

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

## PROBLEMATIKA DIMENZOVÁNÍ AERACE NA ČOV PROBLEMS OF AERATION DIMENSIONING AT WWTP'S.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

DAVID ŠPLÍCHAL

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	David Šplíchal
<b>Název</b>	Problematika dimenzování aerace na ČOV
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2014
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	29. 5. 2015

V Brně dne 30. 11. 2014

.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- [1] HLAVÍNEK Petr, HLAVÁČEK Jiří: Čištění odpadních vod-praktické příklady výpočtů, NOEL 2000, 1996, 196 s. ISBN 80-86020-00-2.
- [2] HLAVÍNEK Petr, MIČÍN Jan, PRAX Petr: Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.
- [3] KREJČÍ Vladimír, HLAVÍNEK Petr, ZEMAN Evžen: Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup, NOEL 2000, 2002, ISBN 80-86020-39-8.
- [4] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: ARDEC s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [5] METCALF & EDDY: Wastewater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse (4th Edition ed.), McGRAW-HILL, 2001, ISBN 0-07-041878-0.
- [6] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.
- [7] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ.

## Zásady pro vypracování

Bakalářská práce bude zaměřena na problematiku aerace na čistírnách odpadních vod. V první části práce bude zpracován přehled aeračních technologií, zejména s ohledem na jejich využití v jednotlivých technologiích čištění odpadních vod. V druhé části budou výsledky práce aplikovány na konkrétní lokalitu, kde bude zpracován návrh aeračního systému pro komunální čistírnu odpadních vod. Podklady si student zajistí po dohodě s vedoucím práce v rámci bakalářského semináře. Při zpracování textů, výpočtů a výkresové části dokumentace bude v maximální míře využita výpočetní technika.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....

prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Náplní práce je porovnání aeračních systémů převážně mechanické a pneumatické aerace. Dále pak porovnání různých výrobců aeračních elementů, jejich výhody, umístění v aktivačních nádržích, obsluha, použití, účinnost a energetická náročnost.

V druhé části je to popis ČOV v České Třebové a zpracování alternativního výpočtu biologické části s oběhovou aktivací, kruhovou dosazovací nádrží a návrhem provzdušňovacího systému aerace v aktivační nádrži.

## **ABSTRACT**

The objective of this work is to compare aeration systems of primarily mechanical and pneumatic aeration, as well as to compare various manufacturers of aeration components in terms of their advantages, positioning in aeration tanks, operation, use, efficiency and energy requirements.

The second part is a description of the waste water treatment plant in the town of Česká Třebová and the development of an alternative calculation for the biological part with circulation activation, a circular sedimentation tank and a design for an aeration system in the aeration tank.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Aerace, membrána, aerační element, aktivační nádrž, bakterie, bubliny.

## **KEYWORDS**

Aeration, membrane, aeration element, aeration tank, bacteria, bubbles.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Šplíchal, David. *Problematika dimenzování aerace na ČOV*. Brno, 2015. 72 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29. 5. 2014

.....  
podpis autora  
David Šplíchal

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za jeho odborné rady, a důležité připomínky pro vypracování této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval společnosti ORVOS Česká Třebová a vedoucímu ČOV Česká Třebová za prohlídku a poskytnuté data na ČOV Česká Třebová.

Tato bakalářská práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

# OBSAH

<b>OBSAH</b>	<b>1</b>
<b>1 ÚVOD</b>	<b>3</b>
<b>2 PRINCIP A ÚČEL ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD</b>	<b>4</b>
<b>3 AERACE NA ČOV</b>	<b>8</b>
3.1 Aerační systémy	10
3.1.1 Pneumatická aerace	10
3.1.2 Mechanická aerace	16
3.1.3 Hydropneumatická aerace	17
3.1.4 Kombinovaná aerace	18
3.2 Přestup kyslíku	19
3.2.1 Oxygenační kapacita	19
3.3 Použití číseho kyslíku v aktivačních nádržích	20
3.4 Přehled jednobublinné aerace	20
3.4.1 Operace a údržba aerace	22
3.4.2 Ovládací prvky aerace	23
3.4.3 Návrh systému a instalace	24
3.5 Výrobci a technické parametry aeračních systémů	25
3.5.1 Aerační systémy KUBÍČEK	25
3.5.2 Aerační systémy FORTEX	29
3.5.3 Aerační systémy ASEKO	32
3.5.4 Aerační systémy ATER	35
3.5.5 Aerační systémy EKOMVO	38
3.5.6 Aerační systém OTT GROUP	42
3.5.7 Provozdušňovací turbína BSK	44
<b>4 ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD ČESKÁ TŘEBOVÁ</b>	<b>46</b>
4.1 ČOV Česká třebová před rekonstrukcí	46
4.2 Charakteristika čov	47
4.3 Stručný Popis navržené technologie ČOV	47
4.4 Stávající biologická linka a aerace na čov	54
4.4.1 Základní technické a technologické parametry biologických jednotek	55
4.5 Návrh biologického stupně	56
4.5.1 Návrh oběhové aktivační nádrže	56
4.5.2 Návrh aerace v oběhové aktivační nádrži [23]	58
4.5.3 Návrh dosazovací nádrže	61
4.6 Popis návrhu řešení biologického čištění	63
4.6.1 Aktivační nádrž	63
4.6.2 Aerační systém	63



4.6.3	Dmyhadla	64
4.6.4	Dosazovací nádrž	64
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b>	<b>71</b>
	<b>SUMMARY</b>	<b>72</b>

# 1 ÚVOD

Důvod proč se odpadní vody čistí je fakt, že jsou omezené zdroje vody a kvalitní pitné vody výrazně ubývá. Zvláště závažný je tento fakt v ČR, ze které voda převážně odtéká. V posledních letech je problematika s čištěním odpadních vod a převážně komunálních odpadních vod velmi závažným a diskutovaným tématem, které přispívá ke stavbám novějším, modernějším a účinnějším čistírnám odpadních vod. S tím souvisí i nařízení od evropské unie, kdy od roku 2010 aglomerace s více než 2000 ekvivalentními obyvateli jsou povinny mít vlastní čistírnu odpadních vod.

Čistírny odpadních vod rozdělujeme podle typu čistírenského procesu, ale také podle charakteru a její velikosti. Základní typy čistírenských procesů jsou mechanické, biologické, chemické a fyzikálně – chemické. Nejčastěji se dnes používá kombinace uvedených způsobů, ale stále převládá mechanicko – biologické čištění odpadních vod.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na aeraci, která úzce souvisí s biologickým čištěním odpadních vod, kdy dochází k odstraňování znečištění díky mikroorganismům, které spotřebovávají kyslík při biochemickém procesu. Přísun vzduchu bakteriím musíme dodávat a to zajistíme právě díky provzdušňování vody pomocí různých druhů aeračních systémů.

Cílem bakalářské práce je seznámit se s aerací v aktivačních nádržích na čistírnách odpadních vod. S různými druhy aeračních systémů, přestupu kyslíku do vody a problematikou aeračních systémů převážně pneumatické aerace jemnobublinné a středobublinné. Seznámení se s českými i zahraničními výrobci a zhodnocení jejich aeračních elementů – výhody, použití, účinnost, energetická náročnost, umístění v aktivačních nádržích atd.

V druhé části je popsána ČOV v České Třebové, kde je přiblíženo k biologické lince, aeraci a jejím základním technickým a technologickým parametrům. A dále proveden alternativní výpočet aktivační oběhové nádrže s kruhovou dosazovací nádrží. V aktivační nádrži je navržena jemnobublinná aerace.

## 2 PRINCIP A ÚČEL ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD

Účelem čištění odpadních vod je docílit, že bude do recipientů odtékat co nejmenší množství škodlivých látek a zbytkového znečištění. To má za následek znečišťování povrchových a podzemních vod, které se projevují ve formách, jako např. zápach, chuť, hynutí ryb, vznik nálezů, znehodnocení toku pro rekreační účely. I pro zemědělské a průmyslové účely je znehodnocená voda nevyužitelná a je tudíž důležité udržet vodní recipienty čisté.

Základní rozdělení způsobů čištění odpadních vod je mechanické (primární stupeň), chemické, biologické (sekundární stupeň), terciální stupeň dočištění.

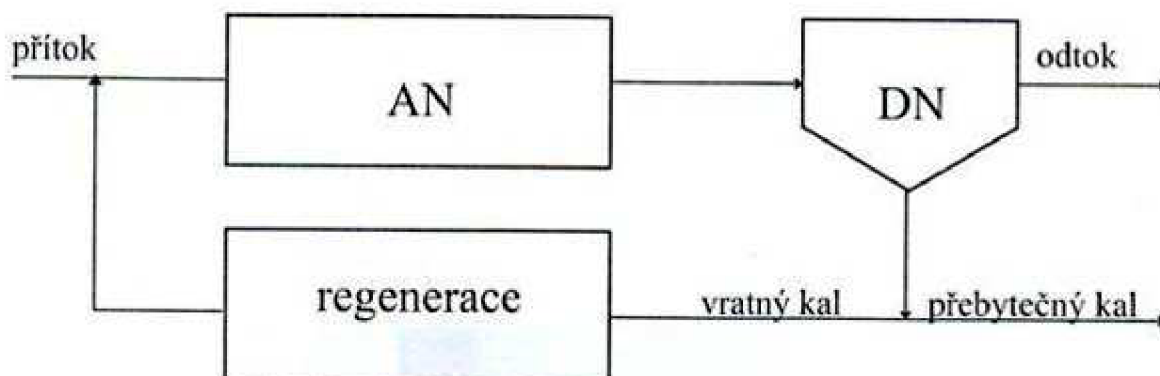
### Mechanické čištění

U mechanického čištění odpadních vod se jedná o zbavení odpadní vody hrubších nečistot. Nejprve pomocí různých druhů sít, nebo česlí (hrubých, jemných) nastává proces cezení, dále je to pak proces usazování. Usazování, probíhá sedimentací v usazovacích nádržích, kde se gravitací oddělují tuhé látky v suspenzi. Do primárního stupně spadá i lapák písku, který odstraňuje, nejenom organický materiál a písek, ale také škváru, úlomky kostí apod. [2]

Úplné mechanické čištění odpadních vod zařazujeme jako první stupeň čištění, před biologickým čištěním. BSK<sub>5</sub> u úplného mechanického čištění můžeme snížit o 25 až 35 %. [1]

### Biologické čištění

Biologické čištění odpadních vod je komplex biologických, chemických i mechanických procesů, přičemž hlavní složkou pro odstranění znečištění (substrátu), který je přiváděn ve formě látek rozpuštěných, koloidních a nerozpuštěných ze zbytku usazování je společenství mikroorganismů. Těm musí být u aerobního čištění přiváděno dostatečné množství kyslíku. Biologické čištění probíhá v aktivačních nádržích, kde se vytváří aktivovaný kal za pomoci provzdušňování (aerace). Odpadní voda po mechanickém vyčištění přitéká do aktivační nádrže, kde se mísí s vratným kalem. Aktivovaný kal se separuje od vyčištěné vody v dosazovací nádrži. Zahuštěný aktivovaný kal je pak vrácen zpět na začátek, před aktivační nádrž. [1] Schéma klasického biologického stupně je vidět na obr. č. 2-1.



Obrázek 2-1 Schéma klasické jednostupňové aktivace s regenerací vratného kalu [3]

Při čištění odpadních vod za vhodných podmínek samovolně vzniká biocenóza mikroorganismů. Potřebují-li mikroorganismy ke své činnosti kyslík, označují se jako **aerobní**. Naopak tomu je v bezkyslíkatém prostředí, kde žijí bakterie **anaerobní**. Bakterie, které jsou schopny čistit vodu jak v kyslíkatém, tak i bezkyslíkatém prostředí, se nazývají **fakultativní**. [1]

Aerobní biologické čištění odpadních vod, můžeme rozdělit na **přirozené** a **umělé**.

Do přirozených způsobů čištění řadíme:

- Závlahy
- Půdní filtrace
- Čištění v nádržích

Mezi umělé způsoby čištění patří:

- Biologické filtry
- Aktivace
  - Směšovací
  - S postupným tokem
  - Postupně zatěžovaná aktivace

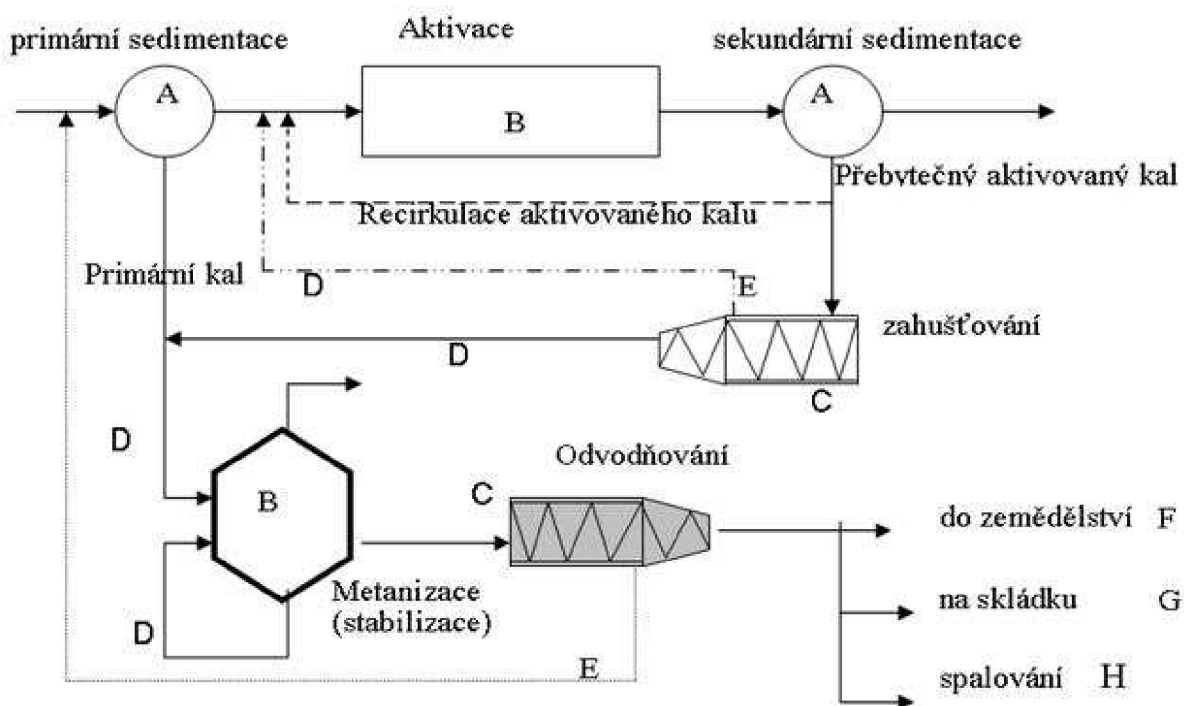
[1]

## Kalové hospodářství

Kal z čištění odpadních vod je odpad, který vzniká z celkového průběhu čištění odpadních vod. Voda, která přitéká na ČOV je procesem čištěna a na odtoku z ČOV je obsah znečišťujících látek výrazně snížen, přičemž se nežádoucí látky, obsažené v odpadní vodě, koncentrují do odpadního kalu. [3]

**Primární kal** jsou látky, které jsou usaditelné v surové odpadní vodě. Je tvořen nerozpuštěnými látkami, které prošly česlemi a lapákem písku, má zrnitou strukturu. Má schopnost udržovat a vázat vodu, protože obsahuje značné množství koloidních látek. To má za následek, že se kal špatně vysouší. [3]

**Sekundární kal**, neboli také kal přebytečný, je kal z dosazovacích nádrží. Je to přebytečná biomasa biologického růstu. Má vložkovitou strukturu a podle čistícího zařízení, ve kterém vznikne je ovlivněn jeho charakter. Kal z aktivačních nádrží se liší od kalu z biologických filtrů apod. Převážně koncentrace odpadních vod a její složení má vliv na charakter přebytečného kalu z biologického čištění. [3]



Obrázek 2-2 Základní schéma kalového hospodářství na ČOV [3]

## **Terciální čištění**

Používá se k dočištění odpadních vod v místech s vyššími nároky na kvalitu vyčištěné vody.

Používá se především k odstranění fosforu a k hygienizaci vody (odstranění patogenů).

