VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

AERACE NA ČISTÍRNÁCH ODPADNÍCH VOD.

AERATION AT WWTP´S.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — MARTIN ONDRÁČEK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Ing. PETR HLAVÍNEK, CSc., MBA
SUPERVISOR

BRNO 2015

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Martin Ondráček
Název	Aerace na čistírnách odpadních vod.
Vedoucí bakalářské práce	prof. Ing. Petr Hlavínek, CSc., MBA
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2014
Datum odevzdání bakalářské práce	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 (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

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

Anotace

Práce je zaměřena na problematiku aerace na ČOV. Je zpracován přehled postupů a technologií, zejména s ohledem na nové typy mobilních aeračních zařízení. Výsledky práce jsou aplikovány na konkrétní lokalitě.

Klíčová slova

Čistírna odpadních vod, aerace, aerační elementy

Annotation

The work is focused on aeration to the WWTP. It prepared an overview of processes and technologies, particularly with respect to new types of mobile devices aeration. The results are applied to a specific location.

Keywords

wastewater treatment plant, aeration, aeration elements

Bibliografická citace VŠKP

Martin Ondráček *Aerace na čistírnách odpadních vod.* Brno, 2015. 47 s. Bakalářská práce. 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 samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 29.5.2015

……

podpis autora

Martin Ondráček

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Petru Hlavínkovi, CSc., MBA za odbornou pomoc při řešení problémů spojených s prací na dané téma, za cenné rady a připomínky, díky kterým jsem byl schopen práci vypracovat. Poděkování patří i Ing. Lukáši Kaplánkovi a pracovnímu kolektivu z Vřesové. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Mgr. Markétě Ligošové za útrapy při gramatické korektuře. Tato bakalářská práce byla zpracována s využitím infrastruktury Centra AdMaS.

Obsah

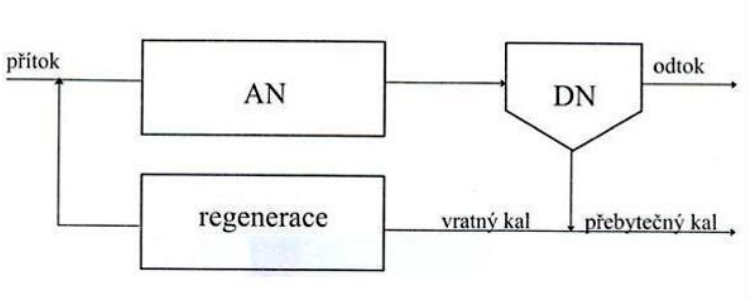
1. ÚVOD ..... - 10 -
2. AERAČNÍ TECHNOLOGIE ..... - 11 -
2.1. MECHANICKÁ AERACE ..... - 11 -
2.2. PNEUMATICKÁ AERACE ..... - 12 -
2.2.1. DMYCHADLA ..... - 13 -
2.2.2. FILTRY ..... - 14 -
2.2.3. POTRUBNÍ ROZVODY ..... - 15 -
2.2.4. AERAČNÍ ELEMENTY ..... - 16 -
2.3. HYDROPNEUMATICKÁ AERACE ..... - 18 -
2.3.1. INJEKTORY A EJEKTORY ..... - 18 -
2.4. KOMBINOVANÁ AERACE ..... - 19 -
3. PŘESTUP KYSLÍKU ..... - 19 -
3.1. OXYGENAČNÍ KAPACITA ..... - 20 -
3.2. PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ OXYGENAČNÍ KAPACITU ..... - 20 -
3.2.1. SLOŽENÍ A VLASTNOSTI ODPADNÍ VODY ..... - 20 -
3.2.1.1. Celkový objemový součinitel přestupu kyslíku K_{La} ..... - 20 -
3.2.1.2. Teplota ..... - 20 -
3.2.1.3. Součinitel α ..... - 21 -
3.2.1.4. Součinitel β ..... - 22 -
3.2.2. Aerační systém ..... - 22 -
3.2.2.1. Velikost bublin ..... - 22 -
3.2.2.2. Intenzita aerace ..... - 23 -
3.2.2.3. Hloubka ponoření aeračních elementů ..... - 23 -
3.2.3. Návrh aktivační nádrže a aeračního zařízení ..... - 23 -
3.2.3.1. Geometrické parametry nádrže ..... - 23 -
3.2.3.2. Spádované dno ..... - 24 -
3.2.3.3. Umístění aeračního zařízení ..... - 24 -
3.2.3.4. Míchání ..... - 24 -
3.2.4. Provozní podmínky ..... - 25 -
3.2.4.1. Rozpuštěný kyslík ..... - 25 -
3.2.4.2. Koncentrace aktivovaného kalu ..... - 26 -
3.3. VYUŽITÍ ČISTÉHO KYSLÍKU V AKTIVČNÍCH NÁDRŽÍCH ..... - 26 -
4. HODNOCENÍ FUNKCE AERAČNÍCH SYSTÉMŮ ..... - 26 -

4.1. AKTUÁLNÍ STAV ..... - 27 -
4.2. HODNOCENÍ JEMNOBUBLINNÝCH AERAČNÍCH SYSTÉMŮ ..... - 28 -
4.3. VÝVOJ AERAČNÍHO SYSTÉMU ..... - 28 -
5. VÝMĚNA STÁVAJÍCÍHO AERAČNÍHO SYSTÉMU NA BČOV NA VŘESOVÉ U SOKOLOVA .. - 29 -
5.1. POPIS TECHNOLOGICKÉ LINKY ..... - 30 -
5.2. STÁVAJÍCÍ STAV ..... - 31 -
5.3. VSTUPNÍ ÚDAJE ..... - 31 -
5.4. NÁVRH NOVÝCH AERAČNÍCH ELEMENTŮ ..... - 33 -
5.4.1. STANOVENÍ SPOTŘEBY KYSLÍKU ..... - 33 -
5.4.2. STANOVENÍ STANDARDNÍ OXYGENAČNÍ KAPACITY ..... - 34 -
5.4.3. PRŮTOK VZDUCHU ..... - 36 -
5.4.4. POČET AERAČNÍCH ELEMENTŮ ..... - 36 -
5.4.5. VÝPOČET PRŮTOKU VZDUCHU ..... - 37 -
5.5. FOTODOKUMENTACE INSTALACE NOVÝCH AERAČNÍCH ELEMENTŮ ..... - 39 -
6. ZÁVĚR ..... - 42 -
POUŽITÉ PODKLADY A LITERATURA ..... - 43 -
SEZNAM TABULEK ..... - 44 -
SEZNAM OBRÁZKŮ ..... - 44 -
SEZNAM FOTOGRAFIÍ ..... - 45 -
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ..... - 45 -
SUMMARY ..... - 47 -

1. ÚVOD

V dnešní době se stále častěji setkáváme, s ohledem na zvyšující se požadavky na životní prostředí, s vyššími nároky na zacházení s přírodními zdroji. Z tohoto důvodu jsou kladeny větší nároky na emisní standardy u čistíren odpadních vod. V současnosti je nepoužívanějším způsobem biologického čištění odpadních vod aktivace. Princip čištění aktivací spočívá ve vytvoření aktivovaného kalu v provzdušňované aktivační nádrži. Celý systém se skládá z biologické jednotky (aktivační nádrže) a z jednotky separační (dosazovací nádrž).

Odpadní voda přitékající do aktivační nádrže je mísena s recirkulovaným (vratným) kalem. Vratný kal se do vody přidává pro zvýšení koncentrace biomasy v biologickém reaktoru. Celá směs se intenzivně provzdušňuje tlakovým vzduchem nebo mechanickými aerátory.[1] Po projití aktivační nádrže (AN) se aktivovaný kal separuje v dosazovací nádrži (DN). Zahuštěný aktivovaný kal je ricirkulován zpět před aktivační nádrž. Toto má za následek tvoření nové biomasy, která se musí odstraňovat ve formě přebytečného aktivovaného kalu.



Obr. 1. - Schéma recirkulace kalu s regenerací [5]

2. AERAČNÍ TECHNOLOGIE

Aerace na čistírnách odpadních vod probíhá několika základními způsoby. Aerace může být mechanická, pneumatická nebo hydropneumatická, popřípadě kombinací zmiňovaných.

Dvěma hlavními úkoly celého aeračního systému je dodat aerobním mikroorganismům potřebné množství kyslíku, obvykle ze vzduchu (oxygenační účinek), a zabezpečit homogenizaci obsahu aktivační nádrže tak, aby bylo dosaženo dostatečného styku organismů v aktivovaném kalu s odpadní vodou a s dodávaným kyslíkem (hydrodynamický účinek).

Nádrže mohou býti provzdušňovány následujícími způsoby:

- Stlačeným vzduchem – pneumatická aerace
- Mechanickým pohybem – mechanická aerace
- Ejektory a injektory – hydropneumatická aerace
- Kombinace výše zmíněných [1]

2.1. MECHANICKÁ AERACE

Mechanická aerace je založena na rozrušení vodní hladiny. Rychlost přestupu kyslíku závisí na hloubce ponoření oběžné kola, jeho průměru a počtu otáček. Velkou výhodou mechanické aerace je menší náročnost technologie a dobré míchací účinky. Nevýhodou je celkem obtížná regulovatelnost, nižší účinnost a hluk.[3] Mechanické aerátory se dělí na ponorné a povrchové. Tyto dvě skupiny se dále dělí podle umístění osy na:

- Vertikální – aerační turbíny
- Horizontální – aerační válce

Povrchové vertikální aerátory jsou umístěny buď na obslužném můstku, nebo na plovoucím zařízení.

Obr. 2. - Povrchový vertikální aerátor [6]

Obr. 3. – Povrchový aerátor na plovoucím zařízení [7]

Motor je převodem nebo pevně hřídelí spojen s rotorem, který na principu čerpadla vyvolává sestupné a vzestupné proudění. Podle tvaru turbíny se dělí na:

- Axiální
- Odstředivé
- Radiálně-axiální

Podle počtu otáček pak můžeme aerátory dělit na rychloběžné a pomaloběžné.

