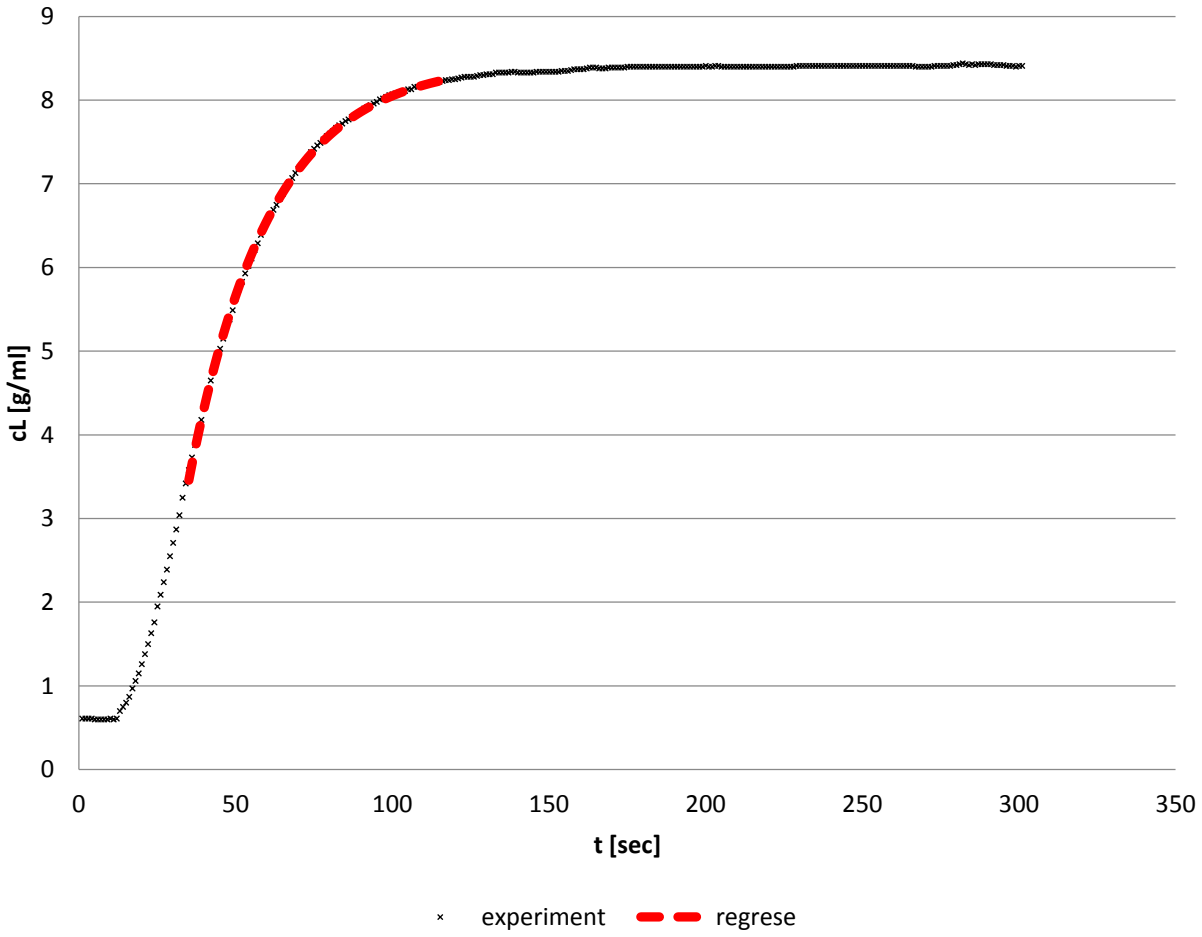
$$(OC)_T = k_L \cdot a \cdot (c_L^*)_T = 140{,}04 \cdot 8{,}45 = 1183{,}34\ \mathrm{g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}} = 71{,}00\ \mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}}$$

$$(OC)_{20} = f_{OC20} \cdot (OC)_T = 1{,}009 \cdot 1183{,}34 = 1193{,}99\ \mathrm{g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}} = 28{,}66\ \mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}}$$