### 3 AERACE NA ČOV

Aerace, jinými slovy provzdušňování, je proces, při kterém je vháněn kyslík, do obvykle bezkyslíkatého prostředí. Tj. prováděno různými způsoby aeračních zařízení, díky kterým se mění prostředí z anaerobního na aerobní. Děje se tak v aktivačních nádržích, kam je vháněn vzduch za stálého míchání. Z provzdušňovaného kalu jsou rychleji odváděny nežádoucí složky.

Volba aeračního zařízení a výsledná geometrie aeračních zařízení hrají velkou roli při provozování, ale i návrhu ČOV. Když budeme široce klasifikovat aerační zařízení, můžeme je rozdělit na difúzní a bodové, přičemž difúzní systémy provzdušňují objem celé nádrže, oproti bodovému systému, který vžene vzduch do nádrže v několika místech a pomocí mechanických aerátorů dojde k disperzi do většího objemu. Při volbě aeračního zařízení hraje též velkou roli možnost kontroly vstupu kyslíku. Při nadměrné aeraci může dojít k velkému množství rozpuštěného kyslíku ke vstupu do anoxické zóny. Důležité je navrhnout aerační zařízení tak, aby bylo možné snížit aeraci v době, kdy je nejméně zatížena (např. brzké ráno) a nedošlo k usazování, nebo dokonce ucpání difuzerů. [4]

#### Aerační elementy

Aerační elementy jsou nejdůležitější částí u aerace jako takové. Elementem může být membrána, nebo keramika včetně rozvodné, upevňovací a nosné části, které svými funkcemi z názvu mohou plnit zároveň funkci zpětného ventilu, vyrovnávání tlakových rozdílů v systému a ochrannou funkci udržení tlaku v případě poruchy provzdušňovacího prvku v elementu. Často je systém vytvořen záměrně tak, aby bylo co nejjednodušeji možné vyměnit membránu za keramiku a opačně. Převážně se elementy k trubce přivádějící vzduch přichytávají sponou, šroubením, nasazeným pasem, nebo přilepením. Membrány a keramiky se pak k tělu elementu, nebo přímo k nosné trubce přichytávají převlečnou maticí, páskami, lištami se samořeznými šroubky nebo jinými úchytnými prvky, převlečnými sponami, táhlem s opěrnou deskou, případně se používá u některých membrán prosté převlečení. Základní tvary aeračních elementů jsou:

- Disky
- Desky
- Trubky
- Hadice

[19]

## **Aerační rošty**

Aerační elementy se mohou umísťovat dvěma způsoby a to na plošném roštu z trubek různého průměru, nebo na velkoprofilovém přívodu. Oba způsoby mají buď malý počet velkoprofilových přípojek s uzávěry. Nebo má každý element svoji přívodní hadici, nebo menší počet trubek na více (zpravidla 5) elementů, včetně své přípojky a uzávěru - jinými slovy by se to též dalo nazvat velký počet maloprofilových přípojek s uzávěry.

U aeračních roštů je dobré, aby byla možnost je odvodnit. To chrání aerační elementy proti protlačování kondenzované vody ze vzduchu, v rozvodu a rošttech. Odvodnění aeračních roštů, pak může sloužit i jako kontrola těsnosti systému, pod hladinou. Systém aeračních roštů s elementy vytváří možnost rozložení různé plochy a procentní pokrytí. [19]

## **Kotvení aeračních roštů / aeračních elementů**

Aerační rošty, nebo elementy jsou kotveny více způsoby, přičemž nejčastěji to je pevné uchycení ke dnu nádrže pomocí kotevních prvků. Těmi mohou být různé druhy hmoždinek, nebo kotevní prvky s betonovými prefabrikáty položenými na dně, nebo chemickou kotvou aplikované kotevní prvky ve dně nádrže. Díky kotevním prvkům se pak mohou aerační rošty vyrovnávat, v případě nerovnosti dna. [19]

## **Materiál aeračních elementů**

Aerační elementy a aerační rošty jsou nejčastěji z plastu a nerez, např. PVC, PP, PE. Membrány pak tvoří materiál z EPDM kaučuku, syntetického kaučuku, polyuretanu, popřípadě jiných modifikací. Všechny kotevní prvky jsou z nerez, nejčastěji nerezová ocel. [19]

## **Provozování**

Elementy s keramickými deskami potřebují trvalou dodávku vzduchu, bez přerušování, na rozdíl od elementů s membránami, které umožňují přerušování dodávky vzduchu, popřípadě i její dlouhodobé odstavení.

U orientačního posouzení aerace, je možné použít poměru OC standartní maximální ku BSK<sub>5</sub> přiváděné do aktivace. V případě poměru cca 4 bude s největší pravděpodobností OC na



většinou komunálních čistíren odpadních vod vyhovovat nařízení vlády 82/1999 Sb. V případě poměru mezi hodnotami 3,4 až 3,8 a 4,2 až 4,6 je vhodné podmínky návrhu ověřit. [19]

### 3.1 AERAČNÍ SYSTÉMY

Aerační systémy se využívají k aeraci odpadní vody v aktivačních nádržích. Tam se uplatňují biochemické procesy, ty pak díky oxidačním procesům rozkládají organické látky, které jsou ve vodě obsaženy. Aerační systémy plní dvě funkce. Tou první je dodávání potřebného množství kyslíku (převážně vzduchu) aerobním mikroorganismům. Tou druhou funkcí je hydrodynamický účinek, což je zajištění homogenizace obsahu aktivační nádrže, aby bylo dosaženo styku mikroorganismů aktivovaného kalu s odpadní vodou a dodávaným vzduchem. [5]

Provzdušňování aktivační nádrže může být pomocí:

- Pneumatické aerace (stlačený vzduch)
  - Jemnobublinná
  - Středobublinná
  - Hrubobublinná
- Mechanická aerace (mechanické aerátory)
  - Vertikální aerátory
  - Horizontální aerátory
- Hydropneumatické aerace (ejektory a injektory)
- Kombinace více zařízení (např. pneumatické aerace s horizontálními ponornými míchadly) [5]

#### 3.1.1 Pneumatické aerace

Pneumatické aerace dodává vzduch do aktivačních nádrží pomocí kompresorů, turbodmychadel nebo ventilátorů. Do vody se pak rozptýluje díky aeračním elementům, kterými jsou: děrované trubky, speciální membrány, nebo porézní materiály. Tvar aeračních elementů je různý a to například trubky, hadice, desky, disky. Podle druhu aeračních

elementů, velikosti otvorů a závislosti na pórovitosti vznikají různé velikosti bublin a podle průměru je dále dělíme na:

- Jemnobublinná aerace ( $d = 1$  až  $4$  mm), např. porézní, nebo membránové elementy
  - Středobublinná aerace ( $d = 4$  až  $10$  mm), např. děrované trubky
  - Hrubobublinná aerace ( $d > 10$  mm), např. trubky s otevřeným koncem bez děrování.
- [6]

Na druhu aeračních elementů, podmínek provozu a instalace závisí účinnost přestupu kyslíku, která je následující pro hloubku 4 metrů:

- Jemnobublinná aerace 15 až 30 %
  - Středobublinná aerace 5 až 10 %
  - Hrubobublinná aerace 4 až 6 %
- [6]

Při zvětšení hloubky ponořených elementů se zvětšuje i množství využitého kyslíku, za což může delší kontakt kyslíku a vody. Většinou se však aerační elementy montují do hloubky 3 až 6 metrů a do vzdálenosti ode dna 0,2 až 0,35 metrů. [6]

### **Jemnobublinná aerace**

Jemnobublinná aerace má několik částí, které rozdělujeme na zdroje vzduchu, filtrace vzduchu, hlavní a rozvodné potrubí z nerezových materiálů, provzdušňovací rošty s jemnobublinnými elementy a dále pak zařízení pro odvodnění. [7]

Elementy jemnobublinné aerace rozdělujeme dále do skupin, mezi které pak patří:

- Bodové (disky, dómy, desky)
  - Trubkové (svíčky, trubice)
  - Velkoplošné (deskové, hadicové)
- [7]

Dlouhou dobu se nejčastěji používali elementy diskové a trubkové, ty jsou vyrobeny převážně z keramických porézních materiálů, které pak vytvářejí bublinky o stejné velikosti. Při dobré údržbě mají dlouhou životnost, ale dříve měli problém se zanášením a ucpáváním. Dnes je problematika s ucpáváním elementů vyřešena díky filtrování vzduchu, což společně se systémem odvodnění aeračních roštů výrazně prodlužuje životnost.

V současné době jsou již rozšířenější spíše membránové elementy, ve kterých je pružná, perforovaná membrána, fungující jako zpětná klapka. Pod membránu se přivede vzduch, membrána se napne a otevírá perforace, přičemž vzduch, který membránou projde, vytváří velmi jemné bublinky. Protože je membrána vyrobena z termoplastického materiálu, popřípadě elastomeru, což jsou materiály založeny na tvarově vratné roztažnosti, umožňuje to potřebnou funkci. V materiálu jsou při výrobě udělány vpichy, nebo jemná proříznutí, popřípadě jsou vyrobena přímo s mikrootvory speciálního tvaru.

U jemnobublinných elementů je důležité se věnovat montáži celého systému tzn. zkouška těsnosti a dobré osazení systému do nádrže. [7]



Obrázek 3.1-1 Roštový systém jemnobublinné aerace na ČOV [8]

### **Středobublinná aerace**

Středobublinná aerace se umísťuje asi 0,25 metrů nad dno a zároveň maximálně 0,8 metrů do hloubky, podél jedné strany. Bývají řešeny ve formě aeračních roštů a to v ocelových děrovaných trubách. Do aktivačních nádrží je vháněno velké množství vzduchu. Využití kyslíku jsou pouze 2 až 3 %, proto se středobublinná aerace používá jen zřídka. [7]

## **Hrubobublinná aerace**

U hrubobublinné aerace se snižuje množství využitelného kyslíku, s rostoucí intenzitou aerace. Převážně je řešena jako trubkové aerační rošty s otevřenými konci. [7]

## **Vzduchové potrubí**

Vzduchová potrubí jsou tenkostěnné trubky, jelikož neodolávají vysokému tlaku vzduchu. Nejčastěji jsou nerezové, ale mohou být i z jiných nekorodujících materiálů. Potrubí k rozvodu vzduchu pro pneumatickou aeraci jsou složeny z vlastního potrubí, armatur, průtokoměrů a dalších spojovacích kusů. [7]

## **Filtrace vzduchu**

Filtrace vzduchu je jedna z nejdůležitějších součástí pneumatického aeračního systému. Má za funkci zabránit vniku nežádoucích látek do potrubí a s tím spojené následné ucpání aeračních elementů, a dále pak zabránit nadměrnému opotřebení zdroje vzduchu a potrubí. Materiály, které se používají pro výrobu filtrů, jsou: papír, textilie, umělé vlákna apod. A z nich se tedy vyrábí bariérové filtry, filtry ze speciálních složek papíru, nebo elektrostatické filtry pro velké zdroje. [7]

S převážné většiny se filtrace vzduchu řeší jako dvoustupňová

- Předfiltr s účinností 80 až 90 %
- Jemný filtr

## **Sání vzduchu**

U sání je důležité dodržet několik parametrů pro sací zařízení:

- Nasávání vzduchu bez turbulencí a ve správném úhlu
- Umístění od země minimálně 2,5 metru
- Umístění v místech s co nejmenší vlhkostí, malou koncentrací nečistot a bez přímého slunečního záření
- Umístění do závětrí

[7]

## Dmychadla

Dmychadla jsou zařízení, které stlačují vzduch. U ČOV je důležitý správný výběr dmychadel, jelikož standardní biologická čistírna s pneumatickou aerací má spotřebu na provzdušňování přibližně 70 % celkové energie. Dmychadla se skládají z částí: tlumič sání, sací filtr, vlastní dmychadlo, elektromotor, rám, výstupní tlumič, pojistný ventil a celé zařízení se umísťuje do protihlukového zařízení s nucenou ventilací. Nejčastěji používaná dmychadla pro výrobu stlačeného vzduchu při pneumatické aeraci jsou:

- Dmychadla s rotujícími písty (Rootsova dmychadla),
- Šroubová dmychadla,
- Odstředivá turbodmychadla.

[7]

### Dmychadla s rotujícími písty (Rootsova dmychadla)

Toto dmychadlo funguje na principu dvou rotoru se stejným počtem zubů (většinou tři). Tyto rotory se otáčejí pohybem proti sobě, čímž stlačují vzduch za pracovní komorou. Dmychadla s rotujícími písty mají menší kapacitu, proto se v současnosti vyměňují již za výkonnější šroubovicová dmychadla. [9]



Obrázek 3.1-2 Rootsovo dmychadlo [9]

### Šroubová dmyhadla

Šroubová dmyhadla pracují na podobném principu jako dmyhadla s rotujícími písty. Rotor není tvořen zuby, ale šrouby. Tyto dmyhadla mají o 40 % menší energetickou náročnost oproti dmyhadlům s rotujícími písty, a proto se v budoucnu předpokládá jejich nahrazení, právě za šroubová dmyhadla. Nová dmyhadla jsou úspornější a na tom se podílí nejvíce nová technologie motoru. Další parametry zvyšující účinnost tohoto dmyhadla jsou: integrovaná převodovka, mazací systém, inovovaná konstrukce. Vše je pak integrováno do jednotného řešení, například typ plug-and-run zobrazeno na obr. 3.1-3. [10]



**Obrázek 3.1-3 Šroubové dmyhadlo s konstrukcí plug-and-run. [10]**



**Obrázek 3.1-4 Šroubové dmyhadlo s konstrukcí plug-and-run. [10]**

### Odstředivá turbodmychadla

Vlivem odstředivé síly se oběžné kolo urychluje radiálně a obvodově, tím je vzduch tlačěn do bočních kanálků a dále se stlačuje a posunuje zpět k lopatkám oběžného kola. Po spirální dráze přes oběžné kolo a boční kanálky se vzduch vytlačuje až k aeračním elementům. Tento systém se používá pro velké čistírny odpadních vod, protože má větší kapacity a může být i několikanásobný. [11]



Obrázek 3.1-5 Dmychadlo s bočními kanálky [11]

### 3.1.2 Mechanická aerace

Mechanická aerace funguje na principu otáčení rotoru (lopatek), do kterého je buď přiveden elektrický proud, nebo přímo stlačený vzduch. Mechanické aerátory se dělí podle osy na:

- Horizontální
- Vertikální

Obě skupiny se dále dělí na ponořené a povrchové.

Výhody mechanických aerátorů spočívají v jejich jednoduchosti a spolehlivosti. Mají dobré míchací účinky a jednoduchost provedení i instalace.

Nevýhodou však je menší účinnost, hlučnost, tvorba aerosolů, omezená možnost regulace a v zimním období pak vychlazování aerační nádrže. [1]

## **Horizontální aerátory**

Povrchové horizontální aerátory díky lopatkám umístěným na hřídeli a drobnému ponoru, rozstříkují vodu. Používají se pouze ve speciálních nádržích, jako jsou Kessenerovy nádrže, oxidační příkopy, nebo oběhové aktivace.

Ponořené horizontální aerátory jsou podobné povrchovým aerátorům. Pracují na principu, že aerační válce vodu přečerpávají se zavzdušněním. [1]

## **Vertikální aerátory**

Povrchové vertikální aerátory poutají v nádrži proudění na základě silného čerpacího efektu, přičemž vzniká proudění vzestupné a sestupné.