Povrchové horizontální aerátory se umisťují do speciálních aktivačních nádrží. Aerátor se skládá z motoru, převodovky a aeračního válce s lopatkami. Fungují na principu mírného ponoru lopatek, které otáčením rozstřikují vodu.

Obr. 4. – Povrchový horizontální aerátor [8]

Ponorné vertikální aerátory mají pod vodou umístěno distribuční zařízení, k němuž je přiváděn vzduch. Ponorné horizontální aerátory mají podobnou konstrukce jako povrchové s tím rozdílem, že aerační válce vodu nerozstřikují, ale přečerpávají se zavzdušněním. [2]

2.2. PNEUMATICKÁ AERACE

Pokud mluvíme o pneumatické aeraci, mluvíme o systému potrubí, ve kterém je veden vzduch, jenž je vháněn dmychadly, ventilátory nebo kompresory až k aeračním elementům (místo v systému, kde se dostává vzduch do kontaktu s odpadní vodou, popřípadě kalem).

Základním dělením pneumatické aerace je dělení podle velikosti bublin v souvislosti s pórovitostí materiálu, kterým vzduch proniká

- Jemnobublinná aerace - velikost bublin se pohybuje v rozmezí 1 až 4 mm. Používají se membránové nebo jemnobublinné elementy. Účinnost těchto elementů pro přenos kyslíku do vody je největší. V hloubce 4 m je to 15 až 30 %.

- Středobublinná aerace – velikost bublin je 4 až 10 mm. Tohoto je možno dosáhnout použitím děrovaných trubek nebo vibračních klapek. V tomto případě jde o účinnost poněkud menší, a to 5 až 10 %.
- Hrubobublinná aerace – velikost bublin je velikosti nad 10 mm. Bubliny takovéto velikosti je možné dosáhnout použitím trubky s otevřeným koncem. Tento způsob je nejméně účinný, pohybuje se kolem 4 až 6 %. [2]

Pro správnou účinnost je důležité i umístění aeračních elementů v nádrži. Optimální uložení je v hloubce 3 až 6 m a to z toho důvodu, že vzduchová bublina je dostatečnou dobu v kontaktu s vodou. Ve větších hloubkách je účinnost již nezvyšuje. Minimální uložení aeračních elementů ode dna je 0,2 m. [1]

2.2.1. DMYCHADLA

Dmychadlo je mechanický stroj na distribuci plynů. Dělí se na dmychadla s rotujícími písty, odstředivá turbodmychadla a šroubová dmychadla. Základní rozdíl je v kapacitě zmiňovaných dmychadel. Turbodmychadla jsou vhodná pro kapacitnější dodávky, zatímco objemová dmychadla jsou méně výkonná, tudíž se hodí pro méně kapacitní dodávky vzduchu. Nevýhodou turbodmychadel je, že pracují ve velmi vysokých otáčkách, tudíž jsou velmi hlučná. Je tedy nutné opatřit je tlumičem na sání a výfuk vzduchu. [1]

- Dmychadla s rotujícími písty (Rootsovo dmychadlo)

Dva rotory se shodným počtem zubů (2 až 3) se otáčí vzájemně proti sobě a tím dochází ke stlačení vzduchu až za samotnou pracovní komorou. Dmychadla tohoto typu jsou určena pro menší kapacity. V současnosti nejpoužívanější, ale jsou nahrazována výkonnějšími a hlavně energeticky úspornějšími šroubovými dmychadly [9].

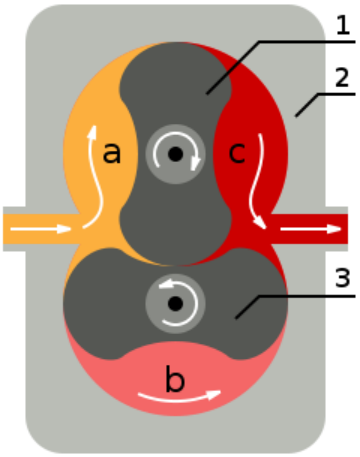


Schéma práce Rootsova dmychadla:
1,3 - rotor
2 - těleso dmychadla
a - sání
b - transport
c - výtlak

Obr. 5. – Rootsovo dmychadlo (pístové) [10]

- Odstředivé turbodmychadlo

Oběžné kolo při rotaci vzduch radiálně a obvodově urychluje. Systém bývá i několikastupňový. Dmychadla tohoto typu jsou určena pro vyšší kapacity. [11]

Obr. 6. – Odstředivé turbodmychadlo [11]

- Šroubové dmychadlo

Principiálně stejné jako dmychadla s rotujícími písty, ale zubové rotory jsou nahrazeny šroubovými rotory. Tato technologie je o 30 % energeticky méně náročná než u dmychadel s rotujícími písty a v budoucnu by je měla nahradit. [12]

Obr. 7. – Šroubové dmychadlo [12]

Dmychadlo se skládá z tlumiče na sání, filtru, vlastního dmychadla, elektromotoru, výstupního tlumiče, pojistného ventilu, rámu dmychadla a pružného připojení na vzduchové potrubí. Celé dmychadlo je umístěno v protihlukového krytu s nucenou ventilací. [1]

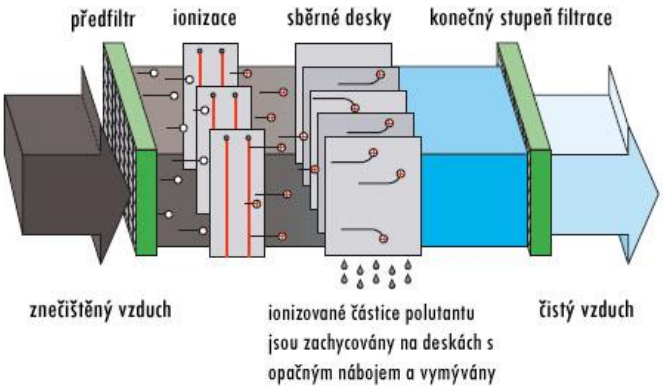
2.2.2. FILTRY

Hlavním důvodem, proč se zařazují stupně filtrace do celého procesu, je separace pevných částeček ze vzduchu, jelikož by mohly ohrozit funkci celého systému. Na lopatky oběžného kola distribučního zařízení jemné částečky obsažené ve vzduchu působí abrazně a materiál obrušují, čímž se může výrazně snížit účinnost zařízení. Stejně tak působí na stěnu dopravního potrubí a

v případě difuzního zařízení může dojít k ucpání pórů, obzvláště pak u jemnobublinné aerace, která má velikost pórů řádově v mikrometrech.

Celý filtrační proces je řešen dvěma stupni. První filtrační stupeň tvoří tzv. předfiltr s účinností 80 až 90 % a druhým stupněm filtrace je jemný filtr s vysokou účinností. Pro filtraci vzduchu se používají bariérové filtry ze speciálních papírových nebo textilních vložek nebo vložek z umělých vláken. Pro velké zdroje se používají elektrostatické odlučovače.

Pro filtraci vzduchu se nesmí použít filtr ze skleněných vláken nebo tlumičů výfuku se skelnými vlákny. [1]



Obr. 8. – Elektrostatický filtr [13]

2.2.3. POTRUBNÍ ROZVODY

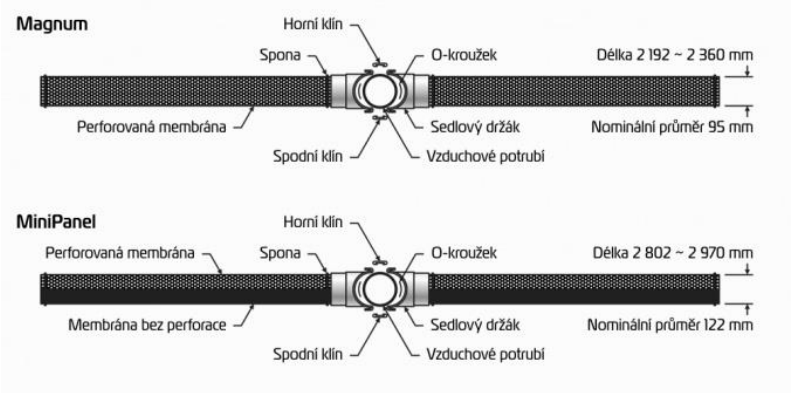
Celé trubní vedení se dělí na dvě části, a to na část, která je před zdrojem vzduchu tzv. sací potrubí a na část potrubí, která je za zdrojem vzduchu tzv. distribuční potrubí.

- Sací potrubí – umístění sacího potrubí ovlivňuje kvalitu dodaného vzduchu. Proto je nutné při jeho montáži dodržet určitá pravidla:
  - Vzdálenost sání vzduchu od země by neměla být menší než 2,5 m
  - Průtočná rychlost vzduchu v mrazu je minimálně 2 $m \cdot s^{-1}$
  - Pokud možno sání umístit do závětří při převládajícím směru větru
  - Celému systému výrazně prodlouží životnost umístění sání do místa s minimální koncentrací nečistot ve vzduchu (vlhkost, přímé sluneční záření, prašnost)
  - Vzduch by měl být nasáván pod správným úhlem a bez turbulencí
- Distribuční potrubí – Vzduchové rozvody pneumatické aerace se skládají z vlastního potrubí, tvarovek a armatur, průtokoměrů a spojovacích kusů. Tlak v potrubí je dostatečně nízký na to, abychom mohli použít tenkostěnné trubky vyrobené z nekorodujícího materiálu, nejčastěji z nerezavějící oceli. Potrubí i aerační rošt musí být odolný a splňovat následující podmínky:
  - Vnitřní koroze nesmí způsobit ucpání aeračních elementů
  - Potrubí musí být odolné vůči odpadní vodě a povětrnostním vlivům
  - Potrubí umístěné ve volném prostoru musí odolávat teplotám 80 °C až 120 °C [1]

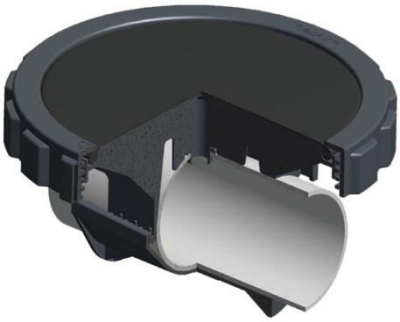
2.2.4. AERAČNÍ ELEMENTY

Aerační elementy jsou difuzéry, skrze které se do provzdušňovaného média dostává vzduch. Mohou to být např. děrované trubky, porézní materiál z keramiky nebo plastů nebo speciální perforované flexibilní membrány. V závislosti na požadavcích máme aerační elementy různých tvarů a to trubky, dómy, desky nebo disky. Nejdůležitějším prvkem aeračního elementu je velikost pórů, ta ovlivňuje jemnost bublin a tím kontaktní plochu vzduchu s odpadní vodou. Základní dělení podle velikosti pórů je na aeraci jemnobublinnou, středobublinnou a hrubobublinnou.