Účinnost přestupu kyslíku:

$$(E_a)_{20} = \frac{(OC)_{20}}{\dot{m}_{O2VZ}/V_L} = \frac{(OC)_{20}}{(\dot{m}_{VZ} \cdot 0{,}232)/V_L} = \frac{1{,}194}{(1{,}729 \cdot 0{,}232)/0{,}022} = 0{,}0658 \approx 6{,}6\%$$

Graf 8: Srovnání experimentálních a regresních hodnot $c_L\ (t)$ - měření č. 4



Tabulka 5: Naměřené a vypočítané hodnoty

Č. měř.	Q [m^3/hod]	T [°C]	c_L^* [mg/l]	$k_L a$ [h^{-1}]	$(OC)_{20}$ [kg/m^3.d]	$(E_a)_{20}$ [%]
1	0,528	24,7	8,47	34,56	7,09	4,5
2	0,948	24,8	8,46	76,32	15,64	5,5
3	1,164	24,6	8,48	108,00	22,18	6,4
4	1,464	24,9	8,45	140,04	28,66	6,6

Stanovení závislosti $(OC)_{20}$ a $(E_a)_{20}$ na průtoku vzduchu Q

Pro závislost $(OC)_{20}$ a $(E_a)_{20}$ na Q a hloubce aerátoru H_A se předpokládá mocninná závislost:

$$(OC)_{20} = C_1 \cdot Q^{\alpha} \cdot {H_A}^{\beta}$$

$$(E_a)_{20} = C_2 \cdot Q^{\gamma} \cdot {H_A}^{\delta}$$

kde koeficienty C_1, α, β, C_2, γ, δ jsou obecnými parametry, které je třeba určit pro každý typ aeračního elementu.

Vzhledem k tomu, že se při měření neměnila hloubka aerátoru H_A, byla vyhodnocena pouze závislost na průtoku Q.

Koeficienty byly vyhodnoceny pomocí logaritmické transformace a lineární regrese.

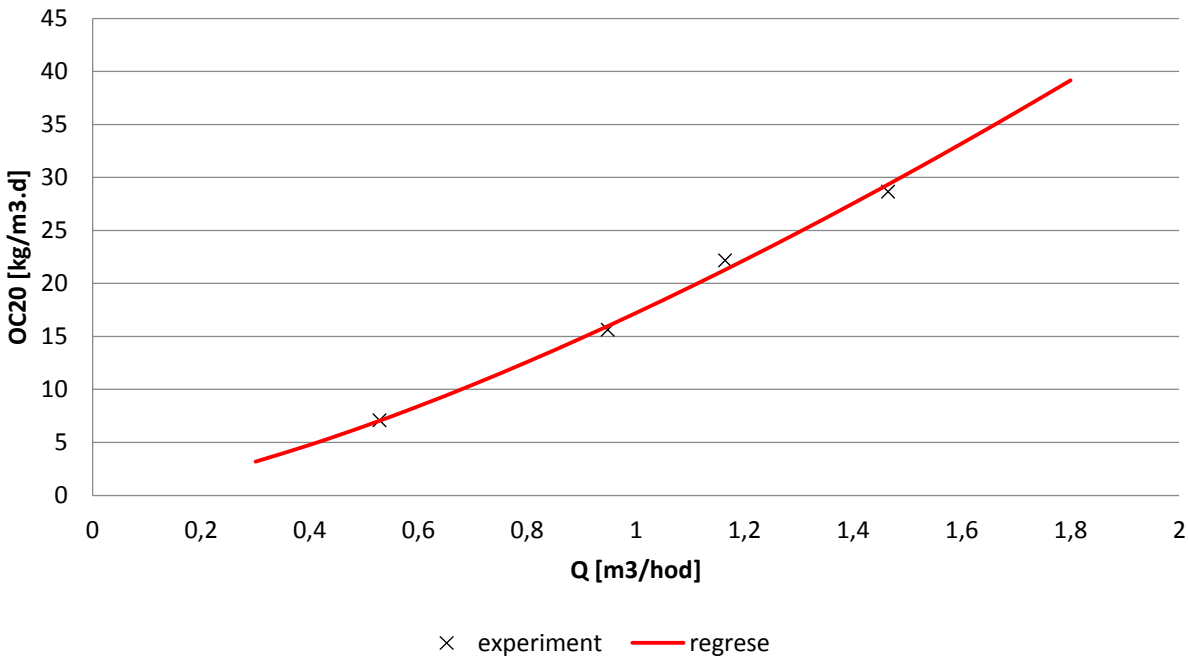
Výsledná závislost $(OC)_{20}$ a $(E_a)_{20}$ na Q má tvar:

