

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCES AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

## BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

BIOLOGICAL PRETREATMENT WASTEWATER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN ROLENC

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JAN PĚČEK

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE**

student (ka): Martin Rolenc

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Biologické čištění odpadních vod**

v anglickém jazyce:

#### **Biological pretreatment sewages water**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznamte se s komunální COV Svatobořice - Místřín, nakreslete její technologické schéma, popište jednotlivá zařízení a média. Zaměřte se na způsob aktivačního procesu, rozměry aktivační nádrže a aerační zařízení. Pro dané aerační zařízení vypočtete potřebné množství kyslíku, vytipujte vhodná dmýchala a porovnejte s ekonomikou dávkování čistého kyslíku a dávkování kyslíku ze vzduchu.

Cíle bakalářské práce:

Seznámit s problematikou biologického čištění odpadních vod.

Seznam odborné literatury:

[1] Tuček J., Chudoba J., Koníček Z. : Základní procesy a výpočty technologií vody. Praha, SNTL 1988

[2] Medek J. Hydraulické pochody, VUT – FSI Brno, 2004

[3] Hlavínek P., Hlaváček J. Čištění odpadních vod - Praktické příklady výpočtu Noel 2000, Brno 1995

[4] Mazel L. Vodárny a čistírny, VUT Brno, 1986

[5] Pytl V. a kolektiv, Příručka provozovatele čistírny odpadních vod, PB tisk, s.r.o., Příbram,

## **Anotace**

### **Biologické čištění odpadních vod**

Bakalářská práce pojednává o biologickém čištění odpadních vod. Tento proces je popsán na názorném příkladu čistírny odpadních vod v obci Svatobořice – Mistrín. Především je pak zaměřena na proces aktivace, při kterém dochází k hlavnímu odbourávání nebezpečných látek a jsou spočteny její důležité parametry.

Klíčové slova: biologické čištění, čistírna odpadních vod, aktivace

## **Annotation**

### **Biological pretreatment sewages water**

This bachelors thesis is essay about biological pretreatment of sawages water. This proces is described in example of pretreatment plant in Svatoborice – Mistrin. Main part is applied to activation proces, in which are the most of dangerous substances separated. The important parameters are calculated.

Key words: biological pretreatment, pretreatment plant, activation,

## **Bibliografická citace**

Rolenc Martin. Název: *Biologické čištění odpadních vod*. Brno: Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství, 2009, 27 s.

Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pěček

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen literaturu a jednotlivé prameny uvedené v seznamu použité literatury, která je součástí této bakalářské práce.

.....  
Martin Rolenc

**Poděkování:**

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Pěčkovi za odborné vedení a poskytnuté informace, kterými významně přispěl ke zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Vodovody a kanalizace Hodonín a obsluze ČOV Svatobořice-Mistřín, speciálně pak p.Vindišovi za to, že mi umožnili nahlédnout do prostoru ČOV.

# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	7
<b>2. POPIS KOMUNÁLNÍ ČOV</b> .....	9
2.1 Hrubé předčištění (Mechanické čištění) .....	9
2.2 Čerpací stanice a hrubé předčištění .....	9
2.3 Popis jednotlivých zařízení hrubého předčištění .....	11
<b>3. BIOLOGICKÁ ČÁST</b> .....	13
3.1 Aktivace .....	13
3.2 Princip aktivace .....	15
3.2.1 Směšovací aktivace .....	16
3.2.2 Odstraňování organického, uhlíkatého znečištění .....	16
3.2.3 Vyjadřování organického znečištění.....	16
3.2.4 Odstraňování dusíku a jeho formy .....	16
3.2.5 Odstraňování fosforu .....	17
3.2.6 Nitrifikace .....	17
3.2.7 Denitrifikace .....	18
3.2.8 Aktivovaný kal a jeho vlastnosti.....	18
3.2.9 Usaditelnost kalu, kalový index.....	19
3.3 Popis jednotlivých zařízení biologické části.....	20
<b>4. KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ</b> .....	21
<b>5. VÝPOČET POTŘEBNÉHO MNOŽSTVÍ KYSLÍKU</b> .....	22
<b>6. POROVNÁNÍ DÁVKOVÁNÍ ČISTÉHO KYSLÍKU A DÁVKOVÁNÍ VZDUCHU</b> .....	25
<b>7. ZÁVĚR</b> .....	26
<b>8. SEZNAM ODBORNÉ LITERATURY A ZDROJŮ</b> .....	27

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

$L_I$	zatížení od neladitelných látek	$kgBSK_5.den^{-1}$
$L_{obyv}$	zatížení od ekvivalentu obyvatelstva	$kgBSK_5.den^{-1}$
$Q_{dprûp}$	průměrný denní průtok	$m^3.den^{-1}$
$L_{celk}$	celkové zatížení	$kgBSK_5.den^{-1}$
$L$	celkové biologické zatížení (30% BSK <sub>5</sub> se odbourá primární sedimentací)	$kgBSK_5.den^{-1}$
$S_1$	průměrná koncentrace	$mg.l^{-1}BSK_5$
$E$	celková účinnost	%
$E_{biol}$	biologická účinnost	%
$B_X$	látkové zatížení kalu	$kgBSK_5.(kg.sušiny.den^{-1})^{-1}$
$X$	koncentrace sušiny aktivovaného kalu v aktivační nádrži	$kgm^{-3}$
$V$	objem aktivační nádrže	$m^3$
$\Theta$	doba zdržení	hod
$S_h$	plocha hladiny	$m^2$
$B_{an}$	šířka aktivační nádrže	$m$
$L_{an}$	délka aktivační nádrže	$m$
$V_{kal}$	objem vyprodukovaného kalu	$kg.sušiny.den^{-1}$
$V_k$	objem kalu za den	$m^3.den^{-1}$
$W_S$	objem kalu v systému	$m^3.sušiny$
$\Theta_1$	stáří kalu	dny
$k_{re}$	koeficient endogenní koncentrace	
$L_{NOX}$	zatížení nitrifikovaným dusíkem	$kgN.den^{-1}$
$O_S$	denní spotřeba kyslíku	$kgO_2.den^{-1}$
$O_{sh}$	hodinová spotřeba kyslíku	$kgO_2.den^{-1}$
$OC\alpha$	oxygenační kapacita	$kgO_2.den^{-1}$
$OC_h$	hodinová oxygenační kapacita	$kgO_2.hod^{-1}$
$R$	recirkulační poměr	%

# 1. ÚVOD

Ochrana vod je jedním z nejdůležitějších úkolů v oblasti životního prostředí. Jakost povrchových vod ovlivňují především města, obce a průmyslové závody. Za odpadní vodu v našem případě považujeme vody komunálního charakteru, která má větší obsah znečišťujících látek. Takto znečištěné vody vnášejí do vodních toků škodlivé látky, toxiny a patogenní mikroorganismy, což má negativní vliv na existenci jiných živočichů. V určitých obdobích daných technologickým procesem zpracování hroznů a vína, mohou být přiváděny odpadní vody z tohoto procesu. ČOV je projektována pro 7500 obyvatel a je umístěna na okraji obce Místřín. Stará se o čištění odpadních vod ze čtyř obcí (Svatobořice, Místřín, Hovorany a Šardice).

Ochrana životního prostředí vyžaduje čištění odpadních vod ve zdrojích znečištění v míře potřebné pro danou lokalitu a především dle ekosystému daného toku.