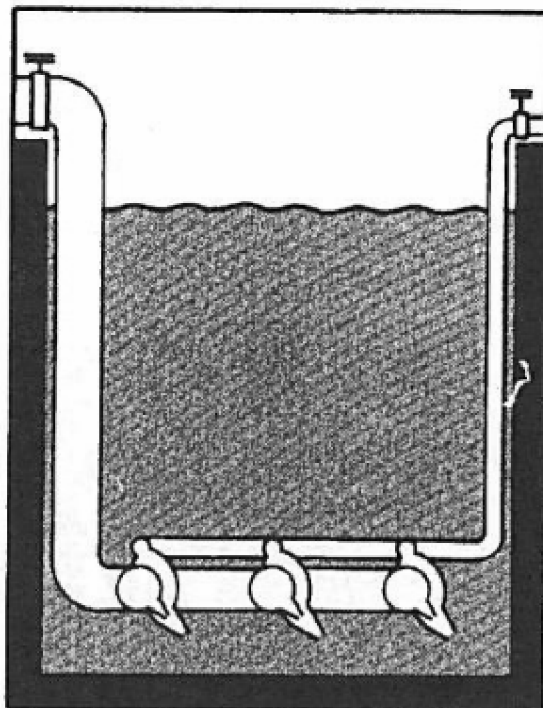
Ponořené vertikální aerátory jsou pod vodou umístěné zařízení, do kterých se přivádí vzduch. Ten pak otáčí distribučním zařízením a zároveň vzduch proudí do vody. [1]

### **3.1.3 Hydropneumatická aerace**

Hydropneumatická aerace funguje v podstatě jako vodní vývěva. Čerpadlo dodává vodu do speciálních trysek, za kterými se poté tvoří podtlak a tím dojde k přísávání vzduchu. Vzduch, který se do vody dostal, se míchá s vodou, která protéká. V podstatě to připomíná aeraci pneumatickou s rozdílem dodávky vzduchu, který je přísáván proudící vodou, přes speciální směšovač. Jednotlivé části tohoto systému jsou: ponorné čerpadlo, směšovače, sací potrubí a stabilizační zařízení. [7]

Výhoda tohoto systému spočívá v jednoduchosti a v nízkých nárocích na obsluhu a údržbu. Nevýhoda je pak vyšší energetická náročnost a nízká účinnost. [7]



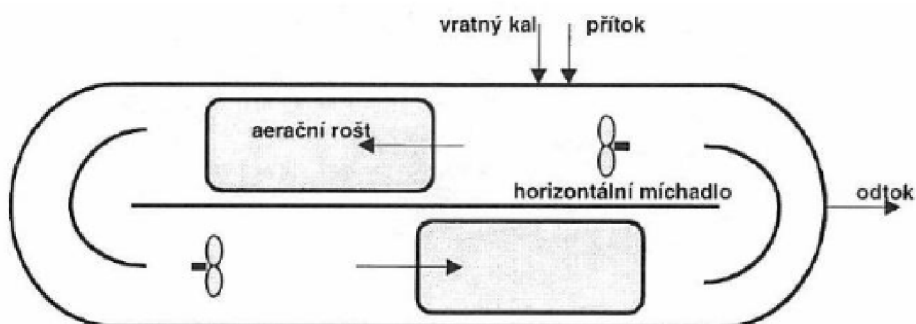


Obrázek 3.1-6 Schéma hydropneumatické aerace [7]

### 3.1.4 Kombinovaná aerace

System je kombinace odděleného provzdušňování a míchacího účinku. Nejvíce používaný způsob je pak horizontální ponorné míchadlo a povrchový aerátor. Nebo horizontální ponorné míchadlo a jednobublinný aerační rošt. Výhodou tohoto systému je dobrá regulovatelnost, což dosáhne vysokého využití kyslíku. Nevýhoda je ale zbytečná složitost a v některých případech dokonce speciálně tvarované aktivační nádrže. [7]

Na obrázku číslo 3.1.4-1 můžeme vidět oběhovou aktivaci, kde je aplikována kombinovaná aerace.



Obrázek 3.1-7 Schéma kombinované aerace v oběhové aktivaci. [7]

## 3.2 PŘESTUP KYSLÍKU

Aktivační proces pracuje za přísunu kyslíku, čili je to aerobní proces. U tohoto procesu se z odpadní vody odstraňují organické látky díky aktivovanému kalu a to za kontinuálního nebo méně běžného diskontinuálního přísunu kyslíku. V aktivační nádrži se pak díky kyslíku udržují aerobní podmínky a to pomůže k udržení aktivovaného kalu ve vznosu. Přísun kyslíku musí být vždy o něco vyšší, nebo alespoň roven rychlosti jeho spotřeby, čímž je zajištěn optimální poměr kyslíku. [6]

Reakce, které spotřebovávají kyslík, jsou následující:

- Syntéza buněčného materiálu
- Oxidace organických látek
- Nitrifikační pochody
- Autooxidace buněčného materiálu [6]

### 3.2.1 Oxygenační kapacita

Kyslík se v čisté vodě rozpouští, ale je závislý na několika parametrech, jako je: teplota, tlak plynné fáze a tlak kyslíku ve vzduchu. Do vody se kyslík dostává pomocí vzduchových bublin a to při styku s vodou. Oxygenační kapacita (značena OC) je zavedený pojem, z důvodů srovnávání jednotlivých systémů a zároveň, aby bylo možné vyjádřit okysličovací schopnost aeračního systému. Oxygenační kapacitu je třeba znát ze všech možných provozních, ekonomických, ale i technologických důvodů. Definuje se jako hmotnostní množství kyslíku, který je, daný systém schopen dodat za jednotku času do objemové jednotky dané nádrže, při jeho nulové koncentraci. Jednotka OC je  $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}^{-1}$  nebo  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ . [5]

Ovlivňující faktory oxygenační kapacity u pneumatické aerace:

- Intenzita aerace
- Výška vodního sloupce
- Obsah organických látek ve vodě
- Zatížení aeračního zařízení
- Velikost vzduchových bublin

### Ovlivňující faktory oxypenační kapacity u mechanické aerace

- Počet otáček
- Hloubka ponoru
- Množství organických látek obsažených ve vodě [5]

### **3.3 POUŽITÍ ČISTÉHO KYSLÍKU V AKTIVAČNÍCH NÁDRŽÍCH**

Čistý kyslík se používá pro tento způsob aerace, popřípadě může být použit vzduch obohacen o kyslík. Čistý kyslík je tvořen kryogenním způsobem, což je zkapalnění vzduchu anebo způsob frakcionovanou destilací. Další možností získání čistého kyslíku je způsob PSA (pressure swing adsorption), který funguje na principu molekulových sítí. Podle velikosti kapacity, se určuje, jakým způsobem se docílí čistého kyslíku. [7]

Dříve se aktivační směs míchala mechanicky a to povrchoým aerátorem, a pak v každé sekci byla zajištěna cirkulace z plynné do kapalné fáze, čímž se dosáhlo 95 % využití kyslíku, ale to vše souviselo s vynaložením velké energetické náročnosti. Z tohoto důvodu byly vyvinuty reaktory, kde se používá čistý kyslík. Jsou jimi např.: systém DBCA (down bubble contact aerator), nebo U-tube contactor, u nichž je čistý kyslík aplikován ve větších hloubkách v nádrži v důsledku hydraulického účinku a to prodlužuje dobu kontaktu bublinek a vody. [7]

Rychlost respirace a odstranění organických látek nemůže ovlivnit víc než 2 mg/l rozpuštěného kyslíku. Respektive větší koncentrace rozpuštěného kyslíku nemají vliv na biodegradabilitu organických látek, proto se již při aplikaci dává pouze do vysoko zatížených systémů, kde čistý kyslík může dosáhnout potřebné oxypenační kapacity. [7]

### **3.4 PŘEHLED JEDNOBUBLINNÉ AERACE**

Již od zavedení procesu aktivovaného kalu v 19. století bylo mnoho typů rozptýlených aeračních zařízení navrženo a vyvinuto tak, aby se kyslík rozpouštěl do odpadních vod. To se provádělo pomocí vlnění vzduchu do jednotlivých otvorů, nebo drážek vyvrtných v úseku trubky. Velikosti bublin již byly výše definovány a i když skutečný otvor může být mnohem větší, bubliny vytvářejí tendenci stříhu a tím rozbití na menší bublinky. Pro typ dlouhé směšovací intenzity, zůstává velikost bublin zhruba stejná. Velikost bublin je obvykle

nezávislá na rychlosti proudění vzduchu přes difuzér. Nicméně intenzita míchání se zvyšuje s rostoucím prouděním vzduchu, toho se s největší pravděpodobností týká stříh bubliny do bublin s menšími průměry. To může vysvětlit zdánlivě rostoucí účinnost přenosu kyslíku se zvýšením průtoku vzduchu. [12]

### **Typy materiálů u jemnobublinné aerace**

Přestože je více materiálů, které jsou schopny vhodně sloužit pro jemnobublinnou aeraci na čistírnách odpadních vod, tak pro účely čištění odpadních vod se jich používá pouze pár z důvodu vysokých nákladů, jejich specifických vlastností, velikosti trhu apod. Média používaná pro jemné póry se dnes dělí na tři základní kategorie:

- Keramika
- Porézní plasty
- Perforované membrány [12]

Jemnobublinná aerace se dělí podle typu difuzoru, a to na základní čtyři typy:

- Desky
- Trubky
- Hadice
- Disky [12]

### **Charakteristika jemnobublinné aerace**

Jednobublinnou aeraci lze charakterizovat řadou vlastností jako např.: Fyzický popis, rozměr, měrná hmotnost, propustnost, děrování a vzor, síla, tvrdost, vztah k životnímu prostředí, účinnost přenosu kyslíku, dynamický tlak.

Znalost těchto vlastností umožňuje lepší návrh systému aerace i s ohledem na místní podmínky. Náležitá pozornost k těmto vlastnostem dále může vést ke snížení problémů v průběhu životnosti systému. [12]

Pro definování vlastností aerace je důležitá co nejdůkladněji popsaná zpráva obsahující:

1. Prostředky řízení jakosti krátkodobé (šarže - co - šarže), dlouhodobé (rok - co - rok).

2. Základní výkon a základ pro stanovení změn ve vlastnostech aerace, za provozních podmínek v průběhu času.
3. Množství informací potřebné ke konstrukčním specifikacím.
4. Nepřímé označení změn, ve výkonnosti v terénu.

### 3.4.1 Operace a údržba aerace

Hlavním cílem, při návrhu provzdušňovacího systému, je poskytnout efektivní systém s nejnižší možnou cenou a zároveň udržení rovnováhy mezi počáteční investicí a dobou provozu a údržbou. Nicméně i faktory, které ovlivňují zaměstnanci, mají vliv na dlouhodobé náklady. [12]

Faktory, které ovlivňují účinnost provzdušňování systému:

- Retenční čas pevných látek (SRT)
- Potrava pro mikroorganismy (F/M) zatížení
- Režim proudění odpadní vody
- Průtok vzduchu
- Koncentrace rozpuštěného kyslíku (DO)
- Stupeň znečištění difuzoru
- Účinnost dmyhadla [12]

V rámci omezení uvedených na systém kalu, je hlavním operačním cílem dosáhnout kvality odpadní vody a zároveň maximalizování efektivity provzdušňování. [12]

### Údržba

Existují dva druhy údržby a to preventivní a nápravná. Preventivní se provádí, aby zařízení pracovala na přijatelné úrovni výkonu, prodloužila se životnost zařízení a vyhnulo se mimořádným situacím. V případě, že zařízení nefunguje na správné úrovni výkonu, nebo k poruše dojde, tak nastává korekční provedení údržby. V tomto případě se budeme zabývat pouze preventivní údržbou. [12]

Preventivní údržba je nezbytná, zejména z toho důvodu, aby se provzdušňovací systém udržoval čistý, v dobrém provozním stavu a tím se udržovala optimální úroveň výkonu. Dále z důvodu minimalizování potřeby nouzových oprav z důvodů selhání systému. Správné postupy údržby též sníží frekvenci přerušování přístupu vzduchu, které může vést k toku tuhých látek až do rozvodu vzduchu. Ukládání látek na straně difuzerů a následné proniknutí do horních pórů, může nastat též s poklesem, nebo přerušením přívodu vzduchu. Při provozu, musí být průtok vzduchu difuzory stejný, nebo vyšší, než jsou minimální doporučené hodnoty. Tím se pomáhá zabránit usazování pevných látek na difuzoru. [12]

Všeobecně se aerační systém prohlíží podle pokynů výrobce a provádí je pouze zaškolený pracovník.

Četnost prohlídek:

- 1 x denně vizuální i sluchová prohlídka funkčnosti dmychadel a aeračních elementů
- 1 x týdně otevírání ventilu pro odvodnění roštu
- 1 x měsíčně střídání provozu dmychadel, kontrola veškerého elektrického zařízení včetně instalace
- 1 x ročně práce a údržby strojního zařízení

### **3.4.2 Ovládací prvky aerace**

Většina procesů u aerace je řízena automaticky. Změna rychlosti provzdušňování, se provádí pomocí počítače, nebo regulátoru tak, aby odpovídala dynamické spotřebě kyslíku a udržela zbytkovou koncentraci směsné kultury, nebo žádaného rozpuštěného kyslíku. Součástí, je prověřování kontrolních strategií, instrumentace, závěrečný ovládací prvek, hardware. Uvedené informace umožní efektivní komunikaci mezi designéry, techniky a provozním personálem, aby zajistily začlenění ovládacích úvah, při návrhu aeračního systému. [12]

#### **Výhody ovládacích prvků aerace**

Prínosem řízené provzdušňované aerace na čistírnách odpadních vod jsou:

- Zajištěna integrita a nepřetržitý provoz systému
- Zvýšení spolehlivosti

➤ Snížení procesních nákladů

Je-li správně navrženo, ovládání aerace nabízí potenciál, pro výrazné úspory nákladů. [12]

### 3.4.3 Návrh systému a instalace

Typický systém jemnobublinné aerace je skládá ze vzduchového filtru, dmyhadla, vzduchotechnického potrubí a z ovládacího zařízení vzduchu (průtokoměry a ventily). Difuzní systém se skládá z řady hlavních nosných a vedlejších potrubí, umístěných v provzdušňovací nádrži, od toho jsou dále připojeny difuzory s jemnými póry. Systém je obvykle uspořádán jako soustava „sítí“ (oblastí), aby byla umožněna řádná distribuce a cirkulace vzduchu. [12]

#### Kyslíkový proces a míchací požadavky

Prvním krokem při stavbě systému jemnobublinné aerace je určit rozsah a prostorové rozložení požadavků na proces kyslíku, které musí být splněny v systému. Dostatečné množství energie musí být též dodáváno do systému, k udržení biologické pevné látky v suspenzi (míchací požadavky). [12]

#### Rozdíly v požadavcích na proces kyslíku

Požadavky na proces kyslíku v systémech s biologickým čištěním se liší jak prostorově (od bodu k bodu), tak i časově (čas od času). K prostorovým změnám dochází, protože jednotlivé složky celkového požadavku na proces kyslíku nejsou rovnoměrně rozloženy po celém biologickém reaktoru. Časové variace se naopak vyskytují v důsledku kolísání procesu plnění a také v důsledku provozních podmínek. Dostatečná kapacita a flexibilita musí být navržena v jemnobublinné aeraci tak, aby se tyto varianty mohly přizpůsobit přímo v provzdušňovacím systému. [12]

## **Difúze vzduchu**

Difúze vzduchu přenáší kyslík do provzdušňovací nádrže. K převodu by mělo dojít tak, aby mikroorganismy nebyly „stresované“. K stresování může dojít, pokud platí, že rychlost přenosu nebo distribuce kyslíku do nádrže, není dostatečná. [12]

## **Systém přívodu vzduchu**

Systém přívodu vzduchu pracuje buď přímo s atmosférickým vzduchem, nebo s čistým kyslíkem, pomocí difuzního systému. Zatímco výběru a návrhu difuzního systému je věnováno dostatek pozornosti, je třeba se zaměřit i na péči a návrh samotného systému pro přívod vzduchu, aby bylo zajištěno, že jsou splněny celkové cíle procesu a spotřeba energie je minimální. [12]

## **3.5 VÝROBCI A TECHNICKÉ PARAMETRY AERAČNÍCH SYSTÉMŮ**

V této části bakalářské práce je seznámení se s výrobci, jejich produkty a výhodami pro aeraci na čistírnách odpadních vod. Vzhledem k množství výrobců a jejich produktů, je vybráno pár základních a nejpoužívanějších pneumatických a mechanických aeračních elementů.

### **3.5.1 Aerační systémy KUBÍČEK**

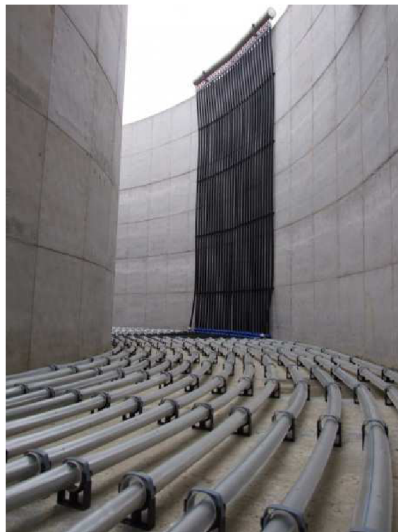
Aerační systémy Kubíček jsou největší Českým zástupcem v oboru dmychadel a aeračních elementů. Aerační membrány se aplikují převážně v provzdušňovacích nádržích na komunálních ČOV, ale mohou se také používat k míchání galvanických lázní, provzdušňování rybochovných nádrží, čištění bio-filtrů, nebo k pneumatické flotaci. [18]

#### Popis hlavních částí aeračních membrán

Materiál membrány je trvale pružný polyuretanový elastomer odolný proti hydrolýze, dále pak odolává mikroorganismům a chemickým sloučeninám s nepříznivými vlivy. Provzdušňovací elementy se vyrábějí v délkách až 30 metrů, bez ovlivnění rovnoměrnosti produkce vzduchových bublin po celé délce.