$$(OC)_{20} = 17{,}2187 \cdot Q^{1{,}3982}$$

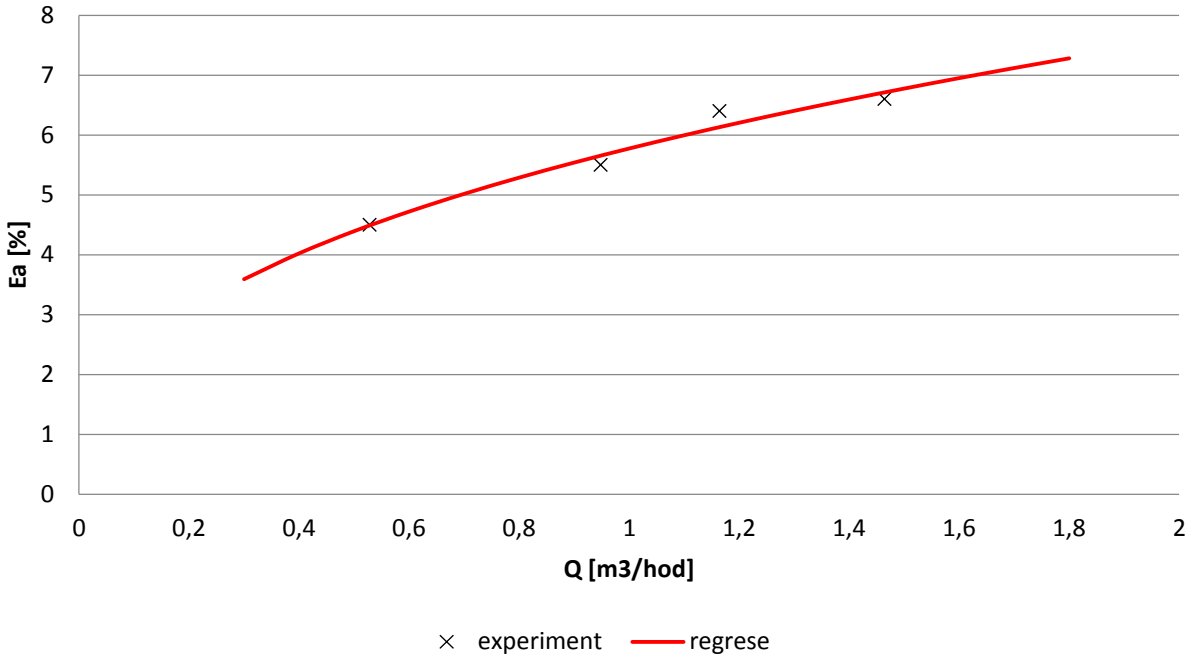
$$(E_a)_{20} = 5{,}7756 \cdot Q^{0{,}3945}$$

kde $(OC)_{20}$ má jednotky $[\mathrm{kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}}]$, Q má jednotky $[\mathrm{m^3/hod}]$ a $(E_a)_{20}$ je v procentech.

Graf 9: Závislost $(OC)_{20} = f(Q)$ - experiment vs. korelace



Graf 10: Závislost $(E_a)_{20} = f(Q)$ - experiment vs. korelace



6.7. Diskuse výsledků

Z výsledků je patrno, že všechny vypočítané veličiny závisí na průtoku vzduchu Q, což se dalo předpokládat. Hodnoty oxygenační kapacity zjištěné v modelové aerační koloně pro použitý aerační element jsou v porovnání oproti hodnotám oxygenačních kapacit aerátorů užívaných v čistírnách odpadních vod velmi vysoké, zejména pro vyšší průtoky. Vyšší hodnoty mohou být způsobeny:

- Uspořádáním měřící kolony.
- Počátečním předpokladem stejné koncentrace po celé vsádce.
- Předpokladem konstantní koncentrace kyslíku v bublinách.
- Aeračním elementem, který zabral celé dno kolony.
- Vysokými průtoky vzduchu.
- Jinými faktory.