## 2. POPIS KOMUNÁLNÍ ČOV

Postup čištění je prováděn ve 3 hlavních procesech

- hrubé předčištění
- biologická část
- kalové hospodářství

### 2.1 Hrubé předčištění (Mechanické čištění)

#### Přítok do ČOV

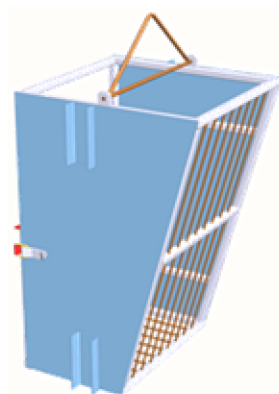
Vody přitékají do ČOV jednotnou kanalizací ze dvou směrů. Ze Svatobořic a Místřína a z Hovorán a Šardic. Vody ze Svatobořic a Místřína přitékají přes měření umístěné v šachtě před vtokem do čerpací stanice. Vedle čerpací stanice je umístěna dešťová zdrž, do které se v mimořádných případech přepouští voda z čerpací stanice. V případě naplnění dešťové zdrže je dešťová voda odpouštěna odlehčovacím přepadem. Po snížení přítoku je voda přečerpávána zpět a zdrž je vypláchnuta.

### 2.2 Čerpací stanice a hrubé předčištění

#### Čerpací stanice

Do čerpací stanice je přivedena kanalizace obcí, kanalizace ČOV a odtah plovoucích nečistot z dosazovacích nádrží. Na nátocích z kanalizace jsou osazeny česlicové koše (obr. 2.1 a 2.5) s průlinami 50mm, které slouží k zachycení hrubých nečistot. V případě, že by prošly do ČOV, mohly by mít za následek poškození čerpadel. Koše se vyklízí pomocí mobilního zvedacího zařízení.

Na dně čerpací stanice jsou umístěny tři ponorná kalová čerpadla, která jsou zapínána automaticky dle nastavených provozních hladin. Čerpadla pracují v provozu 2 + 1 (2 zapnuté, 1 vypnuté), kvůli rovnoměrnému opotřebení všech čerpadel.



Obr. 2.1 Česlicový koš [7]

#### Hrubé předčištění

Cílem hrubého předčištění je odstranění pevných nečistot. Výtlačky kalových čerpadel jsou přiváděny do žlabu před hrubé předčištění. ČOV je navržena na dané průtoky dle tab. 2.1.

Minimální denní průtok	Q <sub>min</sub>	10,2 l/s
Průměrný denní průtok	Q <sub>24d</sub>	16,5 l/s
Maximální denní průtok	Q <sub>24m</sub>	20,9 l/s
Maximální hodinový průtok splašků	Q <sub>v</sub>	39.5 l/s
Maximální dešťový průtok přes ČOV	Q <sub>min</sub>	55,6 l/s

Tab. 2.1. Hodnoty průtoků, pro něž je ČOV navržena [11]

Hrubé předčištění začíná kombinovaným lapákem písku. Ten je umístěn v betonové nádrži a skládá se jednak z mamutového čerpadla (obr. 2.3), které těžší písek ze dna nádrže pomocí přiváděného tlakového vzduchu, ale rovněž z provzdušňovacího zařízení a stíracího roštu, který

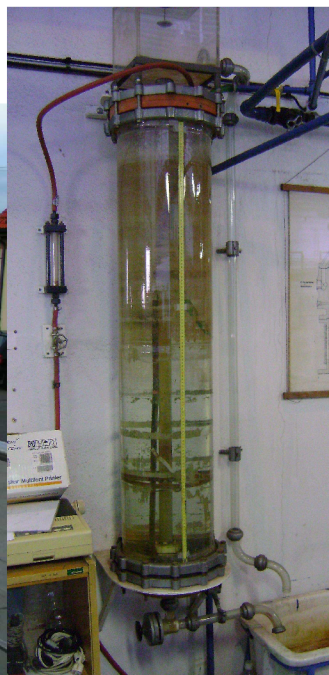
odstraňuje plovoucí nečistoty. Tyto jsou pak shrnovány do jímky tuků. Směs vody a písku vytlačena pomocí čerpadla je přiváděna do separátoru písku, kde dochází k separaci přebytečné vody. Písek je pomocí šnekového dopravníku vyhrnován do přistaveného kontejneru a voda je přiváděna zpět do žlabu.

Z lapáku přitéká voda ke strojně stíraným česlím (obr. 2.2). Zbavují vodu shrabků (papíry, textilní zbytky, zbytky potravin a exkrementy). Součástí česlí je také lis, který odstraňuje přebytečnou vodu. Slisované shrabky jsou následně oplachovány čistou vodou, což snižuje jejich organický podíl. Vypadávají do přistaveného kontejneru. V případě poruchy strojních česlí jsou vedle umístěny ručně stírané česle. Průtok je upraven pomocí elektricky ovládaného hradítka. U větších ČOV bývají jako záložní další strojní česle.

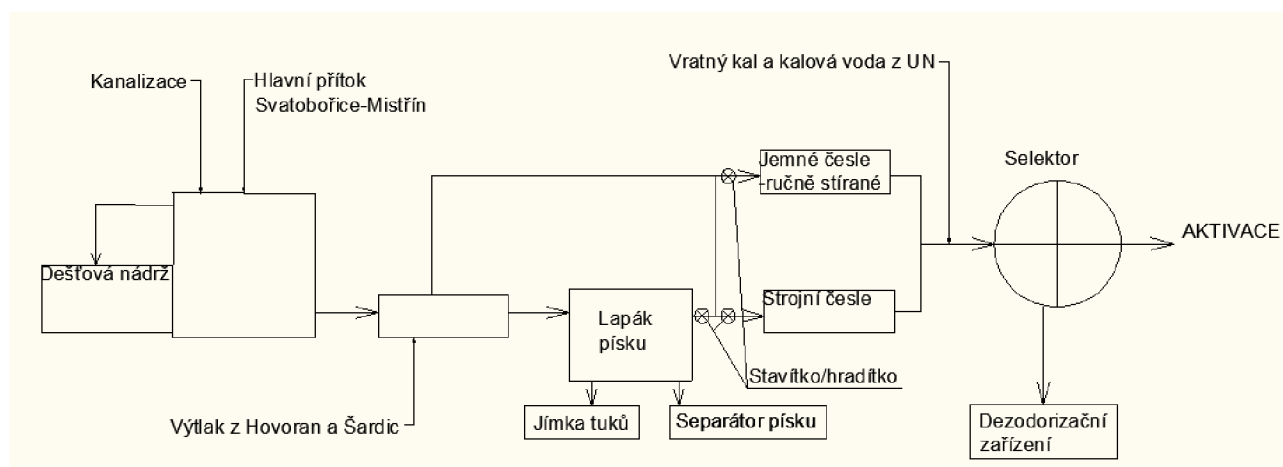
Pro odstranění zápachu u hrubého předčištění jsou žlaby, lapák písku a selektor zakryty poklopy a u selektoru je nainstalováno dezodorační zařízení. Průběh hrubého předčištění je schematicky zobrazen na obr. 2.4.



Obr. 2.2 Strojně stírané česle s kontejnerem na shrabky



Obr. 2.3 Mamutové čerpadlo na VUT Ústavu fluidního inženýrství Viktora Kaplana



Obr. 2.4 Schematický náčrt hrubého předčištění

## 2.3 Popis jednotlivých zařízení hrubého předčištění

### Česlicové koše



U přítoku do čerpací stanice jsou nainstalovány dva česlicové koše pro zachycení hrubých nečistot (obr. 2.5).