Na obrázku 3.5 – 1 můžeme vidět aerační membrány firmy Kubíček u kruhové nádrže a na obrázku 3.5 – 2 jsou to membrány u oběhové aktivace. [18]



Obrázek 3.5-1 Aerační systém firmy Kubíček (kruhová nádrž) [18]



Obrázek 3.5-2 Aerační systém firmy Kubíček (oběhová aktivace) [18]

#### Parametry aeračních membrán

- Výtěžnost kyslíku za standartních podmínek (**E+**) **3 – 5 kgO<sub>2</sub>/kWh**
- Procento využití kyslíku za standartních podmínek na metr ponoru elementu (**Ea**) až **8,5 %/m**

- Tlaková ztráta aeračního elementu v závislosti na průtoku vzduchu a stáří membrány ( $\Delta p$ ) **3 – 5 kPa**
- Doporučený průtok vzduchu na jednotku délky aeračního elementu za hodinu (**QL**) **2 – 5 m<sup>3</sup>/m.h** [18]

#### Výhody aeračních membrán

- Stálá tvorba jemných bublin v délkách až 30 m.
- Automatický odvod kondenzátu z aeračního systému.
- V případě přerušení provozu nedochází ke zpětnému pronikání kapaliny do systému a ucpávání membrán.
- Tlakové ztráty v rozsahu 3-5 kPa v závislosti na průtoku vzduchu a stáří membrány. [18]

#### Popis hlavních částí dmyhadla

Hlavní předností je produkce ROOTsových dmyhadel (obrázek číslo 3.5 – 3) a dmyhadlových soustrojí. Ty se používají v širokém spektru oborů – od průmyslu (například na čistírnách odpadních vod, úpravny pitných vod), ale také ve stavebnictví, zemědělství, potravinářství apod.

Dmyhadlo v dodávce obsahuje nosný rám soustrojí, pružné uložení / silentbloky, tlumič sání s výměnným filtrem, kombinovaný absorpční / komorový tlumič výtlaku, pojistný ventil, zpětná klapka, pružné připojení výtlaku, elektromotor, řemenový převod, startovací olejová náplň a kotevní materiál. [18]



Obrázek 3.5-3 Rootsovo dmyhadlo společnosti Kubíček [18]

#### Parametry dmyhadla

- Pracovní tlak
- Objemový průtok
- Výkon elektromotoru
- Připojovací rozměry
- $\Delta P = 0 - 100 \text{ kPa}$
- $Q = 20 - 15\,660 \text{ m}^3/\text{hod}$
- $P_1 = 0,25 - 500 \text{ kW}$
- $DN = 50 - 400$

#### Výhody dmyhadel firmy Kubíček

Celé zařízení a uspořádání dmyhadla je navrženo na maximální spolehlivost, jednoduchou kontrolu a kontrolu s jednoduchou dostupností všech částí i v protihlukovém obalu. Dále to jsou výhody:

- Malá hlučnost
- Rychlý záruční i pozáruční servis
- Nízké provozní náklady
- Snadná obsluha

[18]

### 3.5.2 Aerační systémy FORTEX

Aerační systém FORTEX je jemnobublinný, střednobublinný i hrubobublinný systém, určen k provzdušňování a míchání aktivačních popřípadě odplyňovacích nádrží na čistírnách odpadních vod. Využití najde i u aerace jiných kapalin, provzdušňování nádrží, rybníků, chovných zařízení ryb a též k pneumatické flotaci.

Systém se dimenzuje podle potřeby míchání nádrží, zvolené technologie, potřebného množství kyslíku, způsobu regulace a také podle typu a tvaru nádrží. [13]



Obrázek 3.5-4 Aerační elementy typu FORTEX [13]

#### Popis hlavních částí aeračního systému

Stlačený vzduch je vytvářen různými způsoby, nejčastější jsou: rotační Rootsová dmychadla, turbodmychadla, nebo membránová dmychadla vhodná pro dodávku stlačeného vzduchu, bez oleje a mechanických nečistot. [13]

Přívodní potrubí a související armatury jsou vyrobeny z nerezové oceli, nebo polypropylenu. Jsou vedeny od zdroje stlačeného vzduchu, až do 1 – 1,5 m hloubky aktivační nádrže. U každého samostatného roštu je regulační a uzavírací klapka.

Rozvodné potrubí, tvoří nosný prvek aeračním elementům, ke kterým je jednotlivě přivedeno a zároveň má funkci rovnoměrného rozvodu vzduchu. Spoj s přívodním potrubím je opatřen spojovací přírubou v hloubce 1 – 1,5 m pod hladinou vody.

Aerační elementy jsou poslední součástí rozvodu a rozdělují proud vzduchu na jemné bublinky, probublávající do vody. Elementy se rozdělují podle perforace a to na jemnobublinné, vhodné pro provzdušňování aktivačních nádrží (AME-260, AME-350, AME-T750, AME-T370, AME-D, AME-T90). Dále pak středobublinné, vhodné pro akumulaci a stabilizační nádrže (AME-260S). A také na hrubobublinné, které najdou uplatnění například u míchání obsahu lapáků písku apod. (AME-P).

Membrány jsou pak vyrobeny ze speciálního materiálu EPDM, případně EPDM s teflonovým povrchem, vhodným pro kontakt se splaškovou vodou.

Voda zkondenzovaná v systému je svedena do jímky aeračního roštu, a dále odváděna nad hladinu vody v nádrži. Potrubí, které slouží k odvodu kondenzátu je kotveno ke stěně nádrže.

Aerační elementy dále členíme diskové (AME-260, AME-260S, AME-350, AME-P), deskové (AME-D), nebo, trubkové (AME-T370, AME-T750, AME-T90). Materiál aeračního elementu je standardně zhotoven z PP. [13]

## Technické parametry aeračního systému FORTEX

**Tabulka 3.5.2-1 Základní technické parametry aeračních elementů FORTEX [13]**

Typ AME	Rozměry	Hmotnost	Tlaková ztráta	Limitní průtok vzduchu	Dlouhodobý průtok vzduchu	Doporučený průtok vzduchu
	[mm]	[kg]	[kPa]	[m <sup>3</sup> /h*ks]	[m <sup>3</sup> /h*ks]	[m <sup>3</sup> /h*ks]
AME-260	ø 280	0.8	1.8-3.7	1.0-6.0	2.0-4.5	3.5-4.0
AME-350	ø 350	1.35	1.8-2.9	0.8-8.0	3.2-6.0	4.0-5.5
AME-350F	ø 350	1.35	1.8-2.9	0.8-8.0	3.2-6.0	4.0-5.5
AME-D	762 x 182	1.9	2.4-4.5	3.0-18	4.5-12.0	7.0-10.0
AME-T750	800, ø 68	1.3 (2.2) * 3	4.0-5.6	2.0-9.0	3.5-7.5	5.0-6.0
AME-T370	400, ø 68	0.7 (1.2) * 3	4.0-5.6	1.0-5.0	2.0-4.0	2.5-3.5
AME-T750PU	800, ø 68	1.2 (2.2) * 3	3.0-5.5	2.0-9.0	3.5-7.5	5.0-6.0
AME-T370PU	400, ø 68	0.6 (1.2) * 3	3.0-5.5	1.0-5.0	2.0-4.0	2.5-3.5
AME-T750PUB	800, ø 68	1.2 (2.2) * 3	3.5-5.6	1.0-6.0	3.0-5.0	3.5-4.5
AME-T370PUB	400, ø 68	0.6 (1.2) * 3	3.5-5.6	1.0-3.0	1.5-2.5	2.0-3.0
AME-T750SR	800, ø 68	1.3 (2.2) * 3	3.0-5.4	2.0-9.0	3.5-7.5	5.0-6.0
AME-T370SR	400, ø 68	0.7 (1.2) * 3	3.5-5.4	1.0-5.0	2.0-4.0	2.5-3.5
AME-T90	1090, ø 94	2.7	3.5-4.9	4.0-15.0	7.0-13.0	6.0-12.0
AME-260S	ø 280	0.8	4.0-8.0	4.0-8.0	5.0-7.0	5.5-6.5
AME-P	ø 80	0.05	1.2-4.0	2.0-15.0	4.0-12.0	4.0-10.0

### Výhody aeračního systému FORTEX

- Nízká tlaková ztráta
- Vysoké využití kyslíku ze vzduchu
- Odolnost proti ucpávání aeračních elementů
- Možnost přerušovaného provozu
- Vhodné pro všechny tvary nádrží
- Úspora energie

- Díky široké škále a více variant aeračních elementů, je možné použití u komunálních, tak i průmyslových čistíren odpadních vod [13]

### 3.5.3 Aerační systémy ASEKO

Tyto systémy jsou určeny k aeraci v aktivačních nádržích biologických čistíren odpadních vod. Též je pak tohoto systému využít tam, kde je třeba provzdušňování, míchání, syčení kyslíkem atd. [14]

#### Popis hlavních částí aeračního systému

Principiálně stejně jako u předchozího systému. Nosné trubky, ve kterých je přiváděn vzduch z dmychadel jsou rozebíratelné a jsou na nich připevněny jemnobublinné provzdušňovače A-109. Vzduch je rovnoměrně rozdělován ke všem provzdušňovačům. Materiál membrán, je z kvalitní pryže, která je jemně perforovaná. Membrána za provozu vytváří jemné bubliny vzduchu a při přerušení provozu zajišťuje zpětné vniknutí vody, pod membránu. Systém lze provozovat kontinuálně i přerušovaně. [14]

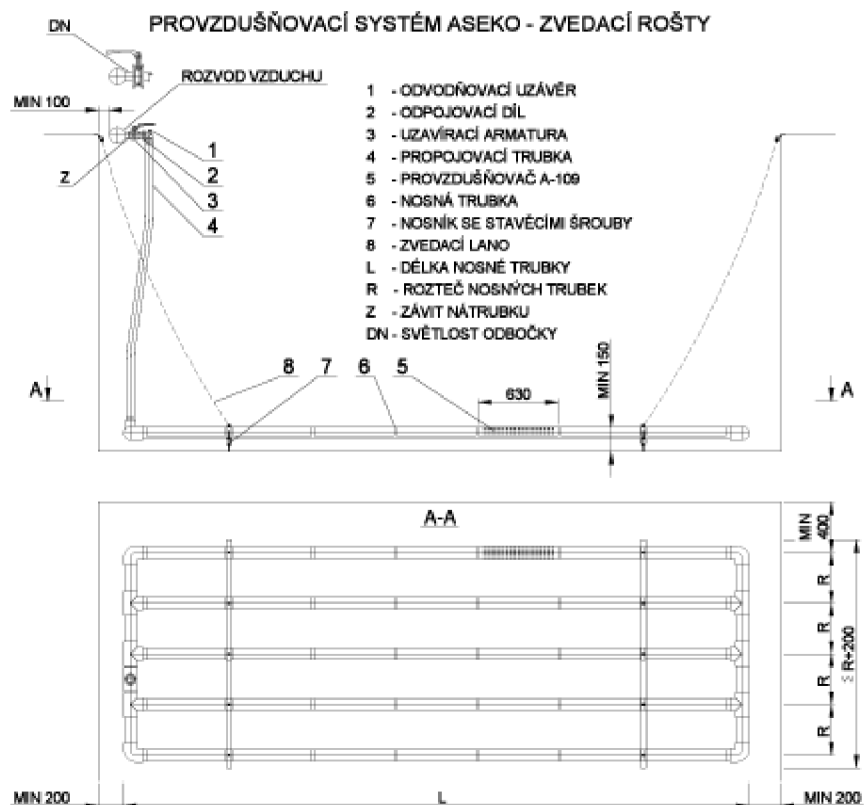
Provzdušňovače A-109 mají vysokou účinnost vnosu kyslíku do aktivační směsi, nízkou tlakovou ztrátu a dobrou odolnost proti ucpávání.

V případě, kde je potřeba více míchat, než vnášet kyslík do aktivační směsi, se můžou osadit provzdušňovače A-109 S, se středobublinnou perforací.

Kvalitní materiály PP, PE, PVC, speciální pryž, nerezová ocel, mohou být součástí konstrukce. [14]

Systém ASEKO vyrábí i zvedací rošty, které mohou být aplikovány v případě potřeby do naplněných nádrží za plného provozu, bez nutnosti vyčerpání. Též je možné vyjímání ke kontrole, nebo čištění. Vyjímání je prováděno pomocí zvedacího zařízení, např. autojeřábem.

Nosné trubky a provzdušňovače jsou propojeny v roštu a mají společný přívodní vzduch. Nosné trubky jsou opatřeny zátěží (závažím), z důvodů vztlakové síly. Pomocí stavěcích šroubů dosedají na dno nádrže, bez dalšího kotvení. [14]

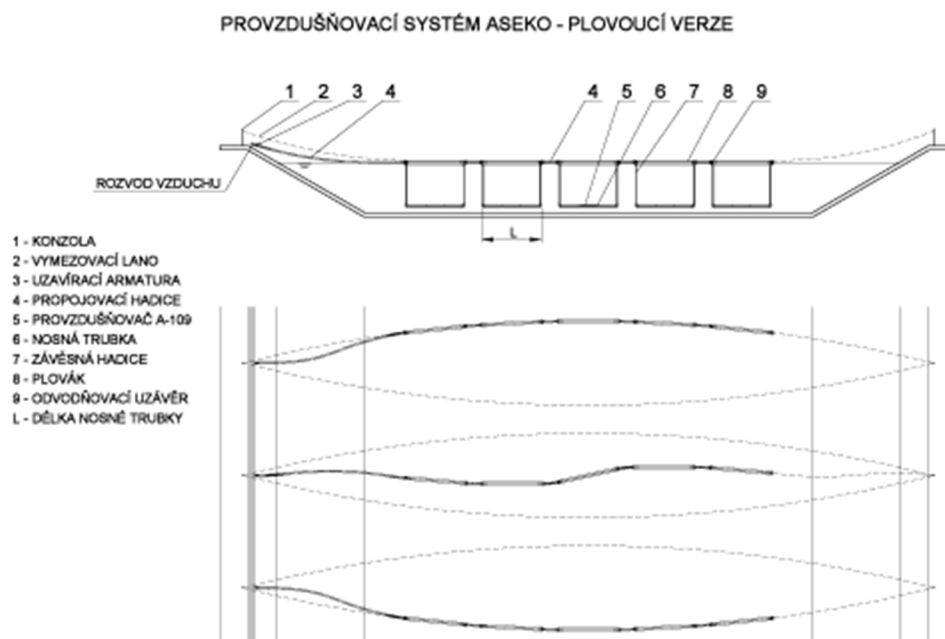


Obrázek 3.5-5 Zvedací rošty aeračního systému ASEKO [14]

Dalším provzdušňovacím produktem firmy ASEKO je plovoucí verze. Nosné trubky s provzdušňovači mají závaží, které vyvažuje vzlakovou sílu. Pomocí dvou závěsných hadic je zavěšena každá nosná trubka na dutém plováku, plavajícím na hladině. [14]

Tento systém se dá využít tam, kde není rovnoměrný tvar dna, a vzhledem k rozměrům nádrže se nedá použít klasický provzdušňovací systém. Stejně je možno tento systém využít i ve stavebně upravených nádržích s pravidelným dnem. [14]





Obrázek 3.5-6 Plovoucí verze aeračního systému ASEKO [14]

### Technické parametry aeračního systému ASEKO

Tabulka 3.5.3-1 Základní technické parametry aeračních elementů ASEKO [14]

		A-109	A-109S
Zatížení provzdušňovače vzduchem $Q_{vz,e}$	[ $m^3/h$ ]	1.5-10	2.0-15.0
Doporučené zatížení provzdušňovače vzduchem $Q_{vz,e}$	[ $m^3/h$ ]	3.5-6.5	4.0-13.0
Tlaková ztráta v závislosti na průtoku $\Delta p$	[kPa]	3.0-7.0	2.0-5.0
Maximální plošná hustota provzdušňovačů $D_s$	[ $ks/m^2$ ]	6.0	4.0
Využití kyslíku za standardních podmínek $E_a$	[%/m]	5.0-7.0	2.0-4.0
Standardní výtěžnost kyslíku $E^*$	[ $kg O_2/kWh$ ]	3.0-5.0	2.0-3.5

### Výhody aeračního systému ASEKO

- Široké uplatnění u uměle vytvořených nádrží i přírodních nádrží
- Nízká tlaková ztráta

- Odolnost proti ucpávání
- Možnost kontinuálního i přerušovaného procesu
- Úspora energie

[14]

### 3.5.4 Aerační systémy ATER

Aerační systémy ATER jsou světovou značkou, která se zabývá provzdušňovacími zařízeními a vyrábí systém ATAir. Tento systém je jemnobublinný a hrubobublinný. U jemnobublinného je dále nabízena varianta: disc, tube, panel. Hrubobublinný aerační systém ATER nabízí více variant, jsou jimi: MaxAir, MaxAir SS, Perma/Flex Cap, HexAir. [15]

#### Jemnobublinný diskový aerační systém ATAir:

Difuzor je vybaven membránou z kvalitního materiálu. Tyto materiály jsou patentově chráněny. Sestava difuzoru je vyrobena z PP, vyztuženého skleněnými vlákny, pro maximální výkon. Vysoké množství perforace napomáhá optimalizaci výkonu, difuzoru pro maximální provozní účinnosti, kapacity pro úpravu vzduchu, nebo provozní tlak.