Zatímco hodnoty OC byly vysoké, hodnoty účinnosti přestupu kyslíku E_a se v případě všech měření pohybovaly kolem 5-6 procent, což jsou hodnoty srovnatelné s hrubobublinnými aeračními elementy používanými v ČOV.

Závěr

Byla vypracována literární rešerše zabývající se mechanicko-biologickým čištěním odpadních vod. Text byl tvořen se záměrem, jasně, stručně, jednoduše a výstižně popsat problematiku mechanicko-biologického čištění a okrajově zmínit témata, která s touto problematikou souvisí. Text je rozčleněn do číslovaných kapitol tak, aby čtenáři neunikly používané pojmy nebo souvislosti. Psaný text je doplněn obrázky a grafy, které usnadňují pochopení činnosti a principu činnosti jednotlivých v práci popisovaných zařízení. K některým obrázkům a grafům jsou přikresleny popisky. Všechny obrázky a grafy v textu jsou pojmenovány a očíslovány.

Jako bibliografický zdroj informací byla použita odborná technická literatura, učebnice a skripta a také katalogy výrobců jednotlivých strojů a zařízení. Všechny použité zdroje jsou citovány a uvedeny v seznamu na konci práce. Zdrojem obrázků byl ve většině případů internet. Zdroje všech použitých obrázků jsou rovněž citovány.

V kapitole 1. byly vymezeny základní pojmy, které jsou důležité pro orientování se v problematice čištění odpadních vod, způsoby dělení odpadních vod, typy znečišťujících látek a kvantifikace znečištění pomocí ukazatelů znečištění.

Kapitola 2. se věnuje čištění odpadních vod. Je zde stručně popsáno samočištění v přírodě a důležitost cíleného čištění v objektech a zařízeních k tomu určených. Část kapitoly se zabývá decentralizovanými způsoby nakládání s OV a popisuje zařízení, která jsou k tomu používána – septiky, žumpy, domovní ČOV a zemní filtry.

Kapitola 3. popisuje skladbu čistících procesů v mechanicko-biologických ČOV. Jsou popsány principy a zařízení používané v primárním mechanickém předčištění, sekundárním biologickém čištění a terciárním dočištění. Součástí popisu aktivační nádrže je část zabývající se aerátory a oxygenační kapacitou aeračních elementů.

Kapitola 4. pojednává o kalovém hospodářství ČOV. Informuje, jakými způsoby se kal stabilizuje. Popisuje vyhnívací nádrže ČOV, zařízení pro odvodnění kalu a jsou zmíněny možnosti dalšího využití stabilizovaného a hygienizovaného kalu.

V kapitole 5. jsou uvedeny základní poznatky z oblasti biologického čištění odpadních vod. Je vysvětlen princip aktivace. Část kapitoly se zabývá způsoby, jakými potlačit vliv vláknitých mikroorganismů na sedimentaci kalu v dosazovacích nádržích. Je zde stručně pojednáno o anaerobních rozkladných procesech a jejich režimech.

V kapitole 6. jsou uvedeny výsledky experimentálního stanovení objemového součinitele prostupu hmoty, oxygenační kapacity a účinnosti přestupu kyslíku aeračního elementu v modelové aerační koloně. Závislost oxygenační kapacity a účinnosti přestupu kyslíku na průtoku vzduchu byla popsána pomocí mocninné závislosti. Srovnání experimentálních a vypočtených hodnot je prezentováno graficky.

Bibliografie

1. **The Foundation for Water Research.** Sources of Pollution - overview. *Foundation for water research.* [Online] FWR, 2010. [Citace: 16. Únor 2015.] http://www.euwfd.com/html/source_of_pollution_-_overview.html.

2. **POŠTA, Josef.** *Čistírny odpadních vod.* Praha : Vydavatelství ČZU, technická fakulta, 2005. ISBN 80-213-1366-8.

3. **PYTL, Vladimír, et al.** *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod.* Praha : Medim, spol. s.r.o., 2004. ISBN 80-239-2528-8.

4. **DOHÁNYOS, M., J. KOLLER a N. STRNADOVÁ.** *Čištění odpadních vod.* Praha : Vydavatelství VŠCHT, 2007. ISBN 978-80-7080-619-7.