Jsou uváděny minimální hodnoty průřin česlí dle [5]:

- 20-50 mm – hrubé česle chránící čistírnu a zabraňující blokování průtoku
- 10-20 mm – střední česle zabraňující blokování průtoku a fungující jako 1. alternativa lapáku šterku
- 2-10 mm – jemné česle omezující hromadění suspendovaných látek

Obr. 2.5 Česlicový koš na přítoku do ČOV

### Kalové čerpadlo splaškové vody

V čerpací stanici jsou umístěna tři čerpadla pro čerpání splaškové vody do oběhu ČOV (pracují v režimu 2 + 1). Hodnota maximálního průtoku každého čerpadla je 17 l/s.

### Stavítko/hradítko do žlabu

Ve žlabech v hrubém předčištění jsou usazena hradítka pro přesměrování průtoku přes jednotlivé technologické vybavení, k přestavení průtoku v případě poruchy strojních česlí a k uzavření odtoku z lapáku písku.

### Strojní vybavení lapáku písku

Kombinovaný lapák písku je umístěn v nádrži o průměru 3 m. Poměr hloubka: šířka se udává 1,5:1 až 2:1 [5]. Pomocí mamutového čerpadla je ze dna nádrže čerpána směs voda-písek, která je odváděna do separátoru písku. Na hladině je umístěno stírací zařízení (obr. 2.6) s normou stěnou sloužící k odběru plovoucích nečistot. Součástí lapáku písku jsou i provzdušňovací rošt se čtyřmi elementy AME kruhového tvaru (obr. 2.7). Stálé provzdušňování lapáku má dobrý vliv na separaci organických látek od usazovaného písku [3].



Obr. 2.6 Pohled na stírací zařízení lapáku písku



Obr. 2.7 Provzdušňovací element [7]

### Uzavírací elektromagnetický ventil

Na přívodu vzduchu do lapáku písku a do provzdušňovacího zařízení jsou osazeny dva ventily. Slouží k automatickému otevírání přívodů vzduchu do zařízení. Jsou přímo ovládané. Maximální přetlak pracovního média je 0,9 MPa.

### Separátor písku

Směs voda písek z lapáku písku se přivádí do separátoru písku. Zde dochází k dokonalému odloučení plovoucích nečistot od sedimentu, který je dopravován ze spodní části nádoby šnekovým dopravníkem. Při této přepravě dochází současně k jeho odvodnění [5]. Je použit separátor typu Fontána SP 250-8 (obr. 2.8) venkovního provedení se zateplením. Průměr šnekovnice je 250 mm s výkonem 8 l/s.



Obr. 2.8 Separátor písku [8]

### Jemně strojně stírané česle

Na odtoku z lapáku písku jsou umístěny jemně strojně stírané česle typu Fontána pro venkovní provedení o výkonu 55 l/s. Česle slouží k zachycení shrabků (textilie, potraviny, exkrementy atd.) pomocí česlic vyrobených z pásové oceli s průlinami 6mm. Shrabky jsou v česlicích následně propláchnuty čistou vodou, slisovány a vypadávají do přistaveného kontejneru (obr. 2.9).



Obr. 2.9 Pohled na shrabky v kontejneru

### Jemně ručně stírané česle

V případě poruchy strojních česlí jsou na obtoku umístěny ručně stírané česle. Změna toku se nastaví pomocí hradítek ve žlabu.

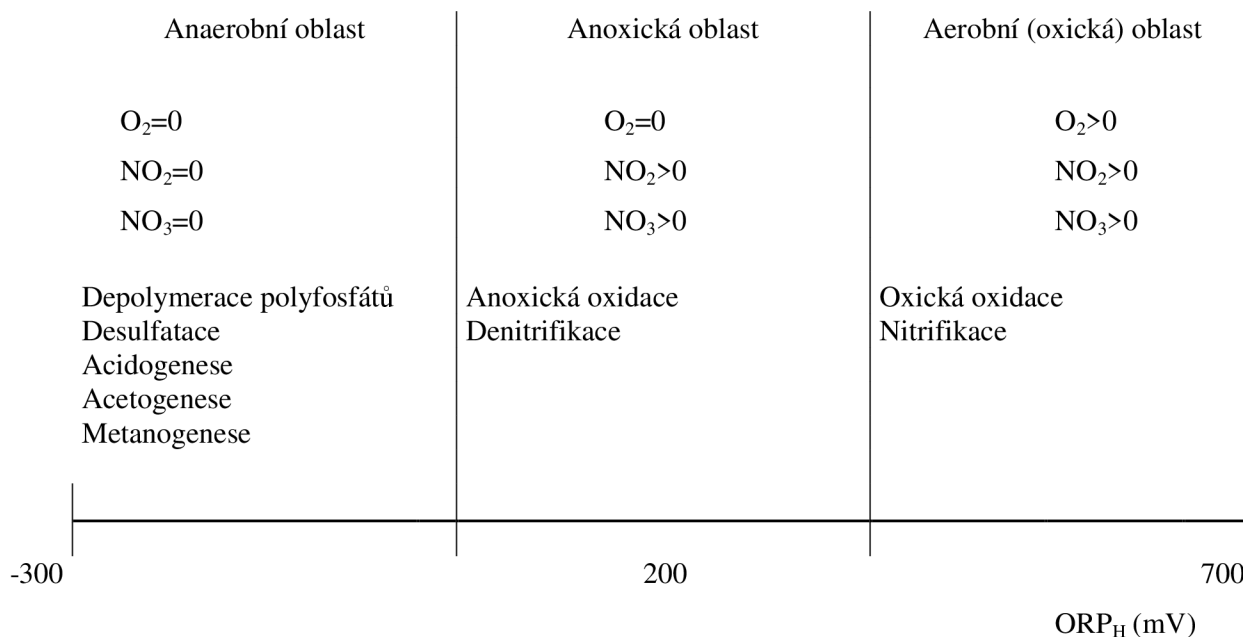
### Automatická kompresorová stanice

V prostoru budovy ČOV je umístěna armaturní komora sružených nádrží, v které je umístěna kompresorová stanice s výkonem 50m<sup>3</sup>/hod a s rozsahem tlaků od 0,65 MPa až 0,9 MPa. Součástí celku je rovněž i dvoustupňový dvouválcový kompresor s nuceným chlazením. Stanice slouží jako zdroj vzduchu pro mamutové čerpadlo v lapáku písku.

### 3. BIOLOGICKÁ ČÁST

Cílem biologického čištění je koagulovat a odbourat neusaditelné koloidní látky a stabilizovat organické látky. U komunálních odpadních vod je to redukce organických látek a též nutrientů (dusík a fosfor). Téměř všechny odpadní vody lze čistit biologicky [5].

Biologický rozklad organických látek vychází z biologických pochodů, které v přírodních vodách neustále probíhají, tudíž biologické čištění odpadních vod je pouhé napodobení přírodního procesu, který je založen na principu oxidačně redukčních biochemických reakcí. Tyto reakce se podle oxidačně redukčního potenciálu dělí na aerobní a anaerobní neboli za přítomnosti a bez přítomnosti kyslíku (obr. 3.1) [3].



Obr. 3.1 Hladiny hodnot oxidačně-redukčního potenciálu (ORP) [7]

**Anaerobní procesy** probíhají za nepřítomnosti kyslíku a jejich průběh je řízen anaerobními bakteriemi, které hynou při styku s kyslíkem.