- **Jemnobublinná aerace** – je nejrozšířenějším typem aerace u čistíren odpadních vod. Vzhledem k jemnosti bublin je velká kontaktní plocha mezi vzduchem a odpadní vodou. Systém se skládá ze zdroje vzduchu, z filtrace, sacího a distribučního potrubí z nekorodujícího materiálu, provzdušňovacích roštů osazených jemnobublinnými elementy a odvodňovacího potrubí, které odvádí kondenzovanou vodní páru. Jemnobublinné elementy dělíme do několika skupin:
  - Bodové elementy – disky, desky, dómy
  - Trubkové elementy – trubice, svíčky
  - Velkoplošné elementy – deskové, hadicové



Obr. 9. – Trubkový aerační element ENVI-PUR [14]



Obr. 10. – Diskový aerační element ENVI-PUR[14]

Obr. 11. – Deskový aerační element ENVI-PUR [14]

Diskové a trubkové elementy byly nejčastěji vyráběny z porézního keramického materiálu. Tento typ byl dlouhou dobu nejrozšířenějším. Keramické elementy produkují bublinky prakticky stejné velikosti a jejich předností je relativně dlouhá životnost. Musí být však pravidelně udržovány. Problematika ucpávání je v současné době dobře zvládnuta, a proto není u těchto elementů hodnocena jako hlavní nevýhoda, jak tomu bývalo v minulosti. Proti ucpávání se musí nasávaný vzduch filtrovat, což společně se systémem odvodnění aeračních roštů (kvůli kondenzaci par v potrubí) podstatně prodlužuje životnost systému. Zároveň se prodlužují intervaly pro nezbytnou údržbu a čištění.

Nad porézními elementy postupně převládají membránové elementy. Speciálně perforovaná pružná membrána ze syntetického kaučuku funguje jako zpětná klapka, kdy při přivedení vzduchu pod membránu se napnutím membrány otevírá perforace a průchodem přes membránu vznikají velmi jemné bublinky. Konstrukce membránových elementů je založena na použití tenké perforované membrány vyrobené z termoplastického materiálu nebo elastomeru. Princip jejich funkce spočívá v tvarově vratné roztažnosti materiálu. Materiál je v průběhu výrobního procesu perforován (vpich, prořízntutí), nebo je membrána přímo vyrobena s mikrootvory obvykle speciálního tvaru.

Procento využití kyslíku z dodávaného vzduchu je závislé na zatížení elementů vzduchem, hloubce ponoření, způsobu uspořádání elementů v nádrži (jejich plošná hustota, způsob rozmístění) a na intenzitě aerace.

Zvláštní pozornost musí být u jemnobublinné aerace věnována montáži celého systému. Musí být provedeno dokonalé osazení systému do aktivační nádrže a po montáži pak zkouška na těsnost v čisté vodě při mírném ponoření aeračních elementů.

- **Středobublinná aerace** – nejčastěji bývá řešena jako ocelové děrované trubky ve formě aeračního roštu. Průměry otvorů se používají 4 až 6 mm. Rošty se umisťují obvykle podél jedné stěny asi 0,25 m nade dnem. Na přívodu do každého roštu se umisťuje ventil.

  Jedním z výrobců dodávající středobublinný systém je INKA. Aerační středobublinné rošty jsou umisťovány maximálně 0,8 m pod hladinu vody v aktivační nádrži. Do takto mělce umístěných aeračních roštů je vháněno velké množství vzduchu ventilátory. Využití kyslíku je však pouze 2 až 3%.

Obr. 12. – Diskový středobublinný aerační element ENVI-PUR [14]

- **Hrubobublinné aerace** – Bývá řešena jako trubkové aerační rošty s volnými konci. S rostoucí intenzitou aerace se snižuje množství využitého kyslíku ze vzduchu. [1]

Obr. 13. – Diskový hrubobublinný aerační element ENVI-PUR [14]

2.3. HYDROPNEUMATICKÁ AERACE

Hydropneumatický aerátor se skládá z ponorného čerpadla a směšovací komory, ve které dochází ke smíšení proudu vody a přisátého vzduchu. Voda dodávaná čerpadlem protéká přes speciální trysku, za kterou vzniká podtlak, a tím dochází k přisátí vzduchu (princip vodní vývěvy). Ten je pak smíšen s protékající vodou. Nevýhodou celého systému je relativně nízká účinnost a směrová orientace proudu vzduchu a vody.[1]

Obr. 14. – Injektor [7]

Na rozdíl od pneumatické aerace je dodávka vzduchu do vody zajišťována na principu přisátí vzduchu proudící vodou přes speciální směšovač.

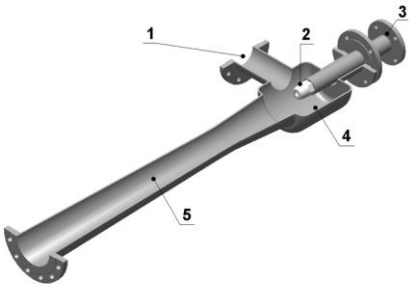
Zařízení se skládá z ponorného čerpadla, směšovače, přes který žene čerpadlo vodu a kde vzniká podtlak pro přisátí vzduchu, sací potrubí vzduchu a stabilizační zařízení.

Jedná se relativně o jednoduchý systém s nízkými nároky na obsluhu a údržbu, ale jeho nevýhodou je vyšší energetická náročnost, nízká účinnost a směrová orientace proudu vody a vzduchu. [2]

2.3.1. INJEKTORY A EJEKTORY

Funkční skladba ejektoru obsahuje tyto hlavní části: vstupní kanál a dýzu (trysku) hnací látky, vstupní kanál hnané látky, směšovací komoru a difuzor. Hnací látka vstupuje do trysky, kde zvýší svou rychlost na úkor tlaku. Ve směšovací komoře vzniká podtlak, který způsobuje nasávání čerpané látky. Ta se smíchá s hnací látkou, a tím získá od hnací látky rychlost. Výsledná směs pak

ze směšovací komory vstupuje do difuzoru, kde se zvýší tlaková energie směsi na úkor její rychlosti.[16]

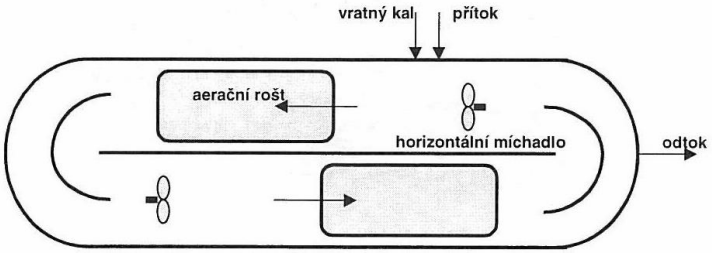


Obr. 15. – Funkční skladba ejektoru: 1) přívod vzduchu, 2) tryska, 3) přívod vody, 4) směšovací komora, 5) difuzor [15]

Mezi nevýhody ejektoru patří omezené možnosti regulace. Však nezpochybnitelnou výhodou je jeho jednoduchost. V ejektoru nejsou žádné pohyblivé části, tudíž nedochází k téměř žádnému opotřebení. Z tohoto pramení další výhody jako spolehlivý provoz, jednoduchá údržba, snadná výroba, nehlučný provoz, téměř neomezená životnost.

2.4. KOMBINOVANÁ AERACE

Kombinovaná aerace se rozšířila především v souvislosti hlubokých oběhových aktivačních nádrží. Skládá se většinou z povrchového aerátoru nebo jemnobublinného aeračního roštu a horizontálního ponorného míchadla. Jedná se o systém s oddílným oxygenačním a hydrodynamickým účinkem, proto je tento systém velmi dobře regulovatelný a dosahuje velmi vysokých účinností. Jeho nevýhodou je poměrná složitost celého systému a v některých případech i speciálně tvarované aktivační nádrže.[1]



Obr. 16. – Kombinovaná aerace v oběhové aktivační nádrži [1]

3. PŘESTUP KYSLÍKU

Aktivační proces je aerobní proces, při kterém se organické látky odstraňují z odpadní vody pomocí aktivovaného kalu za kontinuálního (výjimečně i diskontinuálního) přísunu kyslíku. Přísun kyslíku udržuje aerobní podmínky (oxygenační faktor aerace) v aktivační nádrži a umožňuje udržení aktivovaného kalu ve vznosu (hydrodynamický faktor aerace). Aby byl zajištěn optimální

poměr, musí být přísun kyslíku větší nebo roven rychlosti jeho spotřeby. Kyslík v aktivačních nádržích spotřebovávají následující reakce:

- oxidace organických látek
- syntéza buněčného materiálu
- autooxidace buněčného materiálu
- nitrifikační pochody [17]

3.1. OXYGENAČNÍ KAPACITA

Kyslík přestupuje do vody při styku vzduchových bublin s vodou. Rozpustnost kyslíku v čisté vodě závisí na teplotě, na celkovém tlaku plynné fáze a na parciálním tlaku kyslíku ve vzduchu. Aby bylo možno vyjádřit okysličovací schopnost aeračního systému a vzájemně srovnávat jednotlivé systémy, byl zaveden pojem oxygenační kapacita (OC). Je definována jako hmotnostní množství kyslíku, které je daný systém schopen dodat za jednotku času do objemové jednotky dané nádrže při jeho nulové koncentraci. Obvykle se udává v jednotkách $g \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$ nebo $kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$. Z provozních, technologických i ekonomických důvodů je potřeba tuto kapacitu znát.