5. **PITTER, Pavel.** *Hydrochemie.* Praha : Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

6. **CHUDOBA J., M. DOHÁNYOS a J. WANNER.** *Biologické čištění odpadních vod.* Praha : Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN 80-03-00611-2.

7. **WANNER, Jiří a Petr HLAVÍNEK.** *Moderní trendy v čištění odpadních vod.* Brno : Vydavatelství NOEL 2000 s.r.o., 1997. ISBN 80-86020-07-X.

8. **POLLERT, Jaroslav.** Kapacita ČOV. *Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství.* [Online] [Citace: 4. březen 2015.] dokument .pdf. http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_cv_1.pdf.

9. **PEČENKA, Martin.** Z historie stokování a ČOV. *Historie stokování a ČOV.* [Online] [Citace: 5. březen 2015.] http://web.vscht.cz.

10. **Minsiterstvo životního prostředí.** Klíčové indikátory ŽP ČR - voda. *Informační systém statistiky a reportingu.* [Online] 29. prosinec 2014. [Citace: 4.. březen 2015.] http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1575.

11. **TOPOL water.** Legislativa domovních ČOV. *Domovní čistírny odpadních vod TOPAZ.* [Online] TOPOL water s.r.o. [Citace: 8. březen 2015.] http://www.topolwater.com/domovni-cov-legislativa.htm.

12. **Pumpa.** Půjčovna čerpadel. *Prodej čerpadel a teplovodní techniky.* [Online] pumpa a.s. [Citace: 8. březen 2015.] http://www.pumpa.cz/cz/pujcovna-cerpadel.

13. **db Betonové jímky.** Betonové septiky, žumpy. *Betonové jímky, žumpy, septiky, retenční nádrže.* [Online] db Betonové jímky s.r.o. [Citace: 8. březen 2015.] http://www.db-jimky.cz/septiky.html.

14. **Ekocis.** Biologický septik SK5-EK. *ČOV za akční ceny od Ekocis.* [Online] 2015 Ekocis s.r.o. [Citace: 8. březen 2015.] http://cistirny-cov.ekocis.cz/biologicky-septik-sk5-ek.

15. **Herčík a Kříž.** Ceník sání, čerpání a vývoz odpadních vod. *Čištění a revize kanalizace.* [Online] Ataxo. [Citace: 8. březen 2015.] http://www.hercikakriz.cz/cenik/cenik-sani.

16. **Sineco.** Žumpy. *Jímky, septiky, žumpy, čov, plastové nádrže.* [Online] Sineco Engineering s.r.o. [Citace: 8. březen 2015.] http://www.sineko.cz/cz/produkty/reseni-odpadnich-vod-pro-domacnosti/zumpy.

17. **ENVI-PUR.** ČOV- domovní čistírny odpadních vod. *Čistírny odpadních vod - envi-pur.* [Online] ENVI-PUR s.r.o. [Citace: 9. březen 2015.] http://www.envi-pur.cz/cz/domovni-cistirny-odpadnich-vod/.

18. **Aquatech VFL.** Domové čistiarne odpadových vôd (ČOV). *Čistička odpadních vod cena, ČOV, ČOV domácí.* [Online] Aquatech s.r.o. [Citace: 8. březen 2015.] http://www.aquatec.sk/sk/vseobecne-informacie-domove-cov/.

19. **VOJÁČEK, Antonín.** Principy průmyslových čerpadel - 10. díl - mamutková čerpadla. *Automatizace.HW.cz.* [Online] HW server s.r.o, 7. duben 2011. [Citace: 9. březen 2015.] http://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-10dil-mamutkova-cerpadla.

20. **EKO-VAK.** Revize domovních ČOV. *Provozování vodovodů a kanalizací.* [Online] EKO-VAK, 3BRA3. [Citace: 8. březen 2015.] http://www.ekovak.cz/revize.html.

21. **TOPOL water.** Nejčastější dotazy. *Domovní čistírny odpadních vod TOPAZ.* [Online] TOPOL Water s.r.o. [Citace: 9. březen 2015.] http://www.topolwater.com/nej-dotazy_3.htm.