**Anoxická denitrifikace** je přeměna  $NO_3^-$  na  $N_2$  a  $O_2$  při nepřítomnosti kyslíku.

**Aerobní procesy** probíhají za přítomnosti kyslíku.

Z hrubého předčištění přitékají odpadní vody do selektoru, do kterého jsou rovněž vytlačovány vratný kal a kalová voda z dosazovacích nádrží. V selektoru je voda míchána pomocí dvou míchadel, které zamezují sedimentaci kalu. S provozem selektoru se počítá pouze v případě vysokého zatížení ČOV (období vinařské sezony). Při běžném provozu je selektor přehrazen pomocí hradítek a vody z hrubého předčištění jsou přiváděny přímo do dělicího objektu před aktivačními nádržemi. Do tohoto objektu je přiváděna i kalová voda (tzv. fugát) z odvodnění kalu.

#### 3.1 Aktivace

Voda z rozdělovacího objektu přitéká do dvou aktivačních nádrží (obr. 3.2). Každá má objem  $795 \text{ m}^3$ . Zde dochází k hlavnímu odbourávání bakterií a nebezpečných látek. Na dně každé nádrže je umístěno jemno bublinné aerační zařízení od firmy Fortex, které zajišťuje vnos kyslíku  $O_2$  do aktivace. Zařízení se skládá z aeračních elementů v počtu 90 elementů na nádrž. Tyto elementy jsou umístěny na rošt, který je kotven ke dnu nádrže. Ponorným míchadlem se

zajišťuje pohyb kalu v nádrži. Kyslík je dodáván pomocí dmychadel, která jsou umístěná v dmýchárně a potrubím dopravují stlačený vzduch do aeračního zařízení v aktivačních nádržích. Dmychadla pracují v režimu 2 + 1. Pro každou nádrž je určeno jedno a jedno je rezervní pro případ poruchy. V každé nádrži je umístěna sonda pro měření koncentrace kyslíku a teploty. Do vody je rovněž dávkováno kapalné srážedlo Prefloc z důvodu požadavku na snížení obsahu fosforu ve vyčištěné vodě.



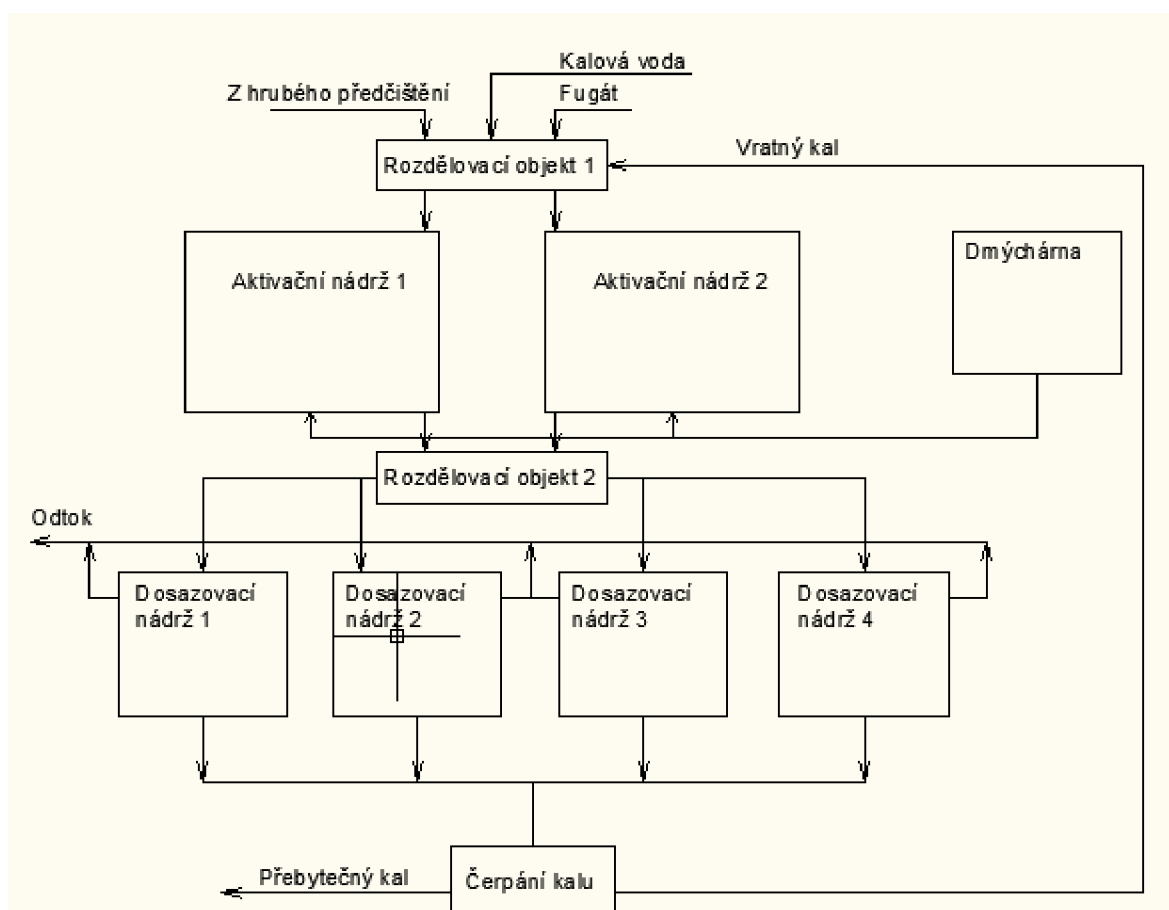
Obr. 3.2 Pohled na aktivační nádrž

Aktivace probíhá nitrifikací a následnou denitrifikací. Po aktivaci voda odtéká přes zubovou přelivnou hranu (obr. 3.3) do rozdělovacího objektu a následně do čtyř dosazovacích nádrží (obr. 3.6). Ty jsou vybaveny přepadovými žlaby s nornými stěnami. Zde dochází k oddělení aktivovaného kalu. Ten se díky své vlastnosti bioflokulaci shlukuje do větších celků (vloček) a sedá ke dnu nádrže. Tato technologicky důležitá vlastnost je výslednicí mnoha faktorů daných charakterem čištěné odpadní vody a technologickými parametry procesu [1]. Odsud je odčerpáván pomocí čerpadla a dělí se na přebytečný a vratný kal. Vratný kal se vrací zpět do procesu aktivace. Přebytečný se přivádí do dvou uskladňovacích nádrží a dále se zpracovává v kalovém hospodářství. Průběh biologické části je schematicky znázorněn na obr. 3.4.



Obr. 3.3 Odtok z aktivací nádrže přes přelivnou hranu

Vyčištěná voda vytéká do recipientu (Kyjovka) přes akumulací nádrž technologické vody a měrný objekt na odtoku, který je vybaven Parshallovým žlabem. Vyčištěná voda se využívá jako voda technologická např. na proplachy, ostřik sít'opásového lisu apod. Z tohoto důvodu je na ČOV umístěna automatická vodárenská stanice složená s ponorného čerpadla, tlakové vyrovnávací nádoby a tlakových spínačů.



Obr. 3.4 – Schematický náčrt biologické části procesu

### 3.2 Princip aktivace

Aktivace (aktivační proces) je v dnešní době nejrozšířenějším způsobem biologického čištění odpadních vod [1].

### 3.2.1 Směšovací aktivace

Směšovací aktivace je obvykle prováděna v nádržích čtvercového tvaru, kde dochází k provzdušňování a promíchávání, což má za následek stejnou koncentraci aktivovaného kalu a kyslíku v celém objemu nádrže. Výhodou je odolnost proti toxickým látkám díky rychlému zředění na přítoku. Nevýhodou je podpora růstu vláknitých organismů, které negativně ovlivňují usaditelnost kalu [2].