3.2. PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ OXYGENAČNÍ KAPACITU

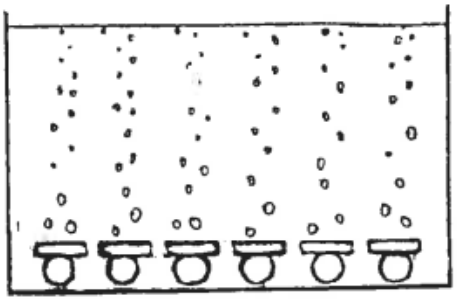
3.2.1. SLOŽENÍ A VLASTNOSTI ODPADNÍ VODY

3.2.1.1. Celkový objemový součinitel přestupu kyslíku K_{La}

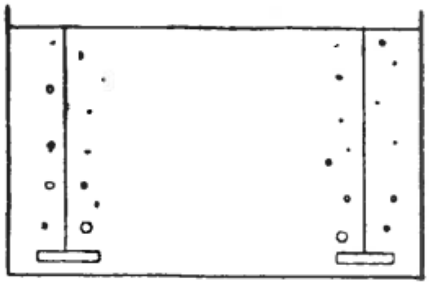
Hodnota součinitele K_{La} závisí na teplotě, koncentraci rozpuštěných organických a anorganických látek, způsobu aerace, součiniteli prostupu hmoty a na hloubce a tvaru aktivační nádrže.

3.2.1.2. Teplota

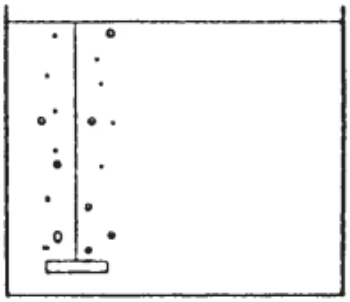
Součinitel K_{La} a rozpustnost kyslíku ve vodě (tzv. saturační koncentrace) $c_{m,s}$ závisí na teplotě. S rostoucí teplotou se zvětšuje hodnota K_{La} a klesá rozpustnost kyslíku.



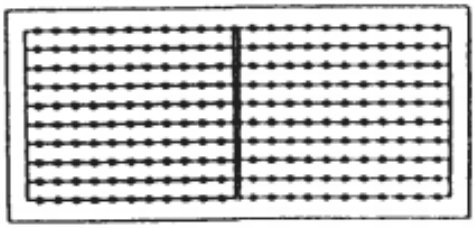
Obr. 17. – celoplošná aerace [19]



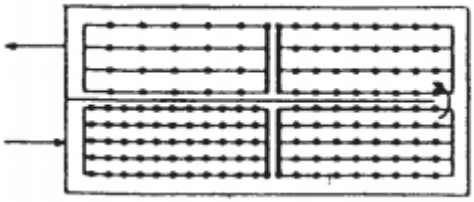
Obr. 18. – dvojpásová aerace (bilaterální) [19]



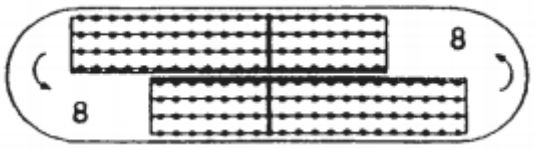
Obr. 19. – jednopásová aerace (laterální) [19]



Obr. 20. – celoplošná neodstupňovaná aerace [19]



Obr. 21. – celoplošná odstupňovaná aerace [19]



Obr. 22. – zonální aerace [19]

3.2.1.3. Součinitel α

Součinitel α je definován rovnicí:

$$\alpha = \frac{(K_{La})_{OV}}{K_{La}}$$

Kde $(K_{La})_{OV}$ je celkový objemový součinitel přestupu kyslíku pro odpadní vodu v d^{-1}

K_{La} celkový objemový součinitel přestupu kyslíku pro čistou vodu v d^{-1}

Hodnota součinitele α závisí na:

a) koncentraci povrchově aktivních látek v odpadní vodě
b) intenzitě míchání (turbulenci)
c) geometrii aktivační nádrže
d) typu aeračního zařízení
e) provozní koncentraci aktivovaného kalu

Pro městské odpadní vody se obvykle používá hodnota 0,6 až 0,8.

3.2.1.4. Součinitel β

Součinitel β je definován rovnicí:

$$\beta = \frac{(c_{m,s})_{OV}}{c_{m,s}}$$

Kde $(c_{m,s})_{OV}$ je rozpustnost kyslíku v odpadní vodě v g/m^3

$c_{m,}s$ rozpustnost kyslíku v čistě vodě v g/m^3

Hodnota součinitele β závisí na koncentraci nerozpuštěných látek, rozpustných organických sloučenin a rozpuštěných solí. Pro městské odpadní vody se obvykle užívá hodnota 0,95.

Vysoká koncentrace rozpuštěných látek snižuje saturační koncentraci. Rozpustnost kyslíku ve vodě jako funkce teploty a salinity je uveden v tabulce A.1. ČSN EN 25814:1991 (75 7463). Pro průmyslové odpadní vody může být hodnota součinitele β menší než 0,95. Protože nízká hodnota součinitele β znamená vyšší potřebu kyslíku, je nutné její správné určení.

3.2.2. Aerační systém

3.2.2.1. Velikost bublin

Podle velikosti průměru vzduchových bublin se rozlišují tři druhy pneumatické aerace:

a) jemnobublinná (průměr 1mm až 3mm)
b) středobublinná (průměr 3mm až 10mm)
c) hrubobublinná (průměr větší než 10mm)

Hodnota K_{La} se zvětšuje s klesající velikostí bublin, maximální hodnoty dosahuje při průměru bublin 1mm až 2,5mm. Zvětšení hodnota K_{La} je způsobeno zvětšením plochy fázového rozhraní (mezifázového povrchu na jednotku objemu) při menším průměr bublin. Např. změna velikosti bublin z 5mm na 2mm při konstantní intenzitě aerace způsobí šestinásobné zvětšení plochy fázového rozhraní. Zmenšení velikosti bublin pod 1mm již významně nezvyšuje účinnost aerace, ale může ztížit separaci aktivovaného kalu v dosazovacích nádržích.

Relativní porovnání jednotlivých druhů aerace ukazuje, že účinnost přestupu kyslíku není přímo úměrná velikosti bublin.

Porovnání účinnosti pneumatické aerace:

a) jemnobublinná 100 %
b) středobublinná 70 %
c) hrubobublinná 40 % až 50 %

Velikost bublin roste se zvyšujícím se zatížením aeračního elementu.

3.2.2.2. Intenzita aerace

Tvar a materiál aeračního elementu a tlakové ztráty způsobené průchodem jím určují rozmezí intenzity aerace. Při jemnobublinné aeraci s rostoucí intenzitou aerace klesá množství využitého kyslíku ze vzduchu z těchto důvodů:

a) zvětšuje se cirkulace vody v nádrži, malé bubliny vzduchu se spojují ve větší, čímž se zmenšuje plocha fázového rozhraní
b) klesá doba zdržení bublin
c) při konstantní ploše aeračních elementů stoupá zatížení aeračních elementů, zvětšuje se průměr bublin
d) roste tlak v membránovém aeračním elementu.

Např. účinnost jemnobublinné aerace při maximální intenzitě aerace bývá o 30 % menší než při minimální intenzitě.

Při hrubobublinné aeraci se s rostoucí intenzitou aerace zvětšuje množství využitého kyslíku ze vzduchu. Větší cirkulace vody v nádrži způsobuje rozbíjení velkých bublin na menší a zvětšení plochy fázového rozhraní.

3.2.2.3. Hloubka ponoření aeračních elementů

S rostoucí hloubkou ponoření aeračních elementů se zvětšuje množství využitého kyslíku ze vzduchu. Je to způsobeno prodloužením doby kontaktu vzduchových bublin s vodou a vyšší rozpustností kyslíku při větší hloubce ponoření aeračních elementů.

Množství využitého kyslíku ze vzduchu E_a v % pro různé hloubky ponoření aeračních elementů se vypočte podle rovnice:

$$E_a = (\frac{H_a}{H_2})_n \cdot E_2$$

Kde H_a je hloubka ponoření aeračních elementů v m

H_2 hloubka, při níž byla prováděna standartní oxygenační zkouška aeračních elementů, v m (obvykle 4m)

E_2 množství využitého kyslíku ze vzduchu v % odečtené z charakteristiky při standartní hloubce

n exponent (obvykle 0,8 až 0,9)

Hloubka ponoření aeračních elementů je obvykle 3m až 6m.

3.2.3. Návrh aktivační nádrže a aeračního zařízení

3.2.3.1. Geometrické parametry nádrže

Geometrické parametry ovlivňují účinnost aerace a účinnost míchání. Správné geometrické parametry nádrže zvyšují množství využitého kyslíku ze vzduchu až o 50%.

Nádrže mají mít hloubku h 3m až 6m. U nádrží s postupným tokem má být poměr šířky b k hloubce 1:1 až 4:1, např. pro hloubku 3m je vhodná šířka nádrže 3m až 12m. Poměr délky nádrže l k šířce nemá být větší než 15:1, doporučuje se poměr 4:1.

S rostoucím poměrem h/b roste doba kontaktu vzduchových bublin s vodou a tím se zvyšuje množství využitého kyslíku ze vzduchu. Pokryjí-li aerační elementy (aerační rošty) úplné dno nádrže (celoplošná aerace), není tento poměr významný.