22. **Ekocis.** Domácí čističky odpadních vod. *ČOV za akční ceny od Ekocis.* [Online] Ekocis s.r.o. [Citace: 9. březen 2015.] http://cistirny-cov.ekocis.cz/domaci-cisticky.

23. **ASIO.** Návod instalace zemního filtru. *Čistírny odpadních vod, úprava vody a čištění vzduchu.* [Online] ASIO s.r.o. [Citace: 21. březen 2015.] http://www.asio.cz.

24. —. *Septik AS-ANASEP + zemní filtr AS-ZEON.* [Video] www.youtube.com : ASIO s.r.o., 2014.

25. **TOPOL, Jan.** Porovnání centralizovaného a decentralizovaného systému čištění odpadních vod. *TZB-info - Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov.* [Online] Topinfo s.r.o., 2. červen 2005. [Citace: 23. březen 2015.] http://www.tzb-info.cz/2543.

26. **GESS.** Charakteristika. *Šneková čerpadla.* [Online] GESS-CZ s.r.o. [Citace: 28. březen 2015.] http://www.gess.cz/cz/snekova-cerpadla.html.

27. **Metal-Management.** Strojní těžení štěrku a písku. *MetalMan.* [Online] Metal-Management s.r.o. [Citace: 28. březen 2015.] http://www.metalman.cz.

28. **POLLERT, Jaroslav.** Nátok na ČOV, Umístění ČOV. *Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství.* [Online] České vysoké učení technické. [Citace: 29. březen 2015.] dokument .pdf. http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_2.pdf.

29. **INKOS.** Česle strojně stírané řetězové - Hrubé předčištění. *Vyrábíme a dodáváme zařízení pro čištění odpadních vod.* [Online] INKOS a.s. [Citace: 28. březen 2015.] http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-zarizeni/cesle-rucni.

30. **Metal-Management.** Rotační bubnová síta. *MetalMan.* [Online] Metal-Management s.r.o. [Citace: 28. březen 2015.] http://www.metalman.cz/index.php?id=131.

31. **HYÁNEK, Ľubomír, et al.** *Komplexný projekt ZI.* Bratislava : Slovenská technická univerzita, 1991. ISBN 80-227-0377-X.

32. **SVOBODNÍK, Petr.** Kalové čerpadlo. *K + H Čerpací technika Olomouc.* [Online] K + H Čerpací technika s.r.o., 2008. [Citace: 5. duben 2015.] http://www.kalove-cerpadlo.cz/index.html.

33. **KUČEROVÁ, R., P. FEČKO a B. LYČKOVÁ.** Úprava a čištění vody. *Multimediální učební texty zaměřené na problematiku čištění odpadních vod.* [Online] VŠB TU Ostrava, prosinec 2010. [Citace: 21. duben 2015.] http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/images/zpuv/graf.jpg.

34. **PureSystem.** Technologie úpravy - ultrafiltrace. *Systémy na úpravu vody.* [Online] Pure System s.r.o., 2015. [Citace: duben. 30 2015.] http://www.puresystem.cz/technologie-upravy-vody/fyzikalni/ultrafiltrace.htm.

35. **BENEŠOVÁ, Libuše a Jaroslav TONIKA.** Není sediment jako sediment. *Odpady.* [Online] Profi Press s.r.o., 15. květen 2007. [Citace: 3. květen 2015.] http://odpady-online.cz/neni-sediment-jako-sediment/.

36. **IN-EKO.** Mikrofiltrace a filtrace odpadních vod. *Zařízení pro čistírny odpadních vod, čištění odpadních vod, ČOV.* [Online] IN-EKO TEAM, 2013. [Citace: 4. květen 2015.] http://www.in-eko.cz/mikrofiltrace-a-filtrace.

37. **KUČEROVÁ, R., P. FEČKO a B. LYČKOVÁ.** Kalové hospodářství čistírny odpadních vod. *Multimediální učební texty zaměřené na problematiku čištění odpadních vod.* [Online] VŠB TU Ostrava, prosinec 2010. [Citace: 13. květen 2015.] http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/khcov.html.

38. **LYČKOVÁ, B., R. KUČEROVÁ a P. FEČKO.** Zahušťování kalů. *Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů.* [Online] Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. [Citace: 2.. červen 2015.] http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/bara/postupy.html.