V aktivačních nádržích se v nastavených intervalech střídají provzdušňování a míchání. Míchadlo v nádrži je v provozu trvale. Provzdušňování je řízeno automaticky pomocí řídicího systému a je prováděno ve dvou fázích. Nitrifikaci s následnou denitrifikací. Množství kyslíku, vháněného do aktivace se mění podle ročního období a čas procesu a množství vháněného kyslíku udává tab. 2. Uvedené hodnoty jsou ale pouze orientační a je potřeba je měnit dle zatížení, chemického rozboru a teploty odpadní vody.

	Nitrifikace	Denitrifikace	Koncentrace kalu	Recirkulace kalu
<b>Zpracování ČOV</b>	Trvale 1-3 mgO <sub>2</sub> /l	Neprovádí se	0-3 g/l	100% - letní provoz 120% - zimní provoz
<b>Letní provoz</b>	2,5 - 3 mgO <sub>2</sub> /l, cca 60 min	0,5 mgO <sub>2</sub> /l, cca 60-80 min	3-4 g/l	100%
<b>Zimní provoz</b>	2,5-3,5 mgO <sub>2</sub> /l, cca 70-80min	0,5 mgO <sub>2</sub> /l, cca 60-70 min	4-5 g/l	120%

Tab. 2. Předepsané množství O<sub>2</sub>/l pro jednotlivé operace a roční období [11]

### 3.2.2 Odstraňování organického, uhlíkatého znečištění

Oxidací organických nízkomolekulárních látek dojde k jejich částečné biochemické oxidaci a k převedení na specifické sloučeniny, které se pak dále štěpí nebo se stávají součástí vloček aktivovaného kalu.

### 3.2.3 Vyjadřování organického znečištění

Organické znečištění se udává jako množství kyslíku potřebné k oxidaci všech organických látek. Spotřeba kyslíku se dělí:

- CHSK (chemická spotřeba kyslíku) – oxidace organických látek dichromanem draselným v prostředí kyseliny sírové
- BSK<sub>5</sub> (biochemická spotřeba kyslíku) – biochemická oxidace organických látek za přesně specifikovaných podmínek

### 3.2.4 Odstraňování dusíku a jeho formy

Přenos dusíku z odpadních vod do povrchových vod má nežádoucí účinky především kvůli vysoké spotřebě kyslíku (asi 4,57 g kyslíku na 1 g dusíku). Navíc sloučeniny dusíku umožňují růst zelených organismů a především vyšší koncentrace dusičnanů v pitné vodě jsou zvláště nebezpečné pro děti v kojeneckém věku [5]. Sloučeniny dusíku spolu se sloučeninami fosforu patří mezi nejdůležitější makrobiogenní prvky ze skupiny tzv. nutrientů. Uplatňují se při všech biologických procesech probíhajících při čištění odpadních vod [3].



Dusík lze odstraňovat fyzikálně chemickými metodami např. oxidace chlorem, intenzivní aerace, iontová výměna na měničích iontů aj. Tyto metody jsou však finančně náročnější a méně používané.

Odstraňování dusíku spočívá v oxidaci amoniakálního dusíku na dusitany a dusičnany (nitrifikace) a jejich následné biochemické redukci na plynný dusík (denitrifikace).

Odstraňování dusíku může probíhat třemi různými postupy:

- ve vzájemně oddělených nádržích (aktivační a dosazovací nádrže)
- odbourávání organického znečištění společně s nitrifikací v jedné nádrži, denitrifikace odděleně
- všechny procesy v jediné nádrži

### 3.2.5 Odstraňování fosforu

Podobně jako dusík se i fosfor váže na vyšší či nižší organismy a po jejich odumření se vylučuje zpět do prostředí. Z vody lze fosfor odstraňovat chemicky či biochemicky.

#### Chemické metody:

Chemická metoda odbourávání fosforu využívá koagulaci (srážení). Rozpuštěný anorganický fosfor se převádí na rozpustné fosforečnany kovů a jejich hydroxidy. Tyto fosforečnany se váží na vzniklé vločky a zároveň dochází k odbourávání organických a nerozpuštěných látek. Hlavní metody chemické koagulace jsou [3]:

- přímé srážení
- předsrážení
- simultánní srážení
- srážení po biologickém čištění

U ČOV Svatobořice – Místřín je používána chemická metoda přímého srážení, která spočívá v dávkování koagulátu (srážedla) Při aktivaci je do vody přidáváno kapalné srážedlo Prefloc.

### 3.2.6 Nitrifikace

Nitrifikace probíhá ve dvou stupních. V prvním stupni se amoniakální dusík oxiduje na dusitany ( $\text{NH}_4^+$  na  $\text{NO}_2^-$ ) pomocí bakterií rodu Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrospira aj. – **nitritace**. Ve druhém stupni jsou vzniklé dusitany ( $\text{NO}_3^-$ ) oxidovány na dusičnany mikroorganismy rodu Nitrobacter, Nitrocistis aj. – **nitratice** [1].

Nitrifikační bakterie patří mezi pomalu rostoucí organismy. Růstové rychlosti jsou o řád nižší než rychlost růstu běžných heterotrofních mikroorganismů obsažených v aktivovaném kalu. Proto důležitým faktorem, kterým je rychlost nitrifikace ovlivňována je stáří kalu. U zvolené ČOV je celkové stáří kalu 20 dnů.

Při nitrifikaci je do vody vháněn vzduch. Na obr. 3.5 je vidět, že při nitrifikaci je voda silně okysličována a že dochází k rovnoměrnému prokysličení v celé nádrži.

#### Další faktory ovlivňující nitrifikaci:

- koncentrace rozpuštěného kyslíku
- hodnota pH
- teplota

- stáří a zatížení kalu
- složení odpadních vod



Obr. 3.5 Pohled na hladinu v aktivační nádrži při nitrifikaci [6]

### 3.2.7 Denitrifikace

Denitrifikace je opačným procesem nitrifikace. Jde při ní o redukci dusičnanů a dusitanů na plynný dusík nebo oxid dusný. Takto redukovaný dusík je využíván mikroorganismy aktivovaného kalu asimilačně i disimilačně.

Proces nitrátové asimilace je redukce na amoniak za účelem získání energie pro syntézu buněčné hmoty [5].

Proces nitrátové disimilace je využití dusičnanového dusíku jako konečného akceptoru elektronů místo kyslíku [5].

Denitrifikace je ovlivňována podobnými faktory jako nitrifikace:

- koncentrace rozpuštěného kyslíku
- vliv pH
- vliv teploty

### 3.2.8 Aktivovaný kal a jeho vlastnosti

Aktivovaným kalem nazýváme směsnou kulturu mikroorganismů. V aktivovaném kalu se vyskytují bakterie (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Achrommobacter* aj.), houby, plísňe (v menším množství), kvasinky, nitrifikační bakterie, vláknité mikroorganismy, vyšší organismy a prvoci [1,3].

Kvalitativní a kvantitativní složení aktivovaného kalu závisí hlavně na složení substrátu, na němž byl daný kal vypěstován a na technologických parametrech, při kterých byla kultivace

prováděna (doba zdržení, zatížení a stáří kalu apod.). Aktivovaný kal se liší od většiny směsných kultur mikroorganismů také tím, že je schopen se oddělovat od kapalné fáze prostou sedimentací. Dobrá flokulace a sedimentace vloček kalu je jednou z nejcennějších vlastností této přirozené směsné kultury [1].