3.2.3.2. Spádované dno

Doporučuje se navrhnout spádované dno nádrže pro usnadnění údržby aktivační nádrže.

3.2.3.3. Umístění aeračního zařízení

Typ aeračního zařízení a jeho umístěné v nádrži ovlivňují množství využitého kyslíku ze vzduchu. Při laterálním umístění jemnobublinných aeračních elementů (umístění aeračních roštů u jedné stěny) je využití kyslíku 10 % až 15 % a kyslíkový výtěžek 1,5 kg/kWh až 2,5 kg/kWh v čisté vodě.

Laterální uspořádání aeračních elementů vytváří a udržuje spirálové proudění vody s rychlostí 0,7 m/s. Výstupní rychlost bubliny je okolo 0,3 m/s ve stojaté vodě. Spirálové proudění vody zvětšuje výstupní rychlost bublin v nádrži.

Při rovnoměrném pokrytí celého dna nádrže jemnobublinnými aeračními elementy nevzniká spirálové proudění a bubliny stoupají ve stojaté vodě svou specifickou rychlostí. Toto uspořádání umožňuje využití kyslíku ve vzduchu 20 % až 30 % a kyslíkový výtažek 2,4 kg/kWh až 4,5 kg/kWh v čisté vodě v nádrži hluboké 4m.

Laterální uspořádání se obvykle používá pro trubkové aerační elementy. Diskové nebo deskové aerační elementy obvykle pokrývají celé dno nádrže. Čím větší hustota osazení aeračních elementů, tím větší je množství využitého kyslíku ze vzduchu. Hustota osazení aeračních elementů se pohybuje od 1 ks/m^2 až do 15 ks/m^2 podle typu elementu. Poměr plochy aeračních elementů k ploše aktivační nádrže je 3 % až 40 %.

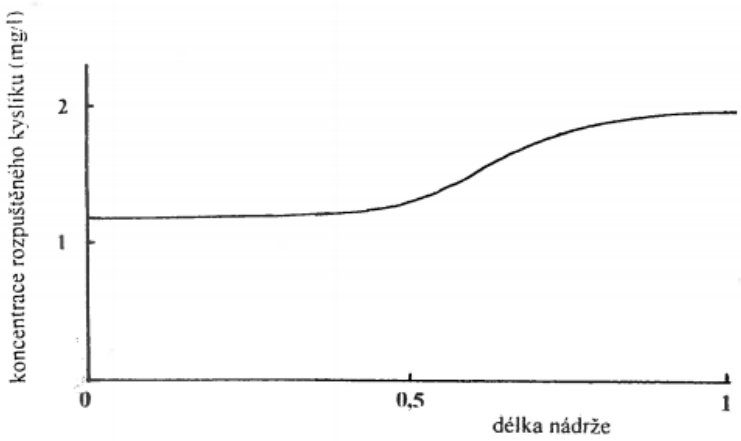
3.2.3.4. Míchání

Aerační zařízení musí umožnit míchání obsahu nádrže a udržení aktivovaného kalu ve vznosu. Kritická plošná intenzita aerace pro udržení kalu ve vznosu je mezi 1,0 $m^3/(m^2 \cdot h)$ až 3,0 $m^3/(m^2 \cdot h)$, v závislosti na kalovém indexu, množství usaditelných látek, hustotě osazení aeračních elementů a hloubce nádrže. Odpovídá kritické objemové intenzitě aerace 0,5 $m^3/(m^3 \cdot h)$ až 0,7 $m^3/(m^3 \cdot h)$. V některých případech je hospodárnější užít mechanická míchání zařízení (ponorná míchadla) než zvyšovat intenzitu aerace.

3.2.4. Provozní podmínky
3.2.4.1. Rozpuštěný kyslík

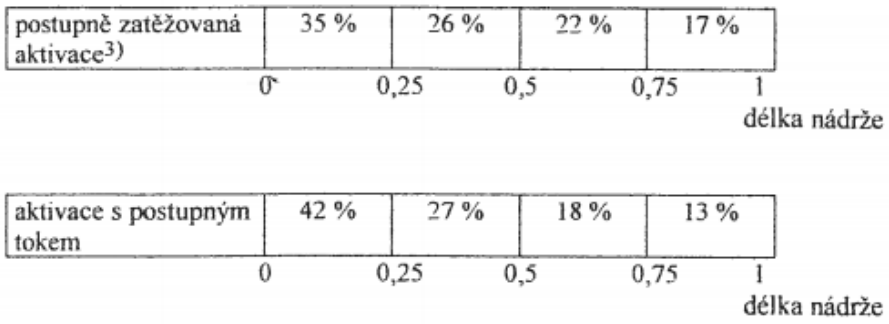
Čím vyšší je provozní koncentrace rozpuštěného kyslíku, tím menší je účinnost aeračního systému, protože hnací silou přestupu kyslíku je účinný deficit kyslíku. Při koncentraci rozpuštěného kyslíku 1 mg/l dosahuje aerační účinnost systému 90 % maximální teoretické účinnosti; při koncentraci rozpuštěného kyslíku 2 mg/l pouze 78 %.

Optimální průběh koncentrace rozpuštěného kyslíku podél nádrže ve směru průtoku je uveden na obrázku 23.



Obr. 23. – optimální průběh koncentrace rozpuštěného kyslíku v nádrži [19]

Optimálního průběhu koncentrace rozpuštěného kyslíku se dosáhne správným rozmístěním aeračních elementů v nádrži. Doporučuje se rozdělení podle obrázku 24. V nádržích s postupným tokem od vstupu k výstupu klesá spotřeba kyslíku aktivovaným kalem v důsledku postupného vyčerpání substrátu a roste hodnota součinitele α. Proto se ve stejném směru snižuje hustota osazení aeračních elementů.



Obr. 24. – rozdělení aeračních elementů v nádrži [19]

3.2.4.2. Koncentrace aktivovaného kalu

Čím vyšší je koncentrace aktivovaného kalu v aktivační nádrži, tím menší je hodnota $(K_{La})_{OV}$. Zvýšení koncentrace aktivovaného kalu způsobuje zvýšení viskozity a snížením přestupu kyslíku z plynné do kapalné fáze.

Čím vyšší je koncentrace aktivovaného kalu v nádrži, tím větší je spotřeba kyslíku na endogenní respiraci. Koncentrace aktivovaného kalu v aktivační nádrži nemá být větší než 5 kg/m3, v regeneraci nemá být větší než 10 kg/m3. Vliv koncentrace aktivovaného kalu se bere v úvahu při volbě hodnoty součinitele α. [19]

Faktory ovlivňující oxygenační kapacitu pro mechanickou aeraci

- hloubka ponoru
- počet otáček
- obsah organických látek ve vodě. [2]

3.3. VYUŽITÍ ČISTÉHO KYSLÍKU V AKTIVČNÍCH NÁDRŽÍCH

Při tomto způsobu aerace je do systému vháněn buď čistý kyslík, nebo vzduch obohacený kyslíkem. Pro větší kapacity je kyslík získáván kryogenním způsobem (zkapalněním vzduchu a destilcí) a pro menší kapacity takzvaným způsobem PSA (pressure swing adsorption) spočívající na principu molekulových sít.

Původní kyslíkové aktivace byly zakryté nádrže rozdělené do třech sekcí vzájemně propojené v kapalné i plynné fázi. Kapalná fáze je u dna a plynná fáze u stropu. Aktivační směs byla míchána mechanickým povrchovým aerátorem, dále byla zajištěna cirkulace z plynné do kapalné fáze v každé sekci. Tímto způsobem se dosáhlo využití kyslíku až na 95 %, ovšem za vysoké energetické náročnosti. Proto byly vyvinuty speciální reaktory pro systémy s čistým kyslíkem jako např. systém DBCA (Down Bubble Contact Aerator) nebo U-tube contactor, kde je čistý kyslík přiváděn do větších hloubek v nádrži v důsledku hydraulického účinku zařízení a tím se zvyšuje doba kontaktu bublinek s vodou.

Je prokázáno, že koncentrace rozpuštěného kyslíku nad 2 mg/l již nemůže ovlivnit rychlost respirace a odstraňování organických látek. Vyšší koncentrace rozpuštěného kyslíku nemají vliv na biodegrabilitu organických látek. Proto je využití čistého kyslíku omezeno na vysoko zatížené systémy, u kterých čistý kyslík umožňuje dosáhnout potřebné oxygenační kapacity. [3]

4. HODNOCENÍ FUNKCE AERAČNÍCH SYSTÉMŮ

Od roku 1990 jsou prakticky všechny čistírny odpadních vod opatřeny jemnobublinnou aerací. Tento systém je tak preferovaný převážně pro jeho nízkou energetickou náročnost při procesu biologického čištění, a to nejen s ohledem na rostoucí ceny, ale také vlivem uplatňování

procesů odstranění dusíku (dosažení nitrifikace) při procesu čištění, což výrazně navyšuje potřebu dodaného kyslíku. Z tohoto důvodu je většina stávajících systémů v rámci rekonstrukcí nebo modernizací nahrazena právě jemnobublinnou pneumatickou aerací. Vzhledem k rozšíření tohoto systému byla věnována velká pozornost odstranění poruchových částí a to zejména ucpávání aeračních elementů a krátká životnost rozhodujících částí systému.