#### Technické parametry jemnobublinného diskového aeračního systému ATAir:

- Možnost se závity, nebo sedlová montáž
- Tři průměry: 178 mm, 230 mm a 305 mm
- Membránové, nebo keramické
- Polypropylen se skelnými vlákny.

[15]



Obrázek 3.5-7 Jemnobublinný diskový aerační systém ATAir [15]

#### Jemnobublinný trubkový aerační systém ATAir:

Speciálně perforované membránové rukávy s pryžových materiálů. U nestandartních domácích, nebo průmyslových použití, jsou dispozici alternativní membránové materiály, včetně uretanu, silikonu a dalších speciálních polymerů.

Zpětný ventil má trojitý systém, který minimalizuje vniknutí vody a pevných částic do difuzoru a zařízení na zásobování vzduchu. [15]

#### Technické parametry jemnobublinného trubkového aeračního systému ATAir:

- Možnost se závit, nebo sedlová montáž
- Dva průměr: XL (65 mm), Magnum (92 mm)
- Celoobvodová perforace
- K dispozici v různých délkách.

[15]



**Obrázek 3.5-8 Jemnobublinný trubkový aerační systém ATAir [15]**

Jemnobublinný panelový aerační systém ATAir:

Mini panel může být nakonfigurován na mikro póry, nebo nano póry, pro optimální provoz a výkon tlaku. Nedílnou součástí je i jako u předchozího systému trojitý zpětný ventil, který zabraňuje zpětnému vniknutí do difuzoru a potrubí.

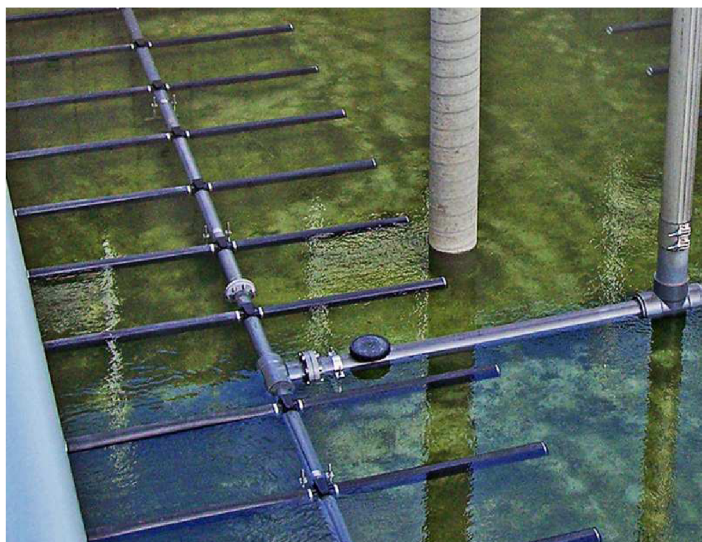
Tento difuzér je vyroben z PVC z důvodů maximální chemické odolnosti a mechanické odolnosti. Díky alternativním membránovým materiálům, a perforace, jsou k dispozici pro nestandardní průmyslové, nebo městské aplikace.

Speciální sedlo na hoře, umožňuje speciální mechanickou odolnost, snadnou instalaci a údržbu. Toto sedlo, je možné přemístit, nebo přidat difuzory tak, aby odpovídali požadavkům procesu. [15]

Technické parametry jemnobublinného panelového aeračního systému ATAir:

- Saddle montáž
- 190 mm panel
- K dispozici v materiálech PVC
- Perforace seshora
- Standartní délka 1,36 m
- Sedlo nahoře.

[15]



Obrázek 3.5-9 Jemnobublinný panelový aerační systém ATAir [15]

#### Výhody aeračního systému ATAir

- Automatický odvodňovací prvek
- Možnost měření tlakové ztráty na membráně
- Nízká tlaková ztráta
- Odolnost proti ucpávání

[15]

### **3.5.5 Aerační systémy EKOMVO**

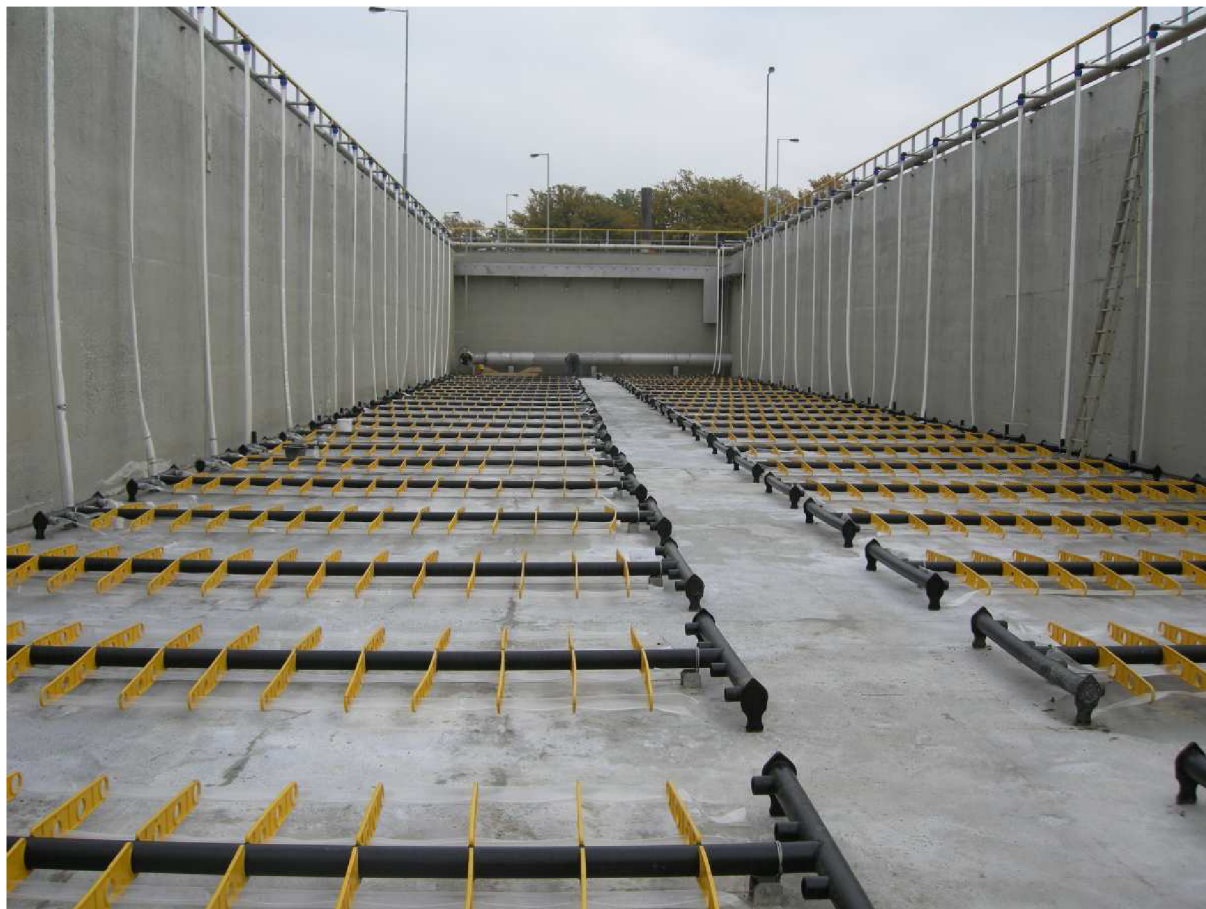
Aerační systémy EKOMVO, jsou uplatňovány k míchání i provzdušňování nádrží. Převážně jsou pak uplatňovány u komunálních a průmyslových čistíren odpadních vod, případně u nádrží s chovem ryb. [16]

#### Popis hlavních částí aeračního systému

Kyslík je do vody přenášen pomocí aerační membrány s jemnobublinnou, nebo středobublinnou perforací. Materiál membrány je modifikovaný polyuretan, odolný

mikroorganismům a hydrolýze. Membrána je zhotovená v dostatečné tloušťce, z důvodů odolnosti a zároveň schopnosti předání vysokému množství vzduchu.

Kotevní systém je z polypropylenových roštů, které sami o sobě takřka nepodléhají opotřebení, jejich životnost překračuje morální životnost systému. Výrobce doporučuje po zhruba pěti letých cyklech nepřetržitého provozu, měnit aerační membrány. To z důvodu změny křivky výtěžnosti kyslíku, což se projeví na spotřebě elektrické energie a výtěžnosti vzduchových dmychadel. [16]



Obrázek 3.5-10 Aerační systém EKOMVO [16]

Systém má tři základní varianty, závislé na počtu instalovaných membrán na aeračním elementu, jsou jimi:

- Rošt se dvěma hadicemi
- Rošt se čtyřmi hadicemi
- Rošt se šesti hadicemi

[16]

Aerační elementy mohou být kotveny více způsoby, podle závislosti na způsobu instalace a podle potřeby:

- Na pevno - aerační systém je do dna nádrže pevně přišroubován nerezovými vruty a plastovými hmoždinkami, případně pomocí chemické kotvy. Ty pak fixují rošty díky nerezovým objímkám, které mohou plnit funkci i případného vyrovnání nerovností podloží.
- Zátěžovým způsobem - aerační systém je navržen tak, že páteřová trubka je vyplněna zátěžovým materiálem a každý jednotlivý aerační element je dimenzován na stabilitu oproti hydraulickému vztlaku kapaliny. Rošty lze pak vyjmout z nádrže za provozu, bez vypuštění nádrže.
- Plovoucím způsobem - Každý aerační rošt je sólo kotven pomocí systému nerezových lanek a průvlaků. Rošty jsou ke dnu přitaženy do pracovní polohy. V případě potřeby vyjmutí za provozu, se pomocí oboustranného rumpálku s automatickou spojkou uvolní systém lanek a rošt samočinně vyplave na hladinu. [16]



Obrázek 3.5-11 Aerační systém EKOMVO [16]

## Technické parametry aeračního systému EKOMVO

Tlakové ztráty na zatížení provzdušňovací hadice vzduchem

(průměr hadice 65 mm, hustota 168 otvorů/100 mm hadice – ponor 440 mm od osy hadice – průpich 4 mm)

**Tabulka 3.5.5-1 Základní technické parametry aeračních elementů EKOMVO [16]**

Zatížení	tlaková ztráta			Zatížení	tlaková ztráta			T
[m <sub>3</sub> /hod/m]	vzestupně	sestupně	průměr	[m <sub>3</sub> /hod/m]	vzestupně	sestupně	průměr	[mm]
1.5	46.8	47.5	47.15	5	70.5	69.2	69.85	0.61
2	50.7	50.9	50.8	5.5	73.1	71.7	72.4	0.57
2.5	54.2	54.5	54.35	6	75.5	73.9	74.7	0.59
3	58	57.5	57.75	6.5	77.3	76	76.65	0.58
3.5	61.6	60.5	61.05	7	78.9	78	78.45	0.6
4	64.9	63.7	64.3	7.5	80.8	80	80.4	0.61
4.5	67.9	66.5	67.2	8	82.6	82.6	82.6	
průměr	57.73	57.3	57.51		76.96	75.91	76.44	0.59

Využití kyslíku (OC): cca 4,0 kg O<sub>2</sub>/kWh

Procentuální využití kyslíku: cca 6% / 1m hloubky ponoru

## Výhody aeračního systému EKOMVO

- Snadná montáž a následná údržba
- Dlouhá životnost
- Vysoká schopnost předání kyslíku odpadní vodě
- Vhodné pro rekonstrukce a intenzifikace ČOV.

[16]



### 3.5.6 Aerační systém OTT GROUP

Aerační systémy firmy OTT GROUP jsou určeny k míchání a provzdušňování aktivačních nádrží u komunálních i průmyslových čistíren odpadních vod. Zařízení firmy OTT GROUP je na předních odborných institucích, univerzitách a u odborníků **považováno za etalon ve svém oboru**. Kvalitní provedení s dlouhou životností se promítne na ceně, která je vyšší a bohužel proto není systém tolik používán v ČR. [20]

#### Popis hlavních částí aeračního systému

Jedná se o výrobky typu MAGNUM a dále STANDARD, oba elementy trubkového provedení, které je možno instalovat na rošt typu AirRex, čtyřhranech PP potrubním rozvodu, závěsné, atd., jak v jemnobublinné, tak i středobublinné. Tento komplet se s membránou FLEXSIL vyznačuje násobnou životností (16 a více let) a úsporností membrány oproti výrobkům, standardně prodávaných na trhu.