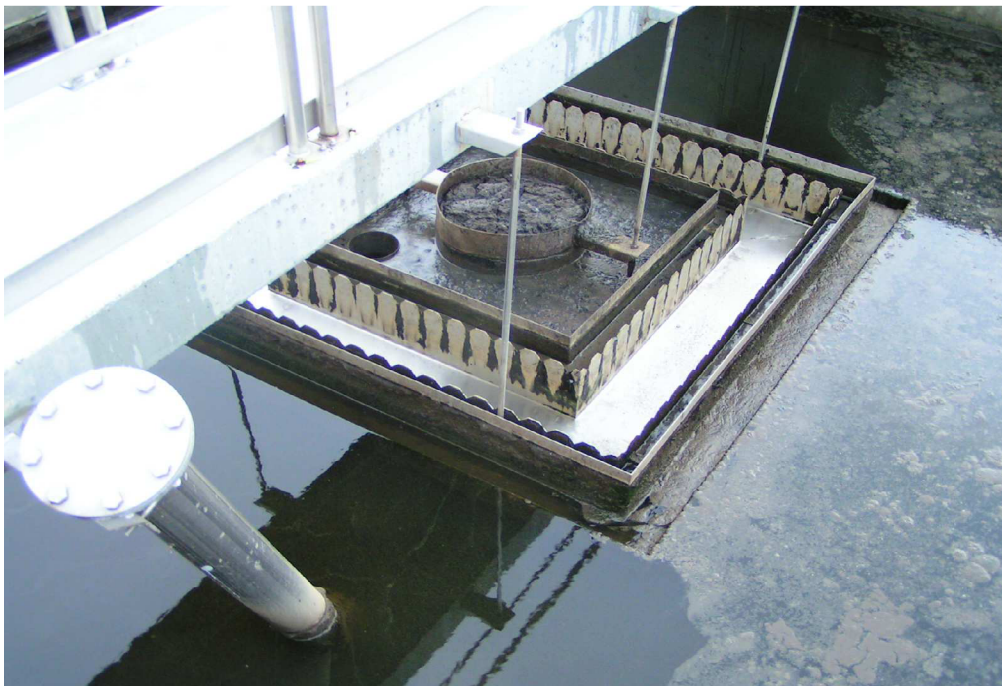
### 3.2.9 Usaditelnost kalu, kalový index

Základním ukazatelem jakosti kalu je tzv. Kalový index, který charakterizuje schopnost kalu sedimentovat a zahušťovat se. Kalový index a jeho hodnoty se udává pro tři hlavní druhy kalu [1,11]:

Normální kal	KI < 100 ml/g	us > 0,6 m/h
Lehký kal	KI = 100-200 ml/g	us = 0,3 - 0,6 m/h
Zbytnělý kal	KI > 200 ml/g	us > 0,3 m/h

Čím je kalový index větší, tím menší je rychlost sedimentace. Nízký kalový index není závadou. Naopak se projeví na lepší kvalitě vyčištěné vody. Ovšem vysoká hodnota kalového indexu je negativní pro proces odbourávání z důvodu špatných sedimentačních vlastností s malou sedimentační rychlostí. Tato nepříznivá vlastnost se nazývá vláknité bytnění.

Kalový index je důležité často vyhodnocovat, jelikož je jedním z důležitých parametrů pro určení potřebného množství kyslíku k aktivaci.



Obr. 3.6 Dosazovací nádrž

### 3.3 Popis jednotlivých zařízení biologické části

#### **Ponorné vrtulové míchadla**

Zajišťují pohyb směsi v selektoru a v aktivačních nádržích, čímž zamezují usazování kalu. V selektoru jsou umístěny 2 ks a v každé aktivační nádrži 1 ks.

#### **Aerační provzdušňovací systém**

Zajišťuje vnos kyslíku do aktivace. Skládá se ze 2 aeračních roštů v každé nádrži, na kterých jsou umístěny aerační elementy v počtu 90 ks na nádrž typu AME (obdobně jako lapák písku obr. 2.7)

#### **Dmychadlové soustrojí**

Dmychadla jsou umístěna na připravených základech v objektu dmýchárny. Jejich maximální průtok je  $Q=743 \text{ m}^3/\text{hod}$ . Dmychadla slouží k dopravě vzduchu do aeračních roštů.

#### **Uzavírací deskové šoupátko s elektropohonem**

Jsou umístěna na odtocích z aktivačních nádrží a slouží k jejich automatickému uzavření.

#### **Odtokový žlab**

Odtokový žlab má provedení s přelivnou hranou (obr. 3.3) a slouží k odtahu aktivované směsi z aktivační nádrže.

#### **Strojní vybavení dosazovací nádrže**

Skládá se z nátokového uklidňovacího válce, oboustranného sběrného žlabu s nornými stěnami, sběru plovoucích nečistot a odtahu sedimentovaného kalu. Toto zařízení je zavěšeno na nosné lávce nad každou dosazovací nádrží. Slouží k separaci vyčištěné vody od aktivovaného kalu.

#### **Kalové čerpadlo vratného a přebytečného kalu**

Čerpadla jsou umístěna v armaturní komoře a slouží k recirkulaci vratného kalu nebo k odčerpání přebytečného kalu. Průtok každého čerpadla je 20 l/s.

#### **Dávkovací čerpadlo chemikálií**

Slouží k dávkování chemikálie Prefloc do aktivační nádrže. Jako ostatní čerpadla je rovněž v armaturní komoře. Maximální průtok  $Q_{\max} = 12,3 \text{ l/hod}$ .

#### **Zásobní nádrž na chemikálie**

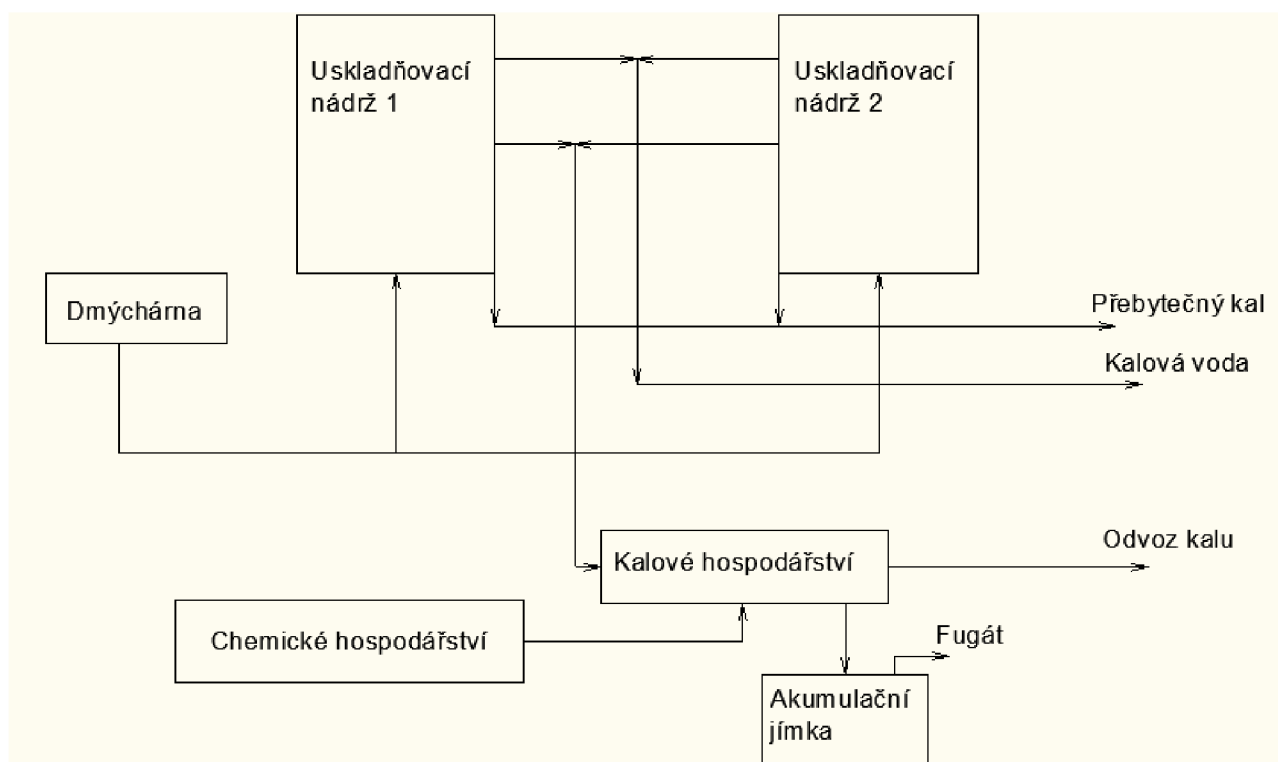
Skládá se ze dvou nádrží o objemu  $8 \text{ m}^3$  z polypropylenu umístěných v armaturní komoře.