Předmětem popisu vývoje a hodnocení nových aeračních technologií se v značné míře zabývá odborný časopis SOVAK. Cílem těchto příspěvků je analýza současného stavu v oblasti navrhování a hodnocení aeračních systémů. [1]

4.1. AKTUÁLNÍ STAV

Nejpoužívanějším způsobem aerace je aerace jemnobublinná. Její velkou výhodou je energetická účinnost, dobré podmínky pro regulaci vnosu kyslíku podle aktuální spotřeby a malé mechanické namáhání vloček aktivovaného kalu. Vzhledem k rozvoji technologií biologického čištění s nitrifikací a denitrifikací byly vyvinuty nové typy jemnobublinných aeračních elementů s flexibilní membránou. Principem je použití perforované membrány vyrobené nejčastěji z termoplastického materiálu nebo elastomeru. Výhodou těchto membrán je tvarově vratná roztažnost (flexibilita). V průběhu výrobního procesu je materiál perforován (vpichy, prořízntutí) nebo je membrána vyrobena přímo s mikrootvory obvykle speciální tvaru. V současné době je pro výrobu membrán nejčastěji používán EPDM (ethylen-propylen-dimeruretathan). Jeho vlastnosti lze upravit různými aditivy. Jako technická řešení se používají aerační elementy ve tvaru desek, trubek, hadic, dómů nebo disků. Přetrvává i používání porézních jemnobublinných elementů, ale jsou stále více vytlačovány elementy membránovými.

Nejčastějším zdrojem vzduchu jsou trojzubá nízkopulzační dmychadla s regulací otáček frekvenčním měničem. Otáčky jsou řízeny signálem kyslíkových sond. Nezbytností je speciální software pro zpracování signálu kyslíkových sond. V současné době si investor může pořídit aerační systém včetně systému měření a regulace, který k systému nezbytně náleží. Podle rozsahu dodávek z posledních let lze konstatovat, že na českém trhu se nejvíce uplatňují aerační systémy od tuzemských firem FORTEX AGS Šumperk, ASEKO Chromeč, ACON, Technik Orlová. Ze zahraničních dodavatelů systémy MESSNER, SANITAIRE, SUPRAFILT a ANOPON. I v ČR lze pozorovat jednoznačný posun k dodávkám membránových aeračních elementů. Velmi často se při modernizaci nebo rekonstrukci provádějí instalace systému do stávajících aktivačních nádrží, někdy přímo na stávající distribuční potrubí. Tomuto problém se budu věnovat dále v kapitole č. 5. VÝMĚNA STÁVAJÍCÍHO AERAČNÍHO SYSTÉMU V DANÉ LOKALITĚ.

Na trhu je celá řada dodavatelů dmychadel, aeračních systémů a řídicích systémů. Většina komponentů jsou výkonově kvalitní a systém se liší pouze vlastním provedením. Nutno však upozornit, že v softwarovém vybavení řídicího systému jsou značné rozdíly a zde pouze některá řešení jsou vyhovující. [1]

4.2. HODNOCENÍ JEMNOBUBLINNÝCH AERAČNÍCH SYSTÉMŮ

Hromadné hodnocení jemnobublinných aerátorů je prakticky nemožné a to z toho důvodu, že rozsáhlá škála provozních parametrů má zásadní vliv na výkon. Proto i stejný typ aeračního elementu může mít v různých podmínkách různý výkon. Při hodnocení jednotlivých elementů je zapotřebí uvážit faktory ovlivňující jejich výkon. Mezi tyto patří:

- Zatížení funkční plochy jemnobublinného aeračního elementu vzduchem [$m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$], nebo zatížení vlastního elementu.
- Vliv hloubky ponoření na přestup kyslíku.
- Poměr funkční plochy aeračního elementu a celkové plochy aktivačních nádrží.
- Způsob rozmístění aeračních elementů v aktivační nádrži.
- Intenzita aerace v aktivační nádrži.
- Vliv provozních podmínek při provozních testech a chyby přepočtu na standardní podmínky.
- Přesnost a správnost použité metody při testování.
- Správné stanovení příkonu aeračního zařízení.
- Případně vliv stárnutí aeračních elementů.

Je důležité naměřené hodnoty velmi opatrně vnášet do obecné roviny. Naopak je velmi účelné porovnávat předpokládaný projektový stav na dané lokalitě s konkrétním výpočtem. [1]

4.3. VÝVOJ AERAČNÍHO SYSTÉMU

I v nejbližší době bude probíhat zdokonalování technického řešení aeračních zařízení. Lze očekávat zahájení dodávek speciálních kombinovaných aerátorů spojující výhody jemnobublinné aerace a vertikálních míchadel.

U vlastních membránových aeračních elementů probíhá zdokonalování jejich konstrukčního řešení a vývoj superplastických membrán s vysokou životností nebo speciálních membrán pro specifické účely (průmyslové odpadní vody). U provozovaných systémů je aktuální problematikou optimalizace řízení dodávky v závislosti na zařízení systému, kdy v některých případech se vyplatí úplně dodávku kyslíku přerušit a osadit mechanické míchadlo. Nadále bude vyvíjen dokonalejší software pro aerační systémy, neboť některé aplikace převzaté z jiných oblastí řízení pro aktivační systém nevyhovují.

V souvislosti s nezbytnou modernizací a konstrukcemi čistíren odpadních vod budou využívány moderní technologie a při této příležitosti budou zdokonalovány i aerační systémy. V poslední době jsme v této oblasti zaznamenali mohutný rozvoj jak z hlediska technického vybavení, tak i rozsahu testování a vzniku nových technických norem. Je uveden souhrn poznatků uvedených v normách ČSN 75 6404, TNV 75 6611, TNV 75 6613 a TNV 75 6614 a poznatků získaných

při testování a hodnocení nových jemnobublinných aeračních systémů. Jedině správě využívání získaných poznatků zajistí spolehlivé dimenzování aeračních systémů a jejich efektivní provoz.

Očekává se nadále pokračování trendu používání jemnobubliné pneumatické aerace. Ve výhledu musíme věnovat zvýšenou pozornost změnám výkonu jemnobublinných aeračních systémů s dobou jejich provozování a softwarovému vybavení řídicích systémů. [1]

5. VÝMĚNA STÁVAJÍCÍHO AERAČNÍHO SYSTÉMU NA BČOV NA VŘESOVÉ U SOKOLOVA

V roce 1950 byla zahájena těžba hnědého uhlí a roku 1958 obec zcela zanikla na úkor výstavby průmyslového areálu. Dnes se na místě původní obce nachází rozsáhlý průmyslový komplex Vřesová Sokolovská uhelná. V roce 1969 zde byla otevřena tlaková plynárna, která byla důležitou součástí systému zásobování Československa svítiplynem. Po přechodu domácností na netoxický zemní plyn skončily dodávky svítiplynu, ale kombinát Vřesová úspěšně přežívá díky příjmům ze své elektrárny, která vyrábí energii ve světě ojedinělou technologií paroplynového cyklu. Spolu s dvoublokovou paroplynovou elektrárnou 380 MW a starší teplárnou 220MW je Sokolovská uhelná největším nezávislým výrobcem elektrické energie v České republice. [18]

Do BČOV jsou přiváděny technologické odpadní vody z procesu zplyňování hnědého uhlí, které byly předčištěny v sekci fenolka. V BČOV jsou odstraňovány zbývající fenoly, organické látky a čpavek z těchto vod.

BČOV sestává z těchto hlavních objektů:

- Vyrovnávací nádrže
- Homogenizační nádrž
- Aktivační nádrže 1°
- Dosazovací nádrže 1° (anoxické reaktory)
- Aktivační nádrže 2°
- Dosazovací nádrže 2°
- Dmychárna
- Čerpací stanice kalu
- Čistírna splaškových vod
- Kalová koncovka
- Rozvodna NN, VN
- Trafostanice
- Trubní propoje
- Měření a regulace. [21]

Do objektů BČOV přicházejí odpadní vody již oddehtované, odfenolované (butylacetátem) a odčpavkované (destilací v alkalickém prostředí). Provádí se chlazení těchto odpadních vod před jejich přítokem do vyrovnávacích nádrží. Vyčištěná odpadní voda není vedena do recipientu, ale je přečerpávána do plavicích tras sekce Teplárna (označeno jako pravá a levá trasa) nebo do bývalé plavící trasy sekce Generátorovny (označení 3A). Plavící trasy jsou vedeny na Odkaliště Vřesová.

5.1. POPIS TECHNOLOGICKÉ LINKY

Ochlazené technologické odpadní vody (o teplotě do 400°C) se přivádějí do vyrovnávacích nádrží, z nichž tři pracují jako odstavné. Čtvrtá a pátá je využívána k zachycení přítoku technologických vod o vyšší koncentraci fenolu, čpavku nebo vod o vyšší teplotě.

Po vyrovnání výkyvů v přítocích jsou odpadní vody přivedeny do objektů BČOV, kde probíhá jejich biologické čištění. [21]

V praxi to znamená, že technologické odpadní vody jsou přepouštěny do homogenizační nádrže, kde se mísí se splaškovými odpadními vodami za účelem jednak ochlazení a jednak naředění. Mechanicky předčištěné splaškové odpadní vody ze stávající splaškové ČOV zajišťují jednak chlazení technologických vod a slouží jako zdroj živin pro biologické procesy. Při nedostatečném přítoku těchto vod je přidávána ředící provozní voda. Optimální teplota vody v homogenizační nádrži je 25°C. Do této nádrže se současně dávkuje kyselina fosforečná a případně i tzv. "ostrá fenolová voda", což je voda, která nevyhovuje vstupním parametrům pro odčpavkovanou vodu.

Z homogenizační nádrže se odpadní voda dostává do AN1°. Tento první stupeň aktivace tvoří tři nádrže. Z 1. stupně aktivace odtéká voda žlabem přes rozdělovací objekt do DN1°, které je možno provozovat jako anoxické reaktory a odtud do mísicí jímky před AN2°. Do mísicí jímky je možno současně přidávat splaškovou vodu. 2. stupeň aktivace tvoří dvě nádrže, ze kterých voda odtéká žlabem přes rozdělovací objekt do dosazovacích nádrží 2. stupně. Vyčištěná odpadní voda je pak přečerpávána do plavicích tras sekce Teplárna (označeno jako pravá a levá trasa) nebo do bývalé plavící trasy sekce Generátorovny (označení 3A). Plavící trasy jsou vedeny na Odkaliště Vřesová. V případě přebytku vyčištěné vody dojde ke zvýšení hladiny v dosazovacích nádržích 2. stupně a následnému odtoku vyčištěné vody havarijním přelivem do kanalizace mourové vody. Tato kanalizace ústí do čerpací jímky mourové vody, odkud jsou vody přečerpávány na Odkaliště Vřesová.