39. **NONDEK, Lubomír.** Vyhledávání ASPI. *Váš průvodce právem.* [Online] epravo.cz a.s., 15. duben 1994. [Citace: 6. duben 2015.] http://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=41463&Section=1&IdPara=1&ParaC=2.

40. **the International Water Association.** History of activated sludge. *IWA Conference.* [Online] ZWU - University Duisburg - Essen, 2014. [Citace: 23. duben 2015.] http://www.iwa100as.org/history.php.

41. **Standard Methods Committee.** Sludge Volume Index. *Norweco, Norwalk Wastewater Equipment Company.* [Online] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1997. [Citace: 23. duben 2015.] https://www.norweco.com/html/lab/test_methods/2710dfp.htm.

42. **KAYSER, Rolf.** *4th International Conference on Water Pollution Research.* Praha : Paper No. II/10, 1969.

43. **TUČEK, F., J. CHUDOBA a Z. KONÍČEK.** *Základní procesy a výpočty v technologii vody.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1977.

44. **ŠULC, Radek.** *Návod k experimentální úloze Stanovení oxygenační kapacity aeračního elementu nestacionární metodou přímým měřením rozpuštěného kyslíku.* Praha : Ústav procesní a zpracovatelské technikdy FS ČVUT v Praze, České vysoké učení technické, 2011.

45. **Saving Water SA .** Water quality deteriorating fast warns MP. *Water rhapsody.* [Online] savingwater.co.za, 30. březen 2011. [Citace: 4. duben 2015.] http://www.savingwater.co.za/tag/eutrophication/.

46. **BÜYÜKSÖNMEZ, Fatih.** Lecture One: Components of water flow. *KAHUNA.* [Online] San Diego State University. [Citace: 20. duben 2015.] http://kahuna.sdsu.edu/~fatih/CEE555/flow.htm.

47. **POOL ONE.** Septiky kruhové samonosné. *Plastové septiky, žumpy, jímky a bazény.* [Online] poolone.cz. [Citace: 20. duben 2015.] http://www.poolone.cz/septiky/septiky-pro-obsypani-zeminou/.

48. **Aquatech VFL.** Plastové nádrže Aquatech VFL. *Domovní čistírny odpadních vod.* [Online] Aquatech VFL s.r.o. [Citace: 20. duben 2015.] http://www.aquatec-vfl.cz.

49. **KUNZL, Zdeněk.** Současný pohled na jakost a environment. *Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov.* [Online] Topinfo s.r.o., 7. březen 2005. [Citace: 20. duben 2015.] http://www.tzb-info.cz/2409-soucasny-pohled-na-jakost-a-environment.

50. **Direct industry.** sensor, automation, motor, pump, handling, packaging. *The Virtual Industrial Exhibition.* [Online] VirtualExpo Group. [Citace: 20. duben 2015.] http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/traveling-screen-wastewater-treatment-69228-4001303.jpg.

51. **FONTANA R.** Samočistící česle - SČČ. *Fontana R s.r.o.* [Online] FONTANA R, s.r.o. [Citace: 21. duben 2015.] http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SCC-CZ.pdf.

52. **InfoBarScreens.** Bar Screens: Basic info. *infobarscreens.com.* [Online] www.infobarscreens.com. [Citace: 21. duben 2015.] http://www.infobarscreens.com/step-screen2.jpg.

53. **EKOSYSTEM.** Vystrojení lapáku písku. *ČOV, Čističky odpadních vod.* [Online] Ekosystem.cz. [Citace: 21. duben 2015.] http://www.ekosystem.cz/dalsi-cinnosti/vyroba-z-nerezu/vystrojeni-lapaku-pisku.

54. **STRÁNSKÝ, David.** Zahušťování suspenzí v oboru čištění odpadních vod. *Katedra zdravotního a ekologického inženýrství ČVUT.* [Online] České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství. [Citace: 21. duben 2015.] http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/YMMO_pr_8.pdf.

55. **VOJÁČEK, Antonín.** Principy průmyslových čerpadel - 8. díl - vřetenová čerpadla. *Automatizace HW.* [Online] HW server s.r.o., 18. březen 2011. [Citace: 20. duben 2015.] http://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-10dil-mamutkova-cerpadla.