## 4. KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Kal vyčerpaný z usazovacích nádrží je přiveden do dvou uskladňovacích nádrží pro akumulaci přebytečného kalu o celkovém objemu cca. 235 m<sup>3</sup>/nádrž. Na přítoku do každé nádrže je osazena uzavírací armatura, která je i na potrubí odběru kalu, a rovněž aerační zařízení, sloužící k aerobní stabilizaci kalu. Toto zařízení zajišťuje také míchání obsahu v nádržích. Přebytečná kalová voda je přečerpávána ponornými čerpadly zpět do žlabu za hrubé předčištění. V případě potřeby slouží čerpadla k přečerpání obsahu jedné nádrže do druhé.

Kal je odčerpáván do kalového hospodářství, které je umístěno v budově ČOV. Zde je do kalu přidáváno chemické srážedlo z chemického hospodářství. Následně je kal odvodněn na síťopásovem lisu. Takto odvodněný kal je pásovým dopravníkem dopraven do kontejneru vně budovy. Odvodněný kal je odvážen do teplárny v Hodoníně.

Na obr. 4.1 je zobrazen schematický popis zpracování kalu.



Obr. 4.1 Schematický popis kalového hospodářství

## 5. VÝPOČET POTŘEBNÉHO MNOŽSTVÍ KYSLÍKU

### Zatížení

$$L_I = 700 \text{ kgBSK}_5/\text{den},$$

$$Q_{dpr} = 1423,2 \frac{m^3}{den},$$

$$L_{celk} = L_{obvy} + L_I = 7500 \cdot \frac{60}{1000} + 700 = 1150 \frac{kg}{den},$$

$$L = 0,7 \cdot L_{obvy} + L_I = 0,7 \cdot 7500 \cdot \frac{60}{1000} + 700 = 1015 \frac{kgBSK_5}{den}.$$

### Průměrná koncentrace

$$S_1 = \frac{L}{Q_{dpr}} = \frac{1015}{1423,2} = 713 \frac{mgBSK_5}{l}.$$

### Účinnost

Celková  $E = \frac{S_1 - S_2}{S_1} = \frac{713 - 20}{713} \cdot 100 = 97,195\%$ ,

Biologická  $E_{biol} = \frac{S_1 - S^*}{S_1} = \frac{713 - 10}{713} \cdot 100 = 98,597\%$ .

### Aerační zařízení

$$B_x = 0,15 \frac{kgBSK_5}{kgsušinyden},$$

$$X = 4,5 \frac{kg}{m^3},$$

$$Q_n = 142,3 \frac{m^3}{hod} \text{ Celkový maximální průtok do ČOV}$$

$$KI = 150 \frac{m}{g},$$

Objem aktivační nádrže  $V = \frac{L}{B_x \cdot X} = \frac{1015}{0,15 \cdot 4,5} = 1504 m^3$ ,

Doba zdržení  $\Theta = \frac{V}{Q_n} = \frac{1504}{142,3} = 10,567 \text{ hod}$  Doba zdržení musí být větší než 4,5 hod

Byla zvolena jemnobublinná aerace. Hloubka nádrže  $h=6,5$  m.

Plocha hladiny  $S_h = \frac{V}{h} = \frac{1504}{6,5} = 231,339 m^2 \doteq 240 m^2$ .

Jsou zvoleny 2 aktivační nádrže o šířce  $B=8$  m a délce  $L=15$  m

### Produkce kalu

$$V_{kal} = 1,2 \cdot B_x^{0,23} \cdot \frac{E}{100} \cdot L = 1,2 \cdot 0,15^{0,23} \cdot \frac{97,195}{100} \cdot 1015 = 531,34 \frac{kg}{sušiny.den}.$$

Předpokládaná koncentrace  $4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,7\%$

$$\Rightarrow \text{objem } V_K = \frac{531,34}{0,7 \cdot 10} = 75,906 \frac{\text{m}^3}{\text{den}}$$

Objem kalu v systému  $W_S = \frac{L}{B_X} = \frac{1015}{0,5} = 6767 \text{m}^3 \text{sušiny}$ ,

Stáří kalu  $\Theta = \frac{W_S}{V_{kal}} = \frac{6767}{531,34} = 12,735 \text{dnů}$ .

**Spotřeba kyslíku – aktivovaný kal**  $O_S = a_S \cdot \frac{E_{biol}}{100} \cdot L + k_{re} \cdot W_S + 3,5L_{NOX}$ ,

$k_{re}$  – koeficient endogenní respirace

$k_{re} = f(B_X)$

koeficient se volí dle tab. 5.1

$B_X$ (kg BSK <sub>5</sub> /kg.den)	$k_{re}$
$\leq 0,1$	0,1
0,2	0,12
0,3	0,15
0,5	0,18
$\geq 1,0$	0,2

Tab. 5.1 Tabulka koeficientu respirace

Dle zadaného zatížení kalu byl zvolen koeficient  $k_{re} = 0,12$

$a_S = 0,5 \frac{O_2}{\text{kgBSK}_5}$  zjištěno experimentálně z praxe

Zatížení nitrifikovaným dusíkem:  $L_{NOX} = L_N \cdot 0,8 - N_{PS}$

80% dusíku je nitrifikovatelných  $L_N \cdot 0,8$

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

$$L_N = 7500 \cdot 12 = 90 \frac{\text{kgN}}{\text{den}},$$

$$L_{NOX} = 90 \cdot 0,8 - 531,34 \cdot 0,06 = 40,12 \frac{\text{kgN}}{\text{den}},$$

$$O_S = a_S \cdot \frac{E_{biol}}{100} \cdot L + k_{re} \cdot W_S + 3,5L_{NOX} = 0,5 \cdot \frac{98,597}{100} \cdot 1015 + 0,12 \cdot 6767 + 3,5 \cdot 40,12,$$

$$O_S = 1453 \frac{\text{kgO}_2}{\text{den}}.$$

Hodinová spotřeba kyslíku

$$O_{Sh} = \frac{1}{16} a_s \frac{E_{biol}}{100} L + \frac{1}{24} k_{re} W_S + \frac{1}{16} 3,5 L_{NOX},$$

$$O_{Sh} = \frac{1}{16} \cdot 0,5 \cdot \frac{98,597}{100} \cdot 1015 + \frac{1}{24} \cdot 0,12 \cdot 6767 + \frac{1}{16} \cdot 3,5 \cdot 40,2 = 98,958 \frac{kgO_2}{hod}.$$