Aktivace je osazena jemnobublinným aeračním zařízením s regulací přívodu kyslíku. Regulace je zajištěna ovládáním otáček a počtu provozovaných soustrojí rotačních dmychadel regulační smyčkou na základě měření koncentrace kyslíku v aktivačních nádržích.

Pěna, která se tvoří v homogenizační nádrži a aktivačních nádržích je skrápěna vodou. Voda pro skrápění pěny v homogenizační nádrži a AN1° je odebírána z homogenizační nádrže, případně je použita splašková voda nebo vyčištěná voda. Pro skrápění pěny v aktivačních nádržích 2. stupně je používána jednak voda z propojovacího potrubí mezi DN1° a aktivací 2°, případně je použitá splašková voda nebo vyčištěná voda.

Stávající ČOV pracuje na jednokalovém principu. Při menším zatížení ČOV je možno provozovat pouze 1° nebo 2°. Při provozování samostatného prvního stupně je nutné vypnout míchadla v anoxických reaktorech a toto zařízení provozovat jako klasické dosazovací nádrže. Přebytečný kal z obou stupňů se pak odpouští přes čerpací stanici mourové vody na Odkaliště. [21]

5.2. STÁVAJÍCÍ STAV

V prvním stupni aktivace je již pátým rokem osazen aerační systém Suprafilt. Dle informací dodavatele a i ze zkušeností pracovníků je patrné, že systém je na hranici životnosti. V letošní odstávce provozu proto musí proběhnout jeho výměna. Byly poptány firmy na výměnu aeračního systému za stejný a za obdobný typ.

Stejný typ – Supratec (dříve Suprafilt) nabídka od firma ARKO (prováděla předchozí výměnu). Životnost membrán z EDPM je uváděna 5, max. 6 let. V podmínkách provozu na Vřesové je reálných 5 let. V poslední dodávce byl zaznamenán značný problém s kvalitou membrán, který byl nakonec (za provozu) řešen kompletní výměnou.

Jiný typ – firma OTT. Membrány jsou konstrukčně jiné. Avšak lze provést instalaci na stávající rozvodné potrubí vzduchu. Proto je s membránami dodáván i nosný prvek. Membrány jsou vyrobeny z FLEXSILu (silikonový polymer). Výrobce udává životnost cca.10let. Dle informací výrobce by membrány, díky odlišné konstrukci, měly poskytovat vyšší stupeň využití kyslíku ze vzduchu. Což bude mít za následek úsporu vzduchu, resp. energie vynakládané na dodání vzduchu. [21]

Při zvážení všech kritérií, bylo rozhodnuto pro instalaci systému od firmy OTT.

5.3. VSTUPNÍ ÚDAJE

- Množství a znečištění odpadních vod do biologické čistírny odpadních vod

POPIS	JEDNOTKY	HODNOTA
Průmyslové odpadní vody max.	$m^3 \cdot h^{-1}$	300
Splaškové odpadní vody prům.	$m^3 \cdot h^{-1}$	100
Splaškové odpadní vody max.	$m^3 \cdot h^{-1}$	150
Fenoly I prům.	$mg \cdot l^{-1}$	20
Fenoly I max.	$mg \cdot l^{-1}$	150
CHSK-Cr prům.	$mg \cdot l^{-1}$	2500
CHSK-Cr max.	$mg \cdot l^{-1}$	3500
$N\text{-}NH_4$ prům.	$mg \cdot l^{-1}$	200
$N\text{-}NH_4$ max.	$mg \cdot l^{-1}$	350

- Popis aktivační nádrže 1°

Počet koridorů	ks	3
Velikost koridoru	m	60x8
Hloubka vody	m	3,6
Objem koridoru	m^3	1800
Objem AN celkem	m^3	5400

- Pokyny pro správný chod aktivace
  - Množství recirkulovaného kalu 80-200% množství směsné odpadní vody
  - Při provozu obou stupňů čištění jsou výtlaky kalu překřížené (jednokalový systém), nad 200 $m^3 \cdot hod^{-1}$.
  - Při provozu pouze 1. stupně jde výtlak kalu do AN1°, DN1° mají vypnutá míchadla
  - Při provozu pouze 2. stupně jde výtlak kalu do homogenizační nádrže (nutno odslepit potrubí výtlaku v sací jímce , při velmi malém zatížení je možno vratný kal zavést přímo do 2. stupně
  - Míchadla v DN1° smí být v provozu pouze při plné hladině
  - Koncentraci kalu v aktivaci udržuje obsluha v rozpětí 3–6 g/l odpouštěním přebytečného kalu. Koncentrace kalu je upřesňována vedením sekce fenolka dle potřeb a stavu technologie
  - Koncentraci kyslíku v AN na odtoku je udržována na 2,5mg/l, při provozu obou stupňů na odtoku 2. stupně nastaví na 4,0 mg/l. Minimální koncentraci kyslíku na 1. sondě v 1.stupni udržuje obsluha nad 0,8 mg/l, tyto hodnoty mohou být upřesňovány vedením sekce fenolka dle potřeb a stavu technologie.
- Hlídané parametry
  - Teplota AN
    - min. 20°C
    - opt. 25°C
    - max. 35°C
  - Odtokové hodnoty
    - F^l prům. 0,3 $mg \cdot l^{-1}$ – jednomocné fenoly
    - NH_3 prům. 25 $mg \cdot l^{-1}$
    - CHSK prům. 300 $mg \cdot l^{-1}$
    - pH min. 6,0
    - pH max. 7,5
    - pH opt. 6,5-7,0
    - fosfáty min. 3,0 $mg \cdot l^{-1}$
    - fosfáty max. 6,0 $mg \cdot l^{-1}$ [21]

5.4. NÁVRH NOVÝCH AERAČNÍCH ELEMENTŮ

Návrh aeračních elementů je proveden podle TNV 75 6613 NAVRHOVÁNÍ AERAČNÍCH SYSTÉMŮ ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD.

5.4.1. STANOVENÍ SPOTŘEBY KYSLÍKU

Spotřeba kyslíku je závislá na zatížení aktivačního systému, na stáří kalu a na uspořádání aktivačního procesu. Provozní spotřeba kyslíku aktivačním procesem OC_P v kg·d^{-1} se vypočte dle rovnice:

$$OC_P = OC_{P,C} + OC_{P,N} - OC_{P,D} + OC_{P,CH}$$

OC_P – spotřeba kyslíku na oxidaci organického znečištění a endogenní respiraci v kg·d^{-1}

$OC_{P,C}$ – spotřeba kyslíku na organické znečištění a endogenní respiraci v kg·d^{-1}

$OC_{P,N}$ – spotřeba kyslíku na nitrifikaci v kg·d^{-1}

$OC_{P,D}$ – spotřeba kyslíku na denitrifikaci v kg·d^{-1}

$OC_{P,CH}$ – spotřeba kyslíku na chemické oxidace v kg·d^{-1}

Spotřeba kyslíku na organické znečištění a endogenní respiraci

$$OC_{P,C} = BSK_5 \cdot SSK$$

BSK_5 - množství přiváděné BSK_5 do aktivační nádrže v kg·d^{-1}

SSK - specifická spotřeba kyslíku přiváděná na přivedenou BSK_5 v kg·kg^{-1}

$$SSK = \frac{0{,}144 \cdot \theta_X \cdot F}{1 + (\theta_X \cdot 0{,}08 \cdot F)} + 0{,}5$$

F - teplotní součinitel dle rovnice $F = 1{,}072^{(T-15)}$, kde T je teplota odpadní vody v °C

Θ_X - stáří kalu ve dnech

Spotřeba kyslíku na nitrifikaci a denitrifikaci a spotřeba kyslíku na chemické oxidace se podle kapitol 5.2.5. a 5.2.4. z TNV 75 6613 do výpočtu nezahrne.

- Výpočet spotřeby kyslíku

T=	25,00	°C	$OC_{P,C}$=	3 111,23	kg·d^{-1}
F=	2,00	-	$OC_{P,N}$=	0,00	kg·d^{-1}
Θ_x=	40,09	dní	$OC_{P,D}$=	0,00	kg·d^{-1}
SSK=	2,06	kg·kg^{-1}	$OC_{P,CH}$=	0,00	kg·d^{-1}
$S_{dp\ AN}$ BSK_5=	1 512,00	kg·d^{-1}	OC_P=	**3 111,23**	kg·d^{-1}

Teplotu odpadní vody T popisuje provozní řád. Ten stanovuje hodnotu minimální, maximální a průměrnou. Teplota 25°C je teplota průměrná.

- Výpočet doby stáří kalu

X=	6,00	kg·m^3	B_v=	0,29	kg·m^{-3}·d^{-1}
h_{AN}=	3,60	m	B_x=	0,05	kg·kg^{-1}·d^{-1}
l=	60,00	m	$S_{dp\ AN}$ BSK_5=	1 512,00	kg·d^{-1}
b=	8,00	m	W_s=	31 104,00	kg
Q_{24}=	0,08	m^3·s^{-1}	c_{1BSK5}=	0,025	kg·m^{-3}
Θ=	17,28	hod	E_{ANBSK5}=	85,71	%
c_{0BSK5}=	0,21	kg·m^{-3}	V_{KAL}=	775,77	kg·den^{-1}
			$Θ_x$=	40,09	dní

Hodnota koncentrace kalu X je stanovena pro obsluhu aktivační nádrže. Doporučuje se udržovat v rozmezí 3 kg·m^3 až 6 kg·m^3. Rozměry aktivační nádrže jsou popsány v provozním řádu čistírny. Do výpočtu jsem uvažoval s průtokem Q_{24}=300 m^3·h^{-1}, což je množství pouze průmyslových vod. Splaškové vody jsou odvedeny do veřejné kanalizace. Do aktivace 1° vstupuje voda znečištěná provozem, není před ní žádný stupeň čištění. Proto hodnota $c_{0\text{-}BSK5}$ = $c_{0\text{-}AN\text{-}BSK5}$. Tuto hodnotu jsem stanovil jako průměrnou hodnotu z laboratorních výsledků měření za rok 2015. Stejným způsobem byla zjištěna hodnota koncentrace BSK na odtoku. Na základě těchto vstupních hodnot jsem byl schopen dopočítat zbylé parametry, již mi vstupují do výpočtu spotřeby kyslíku.