Dalším elementem firmy OTT GROUP je talířový element D-REX 9“, který díky membráně nahradí výkonem 12“ element a úsporou vzduchu je opět o cca 23 % výkonnější, jak srovnatelné zařízení. Životnost vzhledem k obdobné hmotě membrány, se uvažuje v obdobném provozním intervalu. [20]

#### **D-REX – talířový provzdušňovač**

Materiál membrán odolává vysokým teplotám a též pak náročným odpadním vodám. Složení materiálu zajišťuje vysokou odolnost a snižuje tvorbu usazenin. Bezrámová konstrukce umožňuje velkou aktivní plochu membrány a s tím souvisí i vyšší výkon až o 20 %. Talířové provzdušňovače D-REX (obr. č. se dají namontovávat na nerezové, plastové, PVC a OTT AirRex rošty. Každá varianta má svůj přípojovací nástavec. [20]



Obrázek 3.5-12 Talířové provzdušňovače D-REX firmy OTT GROUP [20]

#### Technické parametry talířového provzdušňovače D-REX

- Vnější průměr: 275 mm
- Aktivní plocha membrány:  $\varnothing$  265 mm,  $A = 0,055\text{m}^2$
- Výška: 46 mm
- Připojovací závit:  $\frac{3}{4}$ " vnitřní závit BSP
- Celková hmotnost: 641 g
- Maximální zatížení  $6\text{ Nm}^3/\text{h}$

[20]

#### Výhody talířového provzdušňovače D-REX

- Odolnost materiálu
- Masivní konstrukce
- Jednoduchá a rychlá montáž
- Efektivní odplynění při všech úrovních zatížení elementu
- Úspora energie a dmychadel

[20]

### 3.5.7 Provdzušňovací turbína BSK

Provdzušňovací turbína BSK je jedním z dalších možností mechanického promíchávání a provdzušňování aktivačních nádrží biologických čistíren odpadních vod, charakteru průmyslového a splaškového. Je to nízkootáčkový povrchový aerátor se svislou osou, který za neustálého promíchávání obsahu nádrže, sytí vodu vzdušným kyslíkem. [17]



Obrázek 3.5-13 Provdzušňovací turbína BSK [17]

#### Popis hlavních částí provdzušňovací turbíny BSK:

Oběžné kolo provdzušňovací turbíny je ponořeno do kapaliny, kterou provdzušňujeme. Oběžné kolo je připojeno k hřídeli, která vede z převodovky, popřípadě přímo na prodlužovací hřídeli převodovky, čím je dosažena potřebná vzdálenost převodovky s elektromotorem od hladiny a tím je i lépe přístupný motor, či převodovka k případným opravám, či údržbě. Z důvodů regulace ponoru a výkonu aerátoru jsou na prodlužovacím závěsu trojúhelníkového tvaru tři kotevní a stavitelné šrouby. [17]

Přednosti tohoto systému jsou:

- Nízké náklady vynaložené na energii v souvislosti na odbourání 1 kilogramu BSK<sub>5</sub> – 1,1 až 0,43 kWh/kg
- Vysoký vnos kyslíku do aktivační směsi za standartních podmínek – 1,8 až 2,6 kg O<sub>2</sub> / kWh

[17]

## Technické parametry provzdušňovací turbíny BSK:

**Tabulka 3.5.7-1 Základní technické parametry provzdušňovací turbíny BSK [17]**

Průměr oběžného kola	Otáčky	Obvodová rychlost	Výkon el. Motoru	Kyslíkový vnos
[mm]	[1/min]	[m/s]	[kW]	[kg O <sub>2</sub> /hod]
500	142	3.65	1.5	1.8-3.05
	151	3.95	2.2	2.1-3.6
	188	4.92	3	3.3-5.5
710	76	2.8	2.2	2.1-3.9
	104	3.88	3	3.8-6.3
	128	4.78	4	4.8-8.1
1000	72	3.77	4	5.1-8.6
	86	4.49	5.5	7.3-12.2
	93	4.85	7.5	8.4-14.1
1250	78	3.1	5.5	5.85-9.8
	58	3.77	7.5	7.9-13.3
	73	4.79	11	14.2-23.8
1600	48	4.04	15	19.2-32.3
	56	4.7	22	25.9-43.5
	61	5.1	30	29.8-50.0
2000	39	4.05	30	35.6-59.8
	46	4.84	45	50.0-84.0

### Výhody provzdušňovací turbíny BSK

- Nízké stavební náklady, díky jednoduchým nádržím
- Vhodné u rekonstrukce, případně intenzifikace na ČOV
- Nízké provozní náklady
- Vysoký vnos kyslíku do aktivační směsi
- Míchání obsahu celé nádrže

[17]

## 4 ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD ČESKÁ TŘEBOVÁ

Areál ČOV v České Třebové se rozprostírá severně od města v k.ú. Lhotka u České Třebové v cípu území mezi komunikací Česká Třebová – Ústí nad Orlicí a levým břehem řeky Třebovky.

Obyvatelstvo: 20 000 EO



Obrázek 4-1 Rekonstrukce ČOV Česká Třebová, dokončena v roce 2013 [21]

### 4.1 ČOV ČESKÁ TŘEBOVÁ PŘED REKONSTRUKCÍ

ČOV v České Třebové byla uvedena do provozu v roce 1973 jako mechanickobiologická a v roce 1995 byla intenzifikována. Technologická linka umožňovala odbourávání organických látek a amoniakálního dusíku. Aktivační systém ČOV nebyl uzpůsoben pro účinnou denitrifikaci. Odbourávání dusíku bylo řešeno pouze biologickou cestou. ČOV nesplňovala požadavky nařízení vlády č. 61/2003 Sb., v platném znění, v kategorii dusík. Stávající legislativě neodpovídalo ani kalové hospodářství.

Průtok na celé čistírně byl gravitační. Odpadní voda protékala mechanickým čištěním na česlích a lapáku písku, dále pak do kruhové usazovací nádrže a odtud do aktivační nádrže. Aktivační nádrž byla vybavena jemnobublinnou aerací. Z aktivační nádrže odtékala aktivační směs do kruhové dosazovací nádrže. Vratný kal byl přes strojovnu v provozní budově čerpán do zóny regenerace kalu a odtékal zpět do aktivační nádrže. Přebytečný kal byl odpouštěn do jímky odpadních vod, ze které byl následně čerpán za mechanické předčištění a sedimentoval

spolu s primárním kalem v usazovací nádrži. Dále byl kal čerpán do vyhnívací nádrže, ze které byl anaerobně vyhnílý kal přečerpán na kalová pole. Vzniklý bioplyn na ČOV nebyl nijak využíván.

## 4.2 CHARAKTERISTIKA ČOV

Pro čištění odpadních vod je uvažován nízkozatěžovaný aktivační proces na principu sekvenční (alternující) nitrifikace a denitrifikace pro odstraňování dusíkatého znečištění se současnou aerobní stabilizací kalu. Tato technologie je známá dobrým odbouráváním biologického znečištění.

Při intenzifikaci ČOV byly využity konstrukce stávajících aktivačních, dosazovacích i usazovacích nádrží pro založení čtyřech nových biologických jednotek. Dále byl vybudován nový objekt mechanického předčištění, čerpací stanice, dešťové zdrže a byla provedena rekonstrukce provozní budovy.

Vyhnívací nádrž byla přestavěna na dva kalojemy, stávající strojovna výměníků byla předělána na strojovnu kalojemů a dále byla provedena oprava stávající kotelny. Stávající objekt pro zahušťování kalu byl rekonstruován na dmychárnu a jímky přebytečného kalu. Zahuštění, odvodnění a deponie kalu byly rekonstruovány do sdruženého objektu místo stávajících kalojemů.

Jiné stávající objekty, které neměly další využití, byly odstraněny nebo demontovány (plynojem mechanické předčištění, akumulární nádrže a průmyslové linky). Byl zachován stávající měrný žlab (Parshallův) vyčištěné vody a odtokové objekty.

## 4.3 STRUČNÝ POPIS NAVRŽENÉ TECHNOLOGIE ČOV

Přes vstupní komoru a lapák šterku natékají odpadní vody na hrubé předčištění, které je tvořeno česlemi. Před hrubým předčištěním je vybudována jímka svozových vod (obr. č. 4.3-1) o kapacitě 22 m<sup>3</sup>. Instalována je stanice s přejímáním fekálních vod. Shrabky zachycené na strojních česlích (obr. č. 4.3-2), jsou lisovány šnekovým dopravníkem a dále dopravovány do kontejneru.



**Obrázek 4.3-1 Jímka pro fekální vozy**



**Obrázek 4.3-2 Strojní jemné česle IN-EKO**

Předčištěná voda pak vtéká do dvou vírových lapáků písku (obr. č. 4.3-3) s těžním písku čerpadlem. Každý výtlač DN 80 je zaústěn do společného výtlačku DN 150, který je zaústěn do separátoru písku (obr. č. 4.3-4). Vytěžený písek se dopravníkem přesouvá do kontejneru a voda zbavená písku se vrací zpět, před lapáky písku. Zdrojem vzduchu pro mamutky lapáku písku jsou kompresory, umístěné v budově hrubého předčištění.



**Obrázek 4.3-3 Vírový lapák písku**



**Obrázek 4.3-4 Separátor písku IN-EKO**

Odpadní voda zbavená štěrkem, písku a hrubých nečistot dále natéká do čerpací stanice, z které je čerpána dvojicí kalových čerpadel s maximálním čerpaným množstvím 160 l/s. Odpadní vody jsou čerpány potrubím DN 350 do rozdělovacího objektu (obr. č. 4.3-5) před biologickými linkami. Hrubé předčištění je dimenzováno na 228 l/s a vlastní biologický stupeň na 121 l/s, proto je čerpací stanice osazena přepadem k odvedení maximálních přítoků větších, než je max. čerpané množství na biologii, do záchytné dešťové nádrže. Dešťová zdrž (obr. č. 4.3-6) má kapacitu 258 m<sup>3</sup> a její vyprazdňování se provádí pomocí ponorného čerpadla zpět do jímky čerpací stanice.





**Obrázek 4.3-5 Rozdělovací objekt**



**Obrázek 4.3-6 Dešťová zdrž o kapacitě 258 m<sup>3</sup>**

Zdrojem vzduchu pro aeraci na biologických linkách (obr. č. 4.3-7) jsou dmychadla v sestavě 4+1 (obr. č. 4.3-8), každé o výkonu  $Q = 1016 \text{ m}^3 / \text{hod}$ . Provoz dmychadel, je řízen kyslíkovou sondou v každé aktivační nádrži v závislosti na skutečném obsahu kyslíku. Dále je instalováno mechanické míchadlo v každé aktivační nádrži z důvodů zabezpečení vnosu aktivovaného kalu a tím zvýšení účinnosti čištění.



**Obrázek 4.3-7 Biologické linky (4)**



**Obrázek 4.3-8 Dmyhadla pro biologické linky**

Vyčištěná odpadní voda odtéká přes terciální dočištění (obr. č. 4.3-9) a měrný Parshalluv žlab (obr. č. 4.3-10) do recipientu. Pro zachycení zbytkových nerozpuštěných látek na odtoku je navržen mikrosítový filtr, který má nainstalovanou jímku s čerpadlem, pro čerpání zachyceným nečistot do jímky přebytečného kalu.



**Obrázek 4.3-9 Objekt terciálního dočištění**



**Obrázek 4.3-10 Parshallův žlab**

Z biologických jednotek odtéká přebytečný kal gravitačně do dvou jímek přebytečného kalu, každá o kapacitě  $120 \text{ m}^3$ . Jímky jsou míchány kvůli zabránění usazované vratného kalu. Z jímek přebytečného kalu je pomocí dvou vřetenových čerpadel  $Q = 9-25 \text{ m}^3 / \text{h}$  a maximálnímu tlaku 4 barů přebytečný kal čerpán na strojní zahuštění kalu (obr. č. 4.3-11). To je v nové budově a zároveň slouží i jako odvodnění kalu. Linka pro strojní zahuštění kalu je tvořena dvěma pásovými zahušťovači o výkonu  $2 \times 20 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Kalová voda od zahušťovačů je čerpána na přítok do ČOV. Zahuštěný kal je čerpán dvěma výtlačnými řady do kalojemů pomocí dvojicí čerpadel s průtokem  $Q = 3-10 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Rekonstrukce stávající vyhnivací nádrže,

byly vybudovány dva kalojemy o objemu  $2 \times 420 \text{ m}^3$ . Vznikly vložení dělicí stěny do stávající válcové nádrže. Kalojemy jsou zastřešeny a prostor nad hladinou je nuceně odvětráván přes dezodorizační jednotku. Kalojemy slouží k aerobní stabilizaci kalu a jsou vybaveny středobublinnou aerací. Ve strojovně kalojemů jsou osazena tři dmychadla v sestavě 2+1 a v nádrži jsou též osazena ponorná míchadla k homogenizaci kalu před odvodněním. Kalojemy mají bezpečnostní přeliv, který vede do kanalizace.

V případě nemožnosti skladování odvodněného kalu, nebo nemožnosti odvozu kalu, je možné kal čerpat na kalová pole, umístěna mimo areál ČOV. Ve strojovně kalojemu jsou osazena dvě vřetenová čerpadla, která slouží k čerpání stabilizovaného kalu na kalová pole stávajícím potrubím.



**Obrázek 4.3-11 Strojní zahuštění kalu**



**Obrázek 4.3-12 dekadenní odstředivka**

V budově se zahuštěním kalu je navržena i odvodňovací linka, která je tvořena dekadenní odstředivkou (obr. č. 4.3-12) o výkonu  $7 \text{ m}^3 / \text{h}$ . Odvodněný kal je dopravován šnekovým

dopravníkem do vedlejší haly, ze které je pásovým dopravníkem (obr. č. 4.3-13) rozdělován do dvou kontejnerů.

Z důvodů nedostatečného tlaku vody pro potřeby ČOV je navržena automatická tlaková stanice (ATS) (obr. č. 4.3-14). Stanice je umístěna v suterénu provozní budovy a její maximální výkon činí  $Q = 15 \text{ l/s}$ ,  $p = 0,6 \text{ MPa}$ .



Obrázek 4.3-13 Pásový dopravník



Obrázek 4.3-14 Automatická tlaková stanice

#### 4.4 STÁVAJÍCÍ BIOLOGICKÁ LINKA A AERACE NA ČOV

Odpadní voda natéká z rozdělovacího objektu do 4 biologických jednotek – aktivačních nádrží s vestavěnou dosazovací nádrží OMS Simplex (obr. č. 4.4-1). Užitiný objem aktivační nádrže je  $1405 \text{ m}^3$  a objemové zatížení  $0,21 \text{ kg BSK}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{den}$ . Hloubka vody je 6,5 m.

Provzdušňování každé nádrže zajišťuje jemnobublinný aerační systém pomocí provzdušňovacích elementů OMS – 120 ks o délce 1,0 m., které jsou umístěny na čtyřech

nerozových konstrukcích. Současně se dosáhne i intenzivního promíchávání natékané surové vody a aktivovaného kalu. Tímto dochází k maximálnímu využití kyslíku a je osazeno usazovacími klapkami DN 80 pro regulaci, popřípadě uzavření přívodu vzduchu. V případě poruchy se uzavře příslušná armatura pro daný provzdušňovací rošt. Dostatečný vnos kyslíku je zajištěn dmychadly Kubíček 3D45B 125K, která jsou řízena kyslíkovou sondou na základě koncentrace kyslíku v aktivaci.

Rozvod vzduchu kolem biologických linek tvoří nerezové potrubí DN 100 s napojovacím potrubím DN 80, které je vedeno nahoru přes zhlaví nádrže a je napojeno na nerezové potrubí DN 80 vedoucí pod hladinu k jednotlivým provzdušňovacím roštům a dně nádrží. Z důvodu zabezpečí vnosu aktivovaného kalu a tím zvýšení účinnosti čištění (zejména denitrifikace) je navrženo míchání každé aktivační nádrže pomocí ponorného horizontálního míchadla Flygt SR 4410.011, P = 2,3 kW, průměr vrtule 1700 mm, otáčky vrtule 38 ot. / min. Příslušenství k míchadlům je jeřáb otočný o nosnosti 300 kg.



Obrázek 4.4-1 Biologické jednotky - aktivační nádrž s vestavěnou dosazovací nádrží

#### 4.4.1 Základní technické a technologické parametry biologických jednotek

Objem jedné linky	1405 m <sup>3</sup>
Objem aktivací celkem	5620 m <sup>3</sup>
Objemové zatížení	$B_v = 0,21 \text{ kg BSK}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{den}$
Látkové zatížení	$B_x = 0,042 \text{ kg BSK}_5 / \text{kg suš.} \cdot \text{den}$

Koncentrace sušiny aktivovaného kalu  $X = 5 \text{ kg suš. / m}^3$

Stáří kalu  $T_x = 25,4 \text{ d}$

Kalový index  $Kl = 100 \text{ ml / g}$

### Parametry dosazovací nádrže:

Objem 1 dosazovací nádrže  $V_{dn} = 497 \text{ m}^3$

Objem DN celkem  $1988 \text{ m}^3$

Plocha jedné dosazovací nádrže  $A_{dn} = 141 \text{ m}^2$

Plocha DN celkem  $564 \text{ m}^2$

Množství vratného kalu pro 1DN  $Q_{vk} = 59,4 \text{ m}^3 / \text{hod}$

Max. plošné zatížení  $v_{dn} = 0,77 \text{ m / hod}$

$Q_{max} = 30 \text{ l / s}$  (pro jednu dosazovací nádrž)

## 4.5 NÁVRH BIOLOGICKÉHO STUPNĚ

V této kapitole je proveden návrh alternativního biologického stupně, jedná se o oběhovou aktivační nádrž s jemnobublinnou aerací a vertikální kruhovou dosazovací nádrž.