**Požadavek na oxygenační kapacitu**

$$\text{denní oxygenační kapacita} \quad OC_\alpha = \frac{O_{Sh}}{\alpha} \cdot \frac{c_{s10}}{c_{s18} - c_u} \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_{18}}}$$

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

$c_{s10}$  – rovnovážná koncentrace kyslíku při  $Y=10^\circ\text{C}$   $c_{s10} = 11,3 \frac{gO_2}{m^3}$

$c_{s18}$  – rovnovážná koncentrace kyslíku při  $Y=18^\circ\text{C}$   $c_{s18} = 18 \frac{gO_2}{m^3}$

$c_u = 1 - 2 \frac{gO_2}{m^3}$  Odbourání BSK<sub>5</sub>

$$\sqrt{\frac{D_{10}}{D_{18}}} = 0,861,$$

$$OC_\alpha = \frac{O_{Sh}}{\alpha} \cdot \frac{c_{s10}}{c_{s18} - c_u} \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_{18}}} = \frac{1453}{0,8} \cdot \frac{11,3}{18 - 1,5} \cdot 0,861 = 654,386 \frac{kgO_2}{den}.$$

Hodinová oxygenační kapacita

$$OC_h = \frac{O_{Sh}}{\alpha} \cdot \frac{c_{s10}}{c_{s18} - c_u} \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_{18}}} = \frac{98,958}{0,8} \cdot \frac{11,3}{18 - 1,5} \cdot 0,861 = 44,574 \frac{kgO_2}{hod}.$$

**Aerace**

Přenos kyslíku do hloubky 1 m. Zařízení bude zavěšeno 0,2 nade dnem.

Hloubka aerace  $h=0,2=6,3$  m

$$\text{Množství vzduchu} \quad \frac{OC_h \cdot 1000}{6,3 \cdot 10} = \frac{44,574 \cdot 1000}{6,3 \cdot 10} = 707,52 \frac{m^3 \text{ vzduchu}}{hod}.$$

**Vrácený kal**

$$\text{Recirkulační poměr} \quad R = \frac{KI \cdot X \cdot 10^{-1}}{1,2 - KI \cdot X \cdot 10^{-3}} = \frac{150,4,5 \cdot 10^{-1}}{1,2 - 150,4,5 \cdot 10^{-3}} = 128,571\%.$$

Podle potřebného množství vzduchu bylo zvoleno dmychadlo OMEGA 21 P / DN 50  $\Delta p$  600 mbar [10], které splňuje potřebné parametry průtoku.



## 6. POROVNÁNÍ DÁVKOVÁNÍ ČISTÉHO KYSLÍKU A DÁVKOVÁNÍ VZDUCHU

Zásadní rozdíl mezi dávkováním čistého kyslíku a vzduchu je v tom, že čistý kyslík musí být někde uskladněn. Proto je v tomto případě potřeba v prostorách ČOV zřídit tlakovou nádobu na kyslík s redukční stanicí. V tomto případě můžeme uvažovat dvě řešení, když vezmeme v potaz denní spotřebu kyslíku.

- 1) tlakovou nádrž větších rozměrů
- 2) menší tlakovou nádobu, která se bude muset častěji doplňovat kyslíkem

Dávkování vzduchu sice nepotřebuje žádný zásobník, ale vzhledem k tomu že ve vzduchu je cca 21% kyslíku, je třeba do vody dopravit daleko větší množství vzduchu než čistého kyslíku. V tomto případě bude nutno instalovat dmyhadla a větší potrubí pro přívod aeračního vzduchu. To se samozřejmě projeví na spotřebě elektřiny a na provozních nákladech.

V čistírně odpadních vod Svatobořice – Místřín se používá metoda dávkování vzduchu do vody.

## 7. ZÁVĚR

Obsahem této práce bylo seznámit s procesem čištění odpadních vod komunálního charakteru v obecní čistírně odpadních vod Svatobořice – Místřín. Byl popsán proces hrubého předčištění a rovněž tak i zařízení, které se podílejí na tomto procesu.

Další část byla věnována biologické části čištění. V této části procesu dochází k odbourávání nebezpečných látek a substancí (např. dusík nebo fosfor). Proces odbourávání je nazýván aktivace a v dnešní době je to nejrozšířenější způsob čištění odpadních vod. Aktivaci, jejím důležitým parametrem a jejímu principu byla věnována větší pozornost. Byla popsána důležitá zařízení pracující v této části čistírny.

Kalová koncovka je řešena odvodňováním kalu na síťopásovém lisu. Odvodněný kal je likvidován spalováním v teplárně Hodonín. Každá část čištění byla zpracována do schematického popisu, který je vždy obsažen v jednotlivých částech.

Na závěr byl proveden výpočet potřebného množství kyslíku dodávaného do aktivace.

## 7. SEZNAM ODBORNÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] Tuček J., Chudoba J., Koníček Z., Základní procesy a výpočty technologií vody. Praha, SNTL 1988
- [2] Hlavínek P., Hlaváček J., Čištění odpadních vod - Praktické příklady výpočtu, Brno: Noel 1995. 146 s.
- [3] Pytl V. a kolektiv, Příručka provozovatele čistírny odpadních vod, 1.vyd. Praha: Medim s.r.o. 2004. 209 s. ISBN 80-239-2528-8
- [4] Sojka J., Stavíme malé čistírny odpadních vod, Brno:ERA 2001. 98 s. ISBN 80-86517-11-X
- [5] Vítěz T., Groda B., Čištění a čistírny odpadních vod, 1.vyd. Brno: MZLU Brno, 2008. 126 s. ISBN 978-80-7375-180-7
- [6] Webová stránka firmy Fontána R s.r.o., [online]. Separátor písku s integrovaným praním [citace 4. dubna 2009]. Dostupné z: <<http://www.fontanar.cz/czech.html>>
- [7] Webová stránka firmy Fortex AGS [online]. Aerační systémy [citace 3. května 2009]. Dostupné z: <<http://www.fortex.cz/cz/cistirny-odpadnich-vod/produkty/aeracni-systemy/>>
- [8] Materiály ke studiu předmětu ČOVPE – část:“Čištění odpadních vod“ [online]. Fotografie čistírny komunálních OV – cca 15000 EO, Aktivační nádrž – aktivace [citace 29. dubna 2009] Dostupné z: <<http://www.fs.cvut.cz/cz/U218/peoples/hoffman/PREDMETY/COVP/Covpe-2.htm>>
- [9] Webová stránka firmy BMTO group [online], Česlicový koš, [citace 29. dubna 2009], Dostupné z: <<http://www.bmto.cz/cistirny-odpadnich-vod/ceslicovy-kos/>>
- [10] MSE malé služby ekologii, s.r.o. [online] Dmyhadla a provzdušňovací systémy, [citace 20. dubna 2009]. Dostupné z: <<http://www.mse.cz/dmyhadla/prodej/dmych/index.htm>>
- [11] ČOV Svatobořice-Mistřín, Provozní řád, 2002