56. **Dokuz Eylul University.** Toprak Home Page. *Wastewater Engineering.* [Online] Dokuz Eylul University. [Citace: 23. duben 2015.] http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana07/arit2.html.

57. **Aquarius Technologies.** Watewater Treatment Systems. *Sewage Treatment Plant.* [Online] Aquarius Technologies Inc., 2015. [Citace: 26. duben 2015.] http://www.aquariustechnologies.com.

58. **PVK.** Ústřední čistírna odpadních vod, Praha. *Pražské vodovody a kanalizace.* [Online] Pražské vodovody a kanalizace a.s. [Citace: 26. duben 2015.] http://www.pvk.cz/o-spolecnosti/fotogalerie-spolecnost/ucov/.

59. **POLLERT, Jaroslav.** Biologická část ČOV. *Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství.* [Online] České vysoké učení technické. [Citace: 26. duben 2015.] dokument.pdf. http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_5.pdf.

60. **Arko technology a.s.** Vodohospodářské stavby. *Dodavatel, který vás nezklame.* [Online] eGen s.r.o. [Citace: 26. duben 2015.] http://www.arko-brno.cz/temp/reference/detail/10-150910144925.jpg.

61. **CUKR Jiří, Jiřina CUKROVÁ.** Čistírna odpadních vod. *Obec Ledenice.* [Online] [Citace: 27. duben 2015.] http://www.ledenice.wz.cz/Index1.htm.

62. **ŠMEJKALOVÁ, Pavla.** Fotografie. *Ústav technologie vody a prostředí.* [Online] Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. [Citace: 4. květen 2015.] http://web.vscht.cz/~smejkalp/OCV/Fotogalerie/exkurze%20na%20UCOV/2013/08-usazovací%20nádrž%20-%20prázdná.jpg.

63. **Povodí Moravy.** Vodní dílo Luhačovice. *Povodí Moravy.* [Online] Povodí Moravy, s.p. . [Citace: 3. květen 2015.] http://www.pmo.cz/images/editor/634/014-vd-luhacovice-big.jpg.

64. **GTWE.** Physical treatment. *German Technology for Water and Energy.* [Online] GTWE, 2014. [Citace: 13. květen 2015.] http://gtwe-nu.com/wp-content/uploads/2013/04/ROTAMAT_Ro2.jpg.

65. **Lyco Manufacturing .** Liquid-Solid Separation Equipment. *Comercial Food Processing Equipment Manufacturing Company.* [Online] Lyco Manufacturing, Inc., 2015. [Citace: 13. květen 2015.] http://lycomfg.com/images/one-drum-screen.jpg.

66. **Kugler.** Lamellen/Schrägklärer Übersicht. *Konzepte für die Fest-Flüssig-Trennung.* [Online] Kugler Behälter- und Anlagenbau GmbH. [Citace: 13. květen 2015.] http://www.kugler-gmbh.de/index.php?site=lamellen-schraegklaerer/uebersicht.

67. **Water and Wastes Digest.** Oxidation Ditch. *The Solutions Source of the Water and Wastewater Industry.* [Online] Scranton Gillette Communications, 2015. [Citace: 13. květen 2015.] http://2.imimg.com/data2/GK/NA/MY-4403915/tri-oval-system-250x250.jpg.

68. **KRAMÁŘOVÁ, Jitka.** Část českobudějovické čistírny odpadních vod prošla důkladnou kontrolou. *Deník veřejné správy.* [Online] Triada s.r.o., 6. srpen 2008. [Citace: 2. červen 2015.] http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6330527.

69. **Dicalite.** Filtration. *A World of Filtration Experience.* [Online] Dicalite Europe nv. [Citace: 2. červen 2015.] http://www.dicalite-europe.com/filtrat.htm.

70. **IndiaTradePage.** India Trade Page. *Business directory of Indian, chinese Exporters.* [Online] IndiaTradePage.com. [Citace: 2. červen 2015.] http://img.indiatradepage.com/i_prod/13755_l.jpg.

71. **farmunion.eu.** Vakuový filtr VA. *Technologie pro nápoje.* [Online] Farm Union Europe s.r.o., 2010. [Citace: 2. červen 2015.] http://www.farmunion.eu/_data/section-3/28_4-091205-vakuovy-filtr-8m2.jpg.