### 4.5.1 Návrh oběhové aktivační nádrže

#### Vstupní parametry

Tabulka 4.5.1-1 Hodnoty k výpočtu aktivační nádrže. Použité hodnoty odpovídají ČSN 736701

Název		Jednotky	Celkem
Počet obyvatel	EO		20 000
Specifické množství odpadní vody	$q_{dp}$	$\text{l/os*den}$	100
Součinitel denní nerovnoměrnosti	$k_d$		1.25
Součinitel hodinové nerovnoměrnosti	$k_h$		1.9
Biochemická spotřeba kyslíku	$BSK_5$	$\text{g/os*den}$	60
Chemická spotřeba kyslíku	$CHSK_{cr}$	$\text{g/os*den}$	120
Neusaditelné látky	NL	$\text{g/os*den}$	10
	$N_c$	$\text{g/os*den}$	12
	$P_c$	$\text{g/os*den}$	2

## Průtoky:

### Průměrný denní průtok

$$Q_{24,0} = EO \cdot q_{dp} = 20\,000 \cdot 0,19 = 3800 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

### Maximální denní průtok

$$Q_{d,0} = Q_{24,0} \cdot k_d = 3800 \cdot 1,25 = 4750 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

### Maximální hodinový průtok

$$Q_{h,0} = Q_{d,0} \cdot k_h = 4750 \cdot 1,9 = 9025 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

### Balastní vody

$$Q_B = 0,2 \cdot Q_{24,0} = 0,2 \cdot 3800 = 760 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

### Celkový denní průtok

$$Q_{24} = Q_{24,0} + Q_B = 3800 + 760 = 4560 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

### Zatížení

$$S_{dp} = EO + s_0 = 20\,000 \cdot 0,06 = 1200 \text{ kg/den}$$

$$C_o = \frac{S_{dp}}{Q_{24}} = \frac{1200}{4560} = 0,263 \text{ mg/l}$$

30% BSK se odbourává na primární sedimentaci => na biologii: 70%

$$C_{AN} = C_o - C_o \cdot E_I = 0,263 - (0,263 \cdot 0,3) = 0,184 \text{ mg/l}$$

### Návrhový objem aktivační nádrže

Koncentrace sušiny aktivovaného kalu v aktivační nádrži  $X = 3 \text{ kg} / \text{m}^3$

Kalový index:  $KI = 100 \text{ ml} / \text{g}$  ... dobře usaditelné kal

$$V_N = Q_{24} \cdot \frac{C_o}{Bx \cdot X} = 4560 \cdot \frac{0,263}{0,103 \cdot 3} = 3830,8 \text{ m}^3$$

### Návrh rozměrů oběhové aktivační nádrže:

$$B = 11 \text{ m}, \quad L = 38 \text{ m}, \quad R = 5,5 \text{ m}, \quad H = 6 \text{ m}$$

### Skutečný objem aktivační nádrže podle navržených rozměrů

$$V_{sk} = 3078 - 38,3 = 3040,7 \text{ m}^3 \quad V_{ds} = 38,3 \text{ m}^3 \Rightarrow \text{objem dělicí stěny}$$



### Doba zdržení biomasy v aktivaci

$$\theta = \frac{Vsk}{Q_{24}} = \frac{3040,7}{4560/24} = 16 \text{ hod}$$

### Objemové zatížení kalu

$$Bv = \frac{c_{AN}}{\theta} = \frac{0,184}{16} = 0,0115 \text{ kg/m}^3/\text{hod} = 0,276 \text{ kg/m}^3/\text{den}$$

$Bv = <0,1 ; 0,3> \Rightarrow$  VYHOVUJE

Volíme jemnobublinnou aeraci s hloubkou 6 metrů

### Plocha hladiny

$$Sh = \frac{Vsk}{h} = \frac{3040,7}{6} = 506,78 \text{ m}^2$$

h – hloubka aerační nádrže [m]

### Produkce kalu

$$Vkal = 1,2 \cdot Bx^{0,23} \cdot E_{biol} \cdot S_{dpAN} = 1,2 \cdot 0,1^{0,23} \cdot \frac{91,2}{100} \cdot 1040 = 670 \text{ kg/den}$$

$$S_{dpAN} = 0,7 \cdot E_{obyv} + E_1 = 0,7 \cdot 20\,000 \cdot \frac{60}{1000} + 200 = 1040 \text{ kg / den}$$

$$c_1 = \frac{S_{dpAN}}{Q_{24}} = \frac{1040}{4560} = 228 \text{ mg / den}$$

$$E_{biol} = \frac{228-20}{228} = 0,912 = 91,2 \%$$

1mg NL = 0,5 mg BSK<sub>5</sub>

## 4.5.2 Návrh aerace v oběhové aktivační nádrži

[23]

### Spotřeba kyslíku – aktivovaný kal

$$O_s = a_s \cdot E_{biol} \cdot S_{dpAN} + k_{re} \cdot W_s + 3,5 B_{NOX} = 0,5 \cdot 0,912 \cdot 1040 + 0,1 \cdot 10\,400 + 3,5 \cdot 151,8 = 2045,54 \text{ kg(O}_2\text{) / den}$$

$a_s = 0,5 \text{ kg O}_2 / \text{kg BSK}_5 \dots$  (zjištěno experimentálně a ověřeno v praxi)

$k_{re} \dots$  koeficient endogenní respirace

$k_{re} = f(B_x)$

Tabulka 4.5.2-1 tabulka hodnot endogenní respirace v závislosti na látkovém zatížení kalu [22]

$B_x$ (kg BSK <sub>5</sub> / kg · Den)	$k_{re}$
≤ 0.1	0.10
0.2	0.12
0.3	0.15
0.5	0.18
≥ 1.0	0.20

### Zatížení nitrifikovaným dusíkem

$$B_{\text{NOX}} = B_{\text{N}} \cdot 0,8 - V_{\text{kal}} \cdot 0,06 = 240 \cdot 0,8 - 670 \cdot 0,06 = 151,8 \text{ kg(N) / den}$$

$$B_{\text{N}} = \text{EO} \cdot 12 = 20\,000 \cdot 12 = 240 \text{ kg(N) / den}$$

80% dusíku je nitrifikovatelných:  $B_{\text{N}} \cdot 0,8$

6% dusíku je v přebytečném kalu:  $V_{\text{kal}} \cdot 0,06$

### Objem kalu v systému

$$W_s = \frac{S_{\text{dpAN}}}{B_x} = \frac{1040}{0,1} = 10\,400 \text{ m}^3 \text{ sušiny}$$

### Hodinová spotřeba kyslíku

$$O_{\text{sh}} = \frac{1}{16} a_s \cdot E_{\text{biol}} \cdot S_{\text{dpAN}} + \frac{1}{24} k_{\text{re}} \cdot W_s + \frac{1}{16} 3,5 B_{\text{NOX}} = \frac{1}{16} \cdot 0,5 \cdot 0,912 \cdot 1040 + \frac{1}{24} \cdot 0,1 \cdot 10\,400 + \frac{1}{16} \cdot 3,5 \cdot 151,8 = 106,18 \text{ kg(O}_2\text{) / hod}$$

### Oxygenační kapacita denní

$$OC_{\alpha} = \frac{O_s}{\alpha} \cdot \frac{C_{s10}}{C_{s10} - C_u} \cdot f_p = \frac{2045,54}{0,8} \cdot \frac{11,3}{9,18 - 1,5} \cdot 0,936 = 3521,37 \text{ kg(O}_2\text{) / den}$$

$f_p = 0,936 \Rightarrow$  koeficient pro nadmořskou výšku 550 m.n.m

$\alpha$  - koeficient využití kyslíku, bere se 0,8 až 0,9

Cs10 - rovnovážná koncentrace kyslíku při T = 10 °C : Cs10 = 11,3 g O<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>

Cs18 - rovnovážná koncentrace kyslíku při T = 18 °C : Cs18 = 9,18 g O<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>

Cu - 1 až 2 g O<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>

### Oxygenační kapacita hodinová

$$OC_h = \frac{O_{\text{sh}}}{a} \cdot \frac{C_{s10}}{C_{s10} - C_u} \cdot f_p = \frac{106,18}{0,8} \cdot \frac{11,3}{9,18 - 1,5} \cdot 0,936 = 182,79 \text{ kg(O}_2\text{) / hod}$$

### Množství (průtok) vzduchu

$$Q_{\text{vzd}} = \frac{OCh \cdot 1000}{h_A \cdot 10} = \frac{182,79 \cdot 1000}{5,8 \cdot 10} = 3151,55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

AERACE: přenos kyslíku na 1 m hloubky 10 g O<sub>2</sub>

$$h_A = h - 0,2 = 6 - 0,2 = 5,8 \text{ m}$$

## NÁVRH AERAČNÍCH PROVZDUŠŇOVAČŮ ASEKO A-109

**Tabulka 4.5.2-2 Technická data pro návrh aeračních provzdušňovačů ASEKO A-109 [14]**

Technická data	jednotky	A - 109
Zatížení provzdušňovače vzduchem $Q_{vz,e}$	( $m^3/h$ )	1.5 - 10.0
Doporučené zatížení provzdušňovače vzduchem $Q_{vz,e}$	( $m^3/h$ )	3.5 - 6.5
Tlaková ztráta v závislosti na průtoku $\Delta p$	(kPa)	3.0 - 7.0
Maximální plošná hustota provzdušňovačů $D_s$	( $ks/m^2$ )	6
Využití kyslíku za standardních podmínek $E_a$	(% /m)	5.0 - 7.0
Standartní výtěžnost kyslíku $E^*$	( $kg\ O_2/kWh$ )	3.0 - 5.0

Návrh:

$$Q_{vz,e} = 5,0 \text{ m}^3/h$$

$\Delta p = 7,0 \text{ kPa} \Rightarrow$  uvažována vyšší hodnota na provzdušňovači, zanedbána tlaková ztráta v potrubí

$$D_s = 4 \text{ ks} / m^2$$

### Počet aeračních elementů

$$N = \frac{Q_{vzd}}{Q_{vz,e}} = \frac{3151,55}{5} = 630,31 \text{ ks}$$

Volím 630 ks

$Q_{vz,e}$  – nominální průtok vzduchu jedním aeračním elementem v  $m^3 \cdot h^{-1}$

### Plocha záběru aeračních elementů

$$A = \frac{N}{D_s} = \frac{630}{4} = 157,5 \text{ m}^2$$

## NÁVRH DMYCHADEL KUBÍČEK

TYP KUBÍČEK 3D45C – 150                      3+1 ks

### Tlaková difference

$$\Delta p_c = (h \cdot 10) + \Delta p = (5,8 \cdot 10) + 7 = 65 \text{ kPa}$$

$h$  – hloubka nádrže 6 m s odečtením 0,2 m aeračního roštu nad úroveň dna

$\Delta p$  – tlaková ztráta na provzdušňovačích ASEKO A-109

$$VOLÍM \Rightarrow \Delta p_c = 70 \text{ kPa}$$

### Dodávka vzduchu dmychadel

$$Q = 3 \cdot 1152 = 3452 \text{ m}^3 / \text{hod}$$

### Porovnání dodávaného vzduchu

$$Q = 3452 \text{ m}^3 / \text{hod} > Q_{\text{vzd}} = 3151 \text{ m}^3 / \text{hod} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Q – Vzduch dodávaný 3 kusy dmychadel KUBÍČEK 3D45C - 150

Q<sub>vzd</sub> – Vzduch potřebný pro provzdušňování nádrže

### 4.5.3 Návrh dosazovací nádrže

X = 3 => koncentrace kalu

KI = 150 => kalový index odpadní vody s podílem průmyslových vod organického charakteru

Návrh dosazovací nádrže na hodinový průtok:

$$Q_h = Q_{h,o} \cdot Q_B = 376,04 + 31,67 = 407,71 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

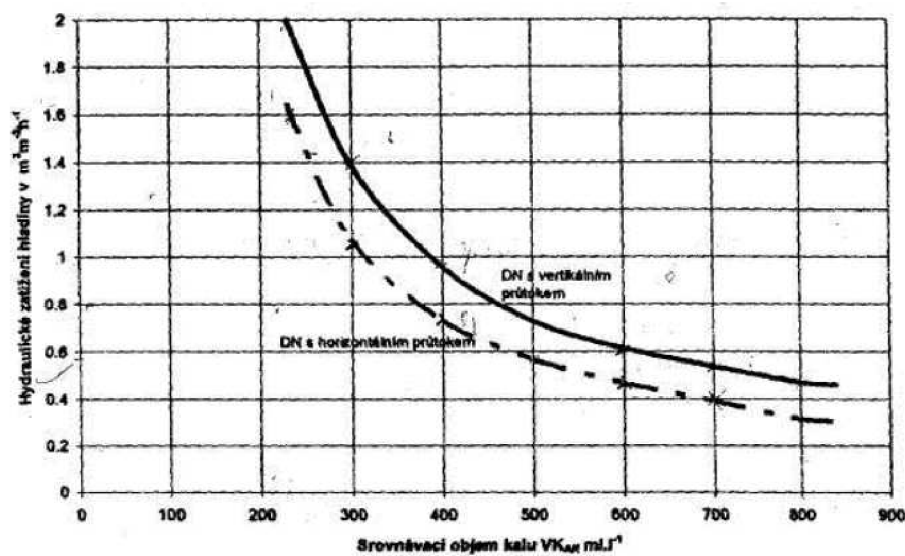
Tabulka 4.5.3-1 Základní parametry dosazovací nádrže s vertikálním průtokem dle ČSN 756401 [22]

Uspořádání průtoku dosazovacích nádrží	Střední doba zdržení $\Theta$ [h]	Povrchové hydraulické zatížení $u_n$ [ $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ]
Za aktivací	1,6	2,0

Návrh potřebné plochy

1)

$$V_{k_{AN}} = X \cdot KI = 3 \cdot 150 = 450 \text{ ml / l}$$



Obrázek 4.5-1 Hydraulické zatížení hladiny v dosazovacích nádržích [22]

$$S_{dn} = \frac{Qn}{u} = \frac{471,71}{0,8} = 589,64 \text{ m}^2$$

$$u = 0,8 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hod} \Rightarrow \text{odečteno z grafu}$$

2)

$$S_{dn} = \frac{Qn}{un} = \frac{471,71}{2,0} = 235,86 \text{ m}^2$$

3)

$$S_{dn} = \frac{Qn \cdot X}{Na} = \frac{471,71 \cdot 3}{5} = 283,03 \text{ m}^2$$

Na – nerozpuštěné látky, pro návrh 5 – 6 kg / m<sup>2</sup> / hod

$$\text{VOLÍM} \Rightarrow S_{dn} = 589,64 \text{ m}^2$$

**Návrhový objem dosazovací nádrže**

$$Vn = \frac{\theta \cdot Qn}{\eta} = \frac{1,6 \cdot 471,71}{0,4} = 1886,84 \text{ m}^3$$

$\eta$  – vstupní účinnost, pro DN = 0,4

$\theta$  – střední doba zdržení dle ČSN

**Návrh rozměrů**

$$D_1 = 27 \text{ m}, \quad D_2 = 2,5 \text{ m}$$

**Výpočet hloubky nádrže**

$$H_2 = \frac{Vn}{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2)} = \frac{1886,84}{1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (729 - 6,25)} = 3,32 \text{ m}$$

n – počet nádrží

$$\text{VOLÍM} \Rightarrow H_2 = 3,5 \text{ m}$$

**Skutečný objem dosazovací nádrže**

$$V_{sk} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot H_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (27^2 - 2,5^2) \cdot 3,5 = 1986,76 \text{ m}^3$$

**Poměr hloubky a vnitřního průměru nádrže**

$$H : D = 1 : 7,9$$

**Tabulka 4.5.3-2 Skutečné hodnoty dle ČSN**

Poměr H : D	1:4	1:8
$\eta_{sk}$ - radiální nádrž	0.22	0.38

Interpolace  $\Rightarrow \eta_{sk} = 0,38$

**Posouzení dosazovacích nádrží**

$$\begin{array}{lll} \theta_{sk} = 1,61 \text{ hod} & > & \theta_n = 1,6 \text{ hod} & \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \\ u_s = 0,83 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hod} & < & u_n = 2,0 \text{ m}^3 / \text{m}^2 / \text{hod} & \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \end{array}$$

## 4.6 POPIS NÁVRHU ŘEŠENÍ BIOLOGICKÉHO ČIŠTĚNÍ

Pro čištění odpadních vod je uvažován nízkozatížený aktivační proces typu nitrifikace a denitrifikace pro odstraňování dusíkatého znečištění se současnou aerobní stabilizací kalu. Tato technologie je známá dobrou účinností při odbourávání všech forem biologického znečištění.

### 4.6.1 Aktivační nádrž

Odpadní vody, které jsou zbaveny hrubých nečistot, šterku a písku jsou čerpány kalovými čerpadly do aktivačního procesu, který je tvořen oběhovou aktivační nádrží celkové délky 49 metrů a šířky 11 metrů. Aktivační nádrž je železobetonová monolitická s objemem 3040,70 m<sup>3</sup>, plochou hladiny 506,78 m<sup>2</sup> a hloubkou 6,5 metrů s odstupem hladiny 0,5 metrů. Aktivační nádrže je míchána dvojicí ponorných míchadel Flygt SR 4430 s průměrem vrtule 1700 mm, 54 otáčkami za minutu a výkonem 4,4 kW. Plášť míchadla je zhotoven z šedé litiny a oběžné kolo z polyuretanu.

### 4.6.2 Aerační systém

Navržený aerační systém je jemnobublinný od firmy ASEKO. Je na obou podélných stranách nádrže umístěn 0,25 metrů od stěn nádrže a 0,2 metr nade dnem. Je proveden formou dvojicí aeračních roštů, což umožňuje regulovat vnos kyslíku v jednotlivých částech aktivační nádrže. Aerační rošty mají rozměry 16 x 5 metrů. Rošty jsou pevně kotvené a pomocí stavitelných podpěr ukotveny ke dnu nádrže. Nosné trubky s provzdušňovači jsou navzájem propojeny do roštu se společným příívodem vzduchu.

Provzdušňovače A- 109 jsou tvořeny membránami ze speciální pryže a jsou jemně perforovány. Za provozu systému membrána vytváří vývin jemných bublinek a při přerušení provozu brání vniku odpadní vody do vzduchového systému.

Rozvod vzduchu je v místě příívodu vzduchu vybaven odbočkou s přírubovým spojem. Vzduch je k oběma roštům přiveden přes uzavírací armaturu, spojovací díl a propojovací trubku. Spojovací díl je umístěn 1 metr pod hladinu v nádrži a spojuje horní díl příívodu vzduchu k roštu. Je z nekorodující oceli a propojovací trubka je z PVC. Každý rošt je vybaven zařízením pro odvod zkondenzované vody. Od odvodňovacího uzávěru vede samostatná trubka po stěně nádrže, až do spodu páteřní trubky aeračního roštu a po otevření odvodňovacího uzávěru se zkondenzovaná voda vytlačí tlakem vzduchu nad hladinu.

### 4.6.3 Dmychadla

Do systému aerace je vháněn vzduch díky ROOTsovým dmychadlům firmy KUBÍČEK VHS. Dmychadla jsou v sestavě 3 + 1, přičemž 3 jsou provozní a jedno stejného výkonu slouží jako rezervní. Každé dmychadlo dodává vzduch v rozsahu množství 569,4 až 1710 m<sup>3</sup> / hod a je řízeno frekvenčním měničem v rozsahu 25 – 50 Hz. Otáčky dmychadla jsou úměrná dodávce vzduchu 1475 až 4118 ot. / min. Dmychadlo je navrženo pro tlakovou diferenci 70 kPa.

Dodávka dmychadla je s motorem ACM 200L, 37 kW a otáčkami motoru 2955 ot. / min. Součástí soustrojí dmychadla a motoru je tlumič sání s filtrem, tlumič výtlaku, sdružený pojistný ventil a rozběhový ventil, zpětná klapka, pružné připojení výtlaku, řemenový převod včetně krytu, rám soustrojí, pružné uložení, manometr výtlaku a sání, a protihlukový kryt. Hmotnost dmychadla a elektromotoru je 905 kg, včetně protihlukového krytu.

### 4.6.4 Dosazovací nádrž

Dosazovací nádrž je kruhového tvaru s vertikálním přítokem. Nádrž je monolitická, na místě betonovaná s vnitřním průměrem 27 metrů a průměrem uklidňujícího válce 2,5 metrů. Hloubka nádrže u obvodové stěny je navržena na 4,0 metru z toho 0,5 metru je odstup hladiny. Objem nádrže činí 1986,76 m<sup>3</sup> a plocha hladiny je 567,65 m<sup>2</sup>. Zařízení na odstranění plovoucích nečistot je umístěno na pojezdové dráze šířky 0,5 metrů. Spád dna je 6%. Průměr svislé části přítokového potrubí je 800 mm. Odtokový žlab je umístěn po obvodě a k dispozici je jedna přepadová hrana. K zabránění výnosu nerozpuštěných látek slouží deflektor pod odtokovým žlabem. Voda z dosazovací nádrže odtéká na terciální dočištění, pro zachycení zbytkových nerozpuštěných látek z biologického čištění.

## 5 ZÁVĚR

Hlavním cílem bakalářské práce je seznámení se s aerací na čistírnách odpadních vod. A s aplikací aerace v aktivačních nádržích při biologickém čištění odpadních vod. Především jsem v první části popsal biologické čištění odpadních vod a aeraci pneumatickou, mechanickou, hydropneumatickou a kombinovanou. Dále se práce zaměřuje převážně na pneumatickou aeraci jemnobublinnou, její výhody a obsluhu. Popsal jsem i některé české a zahraniční výrobce, u kterých jsem uvedl typy, výhody, použití, energetickou náročnost a účinnost aeračních elementů.

V současnosti na trhu převládají jemnobublinné pneumatické aerační systémy. Méně se používají středobublinné a hrubobublinné. Aplikovány mohou být i mechanické aerátory buď horizontální, nebo vertikální, ale používají se spíše v kombinaci s pneumatickou aerací. Přestože mají mechanické aerační systémy výrazně nižší pořizovací náklady, snadnější kontrolu a menší provozní náklady, tak oproti jemnobublinné aeraci mají nižší výtěžnost kyslíku. Proto má dnes vyšší využití spíše pneumatická aerace jemnobublinná, u které se předpokládá její zdokonalování a snižování její energetické náročnosti do budoucna.

Dnes je nepřehledné množství výrobců pneumatických aeračních systémů, proto jsem vybral ty nejznámější a nejpoužívanější tuzemské i zahraniční výroby jako jsou Kubíček (Velké Losiny), Fortex (Šumperk), ASEKO (Chromeč) a další. Pro výběr na danou lokalitu může být aplikován v podstatě každý výrobce. Instalují se u nových ČOV, ale uplatnění najdou i při rekonstrukcích aktivačních nádrží.

V druhé části jsem v bakalářské práci popsal ČOV v České Třebové se zaměřením na aeraci a biologické linky včetně jejich technických a technologických parametrů. Dále jsem v druhé části provedl alternativní výpočet biologické linky s oběhovou aktivací a kruhovou dosazovací nádrží. V aktivaci jsem navrhl aerační systém, který je aplikován na data z první části bakalářské práce. Aeraci jsem navrhl pneumatickou jemnobublinnou v kombinaci se dvěma ponornými míchadly, včetně návrhu dmychadel.



## 6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] REŠETKA Dušan, Stokování a čištění odpadních vod II, Čištění odpadních vod, Vysoké učení technické v Brně, 1990, 194 s. ISBN 80-214-0168.
- [2] ČÍŽEK Pavel, HEREL František, KONÍČEK Zdeňek, Stokování a čištění odpadních vod, SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1970, 400 s.
- [3] Kalové hospodářství. [Http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/](http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Bara/) [online]. [cit. 2015-03-18]. Dostupné z: [www.vsb.cz](http://www.vsb.cz)
- [4] HLAVÍNEK Petr, NOVOTNÝ Dušan, Intenzifikace čistíren odpadních vod, 2. vyd., BRNO NOEL 2000, 1996, 235s.
- [5] TUČEK F., CHUDOBA J., KONÍČEK Z., a kol., Základní procesy a výpočty v technologii vody, 2. vyd., SNTL Praha, 1988, 640s.
- [6] MALÝ J., MALÁ J., Chemie a technologie vody, 2. vyd., ARDEC – Brno, 2006, 329 s. ISBN 80-86020-50-9
- [7] HLAVÍNEK P., MIČÍN J., PRAX P., Příručka stokování a čištění, 1. vyd., BRNO NOEL 2000, 2001, 272 s. ISBN 80-86020-30-4
- [8] *Roštový systém jednobublinné aerace* [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/1010-usporny-provzdušovací-system-pro-čistírny-odpadních-vod-zaplaveny-bioreaktor-a-zkrapeny>
- [9] *Rootsova dmyhadla* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.lutos.cz/dmyhadla-di.htmroubova-dmyhadla.html>
- [10] *Šroubová dmyhadla* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/energeticky-usporna-sroubova-dmyhadla.html>
- [11] *Dmyhadla s bočními kanálky* [online]. [cit. 2015-05-08]. Dostupné z: <http://www.bibus.cz/prehled-produktu/environmentalni-technologie/aeracni-zarizeni/dmyhadla-a-vyvevy-s-bocnimi-kanaly/>
- [12] CENTER FOR ENVIRONMENTAL, office of research and development Design manual, Fine pore aeration systems, September 1989, 305s. EPA/625/1-89/023

- [13] *Aerační systémy FORTEX* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.fortex.cz/cz/cistirny-odpadnich-vod/produkty/aeracni-systemy/>
- [14] *Aerační systémy ASEKO* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.asekochromec.cz/>
- [15] *Aerační systémy ATER* [online]. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.wastewater.com/>
- [16] *Aerační systémy EKOMVO* [online]. [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.ekomvo.cz/index.php/main-2/aeracni-systemy>
- [17] *Provzdušňovací turbína BGS* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.gess.cz/>
- [18] *Aerační systémy Kubíček* [online]. [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://kubicekvhs.cz/cs/>
- [19] PAVLÍK, Antonín. 2002. Zkušenosti s jemnobublinnými aeračními systémy. *Časopis SOVAK*. ISSN <http://www1.sysnet.cz/projects/env.ris/ekodisk-new>.
- [20] *Aerační systémy OTT GROUP* [online]. [cit. 2015-05-06]. Dostupné z: <http://www.ott-group.com/>
- [21] *Rekonstrukce ČOV* [online]. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://zpravodaj.probit.cz/2013/6\\_13web/COV\\_dokoncena.htm](http://zpravodaj.probit.cz/2013/6_13web/COV_dokoncena.htm)
- [22] HLAVÍNEK Petr, HLAVÁČEK Jiří: Čištění odpadních vod – praktické příklady výpočtů, NOEL 2000, 1996, 196 s. ISBN 80-86020-00-2.
- [23] *Návrh aeračních systémů čistíren odpadních vod: Pneumatiká aerace*. Praha 4: Odvětvové normalizační středisko, 1997.

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.5.2-1 Základní technické parametry aeračních elementů FORTEX [13] .....	31
Tabulka 3.5.3-1 Základní technické parametry aeračních elementů ASEKO [14].....	34
Tabulka 3.5.5-1 Základní technické parametry aeračních elementů EKOMVO [16] .....	41
Tabulka 3.5.7-1 Základní technické parametry provzdušňovací turbíny BSK [17] .....	45
Tabulka 4.5.1-1 Hodnoty k výpočtu aktivační nádrže. Použité hodnoty odpovídají ČSN 736701 .....	56
Tabulka 4.5.2-1 tabulka hodnot endogenní respirace v závislosti na látkovém zatížení kalu [22] .....	58
Tabulka 4.5.2-2 Technická data pro návrh aeračních provzdušňovačů ASEKO A-109 [14]..	60
Tabulka 4.5.3-1 Základní parametry dosazovací nádrže s vertikálním průtokem dle ČSN 756401 [22] .....	61
Tabulka 4.5.3-2 Skutečné hodnoty dle ČSN .....	62

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2-1 Schéma klasické jednostupňové aktivace s regenerací vratného kalu [3].....	5
Obrázek 2-2 Základní schéma kalového hospodářství na ČOV [3].....	6
Obrázek 3.1-1 Roštový systém jemnobublinné aerace na ČOV [8] .....	12
Obrázek 3.1-2 Rootsovo dmychadlo [9] .....	14
Obrázek 3.1-3 Šroubové dmychadlo s konstrukcí plug-and-run. [10].....	15
Obrázek 3.1-4 Šroubové dmychadlo s konstrukcí plug-and-run. [10].....	15
Obrázek 3.1-5 Dmychadlo s bočními kanálky [11] .....	16
Obrázek 3.1-6 Schéma hydropneumatické aerace [7].....	18
Obrázek 3.1-7 Schéma kombinované aerace v oběhové aktivaci. [7] .....	18
Obrázek 3.5-1 Aerační systém firmy Kubíček (kruhová nádrž) [18].....	26
Obrázek 3.5-2 Aerační systém firmy Kubíček (oběhová aktivace) [18].....	26
Obrázek 3.5-3 Rootsovo dmychadlo společnosti Kubíček [18].....	28
Obrázek 3.5-4 Aerační elementy typu FORTEX [13] .....	29
Obrázek 3.5-5 Zvedací rošty aeračního systému ASEKO [14] .....	33
Obrázek 3.5-6 Plovoucí verze aeračního systému ASEKO [14] .....	34
Obrázek 3.5-7 Jemnobublinný diskový aerační systém ATAir [15].....	36
Obrázek 3.5-8 Jemnobublinný trubkový aerační systém ATAir [15].....	37
Obrázek 3.5-9 Jemnobublinný panelový aerační systém ATAir [15].....	38
Obrázek 3.5-10 Aerační systém EKOMVO [16].....	39
Obrázek 3.5-11 Aerační systém EKOMVO [16].....	40
Obrázek 3.5-12 Talířové provzdušňovače D-REX firmy OTT GROUP [20] .....	43
Obrázek 3.5-13 Provzdušňovací turbína BSK [17].....	44
Obrázek 4-1 Rekonstrukce ČOV Česká Třebová, dokončena v roce 2013 [21].....	46
Obrázek 4.3-1 Jímka pro fekální vozy .....	48
Obrázek 4.3-2 Strojní jemné česle IN-EKO.....	48
Obrázek 4.3-3 Vírový lapák písku .....	49
Obrázek 4.3-4 Separátor písku IN-EKO .....	49
Obrázek 4.3-5 Rozdělovací objekt .....	50
Obrázek 4.3-6 Dešťová zdrž o kapacitě 258 m <sup>3</sup> .....	50
Obrázek 4.3-7 Biologické linky (4).....	51
Obrázek 4.3-8 Dmychadla pro biologické linky .....	51
Obrázek 4.3-9 Objekt terciálního dočištění.....	52

Obrázek 4.3-10 Parshallův žlab .....	52
Obrázek 4.3-11 Strojní zahuštění kalu .....	53
Obrázek 4.3-12 dekadenní odstředivka .....	53
Obrázek 4.3-13 Pásový dopravník .....	54
Obrázek 4.3-14 Automatická tlaková stanice .....	54
Obrázek 4.4-1 Biologické jednotky - aktivační nádrž s vestavěnou dosazovací nádrží .....	55
Obrázek 4.5-1 Hydraulické zatížení hladiny v dosazovacích nádržích [22] .....	61

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV ...	čistírna odpadních vod
m ...	metr
m <sup>3</sup> ...	metr krychlový
m <sup>2</sup> ...	metr čtverečný
mm ...	milimetr
OC ...	oxygenační kapacita
PP ...	polypropylen
PVC ...	polyvinylchlorid
BSK <sub>5</sub> ...	biochemická spotřeba kyslíku, pětidenní
Kg ...	kilogram
kWh ...	kilowatthodina

## SUMMARY

In the first part of this work we are introduced to wastewater treatment plants in general, how they work, and what types of treatment processes there are, focusing on biological processes. The work then focuses on aeration in aeration tanks. The types of aeration are described as well as aeration systems, aeration grids and individual aeration components - their shapes, materials from which they are produced, and the method of anchoring the grids, or supporting pipes. The methods for anchoring aeration grids in the tanks are explained, as well as what materials they are made from, their dimensions, drainage methods and methods of supplying the air. With regard to the necessity of supplying air to the aeration system, basic types of blowers used in wastewater treatment plants for aeration are described, along with the associated ducting, air filters and air intake. In connection with aeration, the oxygen transfer into the water is discussed, and oxygenation capacity is explained, as is the use of pure oxygen in the aeration tanks. Today, fine-bubble aeration systems are most widely used in this field. For these, there is described the method of maintenance, its controls and the design of the aeration itself.

The next chapter describes the basic manufacturers of aeration systems on the market, including both domestic and foreign producers. Because of the large number of manufacturers on the market, the best known and most widely used have been selected. For each producer and its products, their main parts are discussed, along with their benefits, technical parameters etc.

The second part of this work focuses on the wastewater treatment plant in the town of Česká Třebová. First its characteristics before its renovation in 2012 are described and then there is a brief description of its equipment, which has been designed for the wastewater treatment plant in Česká Třebová today. The next chapter includes an alternative proposal for a circulation aeration tank and sedimentation tank. The aeration tank is designed with a fine-bubble aeration system with a submersible mixer.