- Výpočet $S_{dp\ AN}$ BSK_5

c_{0BSK5}=	0,21	kg·m^3
Q_{24}=	7 200,00	m^3·d^{-1}
$S_{dp\ AN}$ BSK_5=	1 512,00	kg·d^{-1}

$$Θ = \frac{h_{AN} \cdot b \cdot l}{Q_{24}}, B_V = \frac{c_{0-BSK5}}{Θ}, B_X = \frac{B_V}{X}, S_{dp,AN,BSK5} = \frac{c_{0-BSK5}}{Q_{24}}, W_S = \frac{S_{dp,AN,BSK5}}{B_X},$$

$$E_{AN-BSK5} = \frac{c_{0-BSK5} - c_{1-BSK5}}{c_{0-BSK5}}, V_{KAL} = 1{,}2 \cdot {B_X}^{0,23} \cdot S_{dp,AN,BSK5} \cdot E_{AN-BSK5}, Θ_X = \frac{W_S}{V_{KAL}}$$

5.4.2. STANOVENÍ STANDARDNÍ OXYGENAČNÍ KAPACITY

Standardní oxygenační kapacita OC_{st} v kg·d^{-1} se vypočte dle vztahu:

$$OC_{st} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{1}{f_P} \cdot \frac{c_{m,s}}{c_{m,s} - c_m} \cdot k_n \cdot OC_P$$

α - *součinitel pro přestup kyslíku u jemnobublinné aerace*

f_P - *korekční faktor pro přepočet na nadmořskou výšku*

$c_{m,s}$ - *saturační koncentrace rozpuštěného kyslíku v mg·l^{-1}*

c_m - *provozní koncentrace rozpuštěného kyslíku v mg·l^{-1}*

k_n - *součinitel nerovnoměrnosti oxygenační kapacity*

- Výpočet standardní oxygenační capacity

OC_P=	3 111,23	kg·d^{-1}	$c_{m,s}$=	4,00	mg·l^{-1}
k_n=	1,00	kg·d^{-1}	f_P=	0,95	pro 464 m n. m.
c_m=	2,50	mg·l^{-1}	α=	0,70	
			OC_{st}=	12 528,9	kg·d^{-1}

Tabulka 1 - Korekční faktor f_p pro přepočet na nadmořskou výšku

Nadmořská výška m	f_p	Nadmořská výška m	f_p
0	1,000	950	0,891
50	0,994	1000	0,885
100	0,988	1050	0,880
150	0,982	1100	0,875
200	0,976	1150	0,870
250	0,970	1200	0,864
300	0,964	1250	0,859
350	0,959	1300	0,855
400	0,954	1350	0,850
450	0,948	1400	0,845
500	0,942	1450	0,839
550	0,936	1500	0,834
600	0,930	1550	0,829
650	0,924	1600	0,824
700	0,918	1650	0,818
750	0,913	1700	0,813
800	0,908	1750	0,808
850	0,903	1800	0,803
900	0,897	1850	0,798

Součinitel k_n je roven 1 z toho důvodu, protože aerace probíhá neustále pokud možno s malými rozdíly intenzity. A to z toho důvodu, že složení průmyslové vody je téměř konstantní, vyjímaje havárií. Provozní koncentrace rozpuštěného kyslíku c_m je stanovena v provozním řádu a její hodnota je 2,5 mg·l^{-1}. Koncentrace saturační je taktéž stanovena provozním řádem a to na

hodnotu 4,0 mg·l^{-1}. Korekční faktor pro přepočet nadmořské výšky f_p jsem vypočetl interpolací mezi hodnotami v tabulce 1. Pro zjištění nadmořské výšky BČOV jsem použil portál geoportal.gov.cz/web/guest/map. Aktivace je na kótě 464 m n. m.

5.4.3. PRŮTOK VZDUCHU

Po stanovení standardní oxygenační kapacity se požadovaný průtok vzduchu Q_{VZ} v m^3·h^{-1} vypočte podle rovnice:

$$Q_{VZ} = \frac{100 \cdot OC_{st}}{24 \cdot c_i \cdot E_a}$$

Q_{VZ} - průtok vzduchu v m^3·h^{-1}

c_i - obsah kyslíku ve vzduchu při 20°C a 0,1013 MPa v kg·m^3, má hodnotu 0,280

E_a - množství využitého kyslíku ze vzduchu v %

- Výpočet průtoku vzduchu

OC_{st}=	12 528,88	kg·d^{-1}
c_i=	0,28	
E_a=	36,53	%
Q_{vz}=	5 103,80	m^3·hod^{-1}

Hodnotu pro množství využitého kyslíku značeno E_a vyjádřenou v procentech jsem zjistil v podkladech pro firmu, která dodává aerační systém.

5.4.4. POČET AERAČNÍCH ELEMENTŮ

- Počet aeračních elementů N se vypočte ze vztahu:

$$N = \frac{Q_{vz}}{Q_{vz,e}}$$

N - počet aeračních elementů

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

- Hustota osazení aeračních elementů D_S v ks·m^{-2} plochy aktivační nádrže se vypočte podle rovnice:

$$D_S = \frac{N}{l \cdot b}$$

l - délka aktivační nádrže v m

b - šířka aktivační nádrže v m

- Poměr plochy aeračních elementů k ploše aktivační nádrže $f_{e,a}$ v % se vypočte podle rovnice:

$$f_{e,a} = D_S \cdot A_e \cdot 100$$

A_e - účinná plocha aeračního elementu v m^2

- Výpočet množství aeračních elementů

Q_{vz}=	5 103,80	$m^3 \cdot hod^{-1}$
$Q_{vz,e}$=	78,90	$m^3 \cdot hod^{-1}$
N=	64,69	ks

- Výpočet hustoty osazení aeračních elementů

N=	64,69	ks
l=	60,00	m
b=	8,00	m
D_S=	0,13	$ks \cdot m^{-2}$

- Výpočet poměru plochy aeračních elementů k ploše aktivační nádrže

D_S=	0,13	$ks \cdot m^{-2}$
A_e=	0,50	m^2
$f_{e,a}$=	6,74	%

Nominální průtok vzduchu jedním aeračním elementem byl zmíněn v podkladech pro firmu, která dodává aerační systém. Účinná plocha jednoho aeračního elementu udává výrobce.

5.4.5. VÝPOČET PRŮTOKU VZDUCHU

- Požadovaný průtok vzduchu se vypočte podle rovnice:

$$Q_{VZ}{}^{P} = Q_{VZ} \cdot \frac{p_s}{p_1} \cdot \frac{T_1}{T_S}$$

$Q_{VZ}{}^{P}$ - požadovaný průtok vzduchu v $m^3 \cdot h^{-1}$

p_s - standardní tlak vzduchu (101,3 kPa)

p_1 - tlak vzduchu v nadmořské výšce čistírny v kPa

T_1 - maximální teplota nasávaného vzduchu v K

T_S - standardní teplota, má hodnotu 293 K

Pro tlak v dané nadmořské výšce, značený p_1, jsem interpolací zvolil hodnotu 95,90 kPa. [22] Standardní teplota je dána jako 20°C což je 293 K. Teplotu maximální jsem odečetl jako maximální

teplotu v karlovarském kraji. Zajímal jsem se o teplotu v letních měsících. Maximum bylo naměřeno v Chebu a to 32,8°C [23]

- Potřebný tlak na výstupu ze zdroje vzduchu p_v v kPa se vypočte podle rovnice:

$$p_v = p_1 + p_H + p_p + p_A + p_F$$

p_H - hydrostatický tlak

p_p - tlaková ztráta v potrubí včetně kontrolních ventilů a průtokoměrů v kPa

p_A - tlaková ztráta v aeračním elementu při navrhovaném zatížení elementu v kPa

p_F - tlaková ztráta ve vstupních ventilech a vzduchových filtrech v kPa

- Příkon zdroje vzduchu P v Kw lze vypočíst podle rovnice:

$$P = \frac{0{,}0982 \cdot p_1 \cdot {Q_{VZ}}^P \cdot \left[\left(\frac{p_v}{p_1}\right)^{0{,}283} - 1\right]}{\eta}$$

η - součinitel pro zdroj vzduchu. Pro rotační dmychadla se pohybuje 0,65 až 0,75

- Rovnoměrné rozdělení vzduchu do aktivačních nádrží a skupin aeračních elementů se dosáhne odstupňováním průtočné rychlosti. Průtočná rychlost v v $m \cdot s^{-1}$ se vypočte dle vztahu:

$$v = \frac{4 \cdot {Q_{VZ}}^P}{3600 \cdot \pi \cdot D^2} \cdot \frac{T_p}{T_S} \cdot \frac{p_S}{p_v}$$

D - průměr potrubí v m

T_p - průměrná teplota v K

- Výpočet požadovaného průtoku vzduchu

Q_{vz}=	5 103,80	$m^3 \cdot hod^{-1}$	T_s=	293,00	K
p_s=	101,30	kPa	T_1=	304,50	K
p_1=	95,90	kPa	Q_{vz}^p=	5 602,78	$m^3 \cdot hod^{-1}$

Pro tlak v dané nadmořské výšce, značený p_1, jsem interpolací zvolil hodnotu 95,90 kPa. [22] Standardní teplota je dána jako 20°C což je 293 K. Teplotu maximální jsem odečetl jako maximální teplotu v karlovarském kraji. Zajímal jsem se o teplotu v letních měsících. Maximum bylo naměřeno v Chebu a to 32,8°C [23].

- Výpočet potřebného tlaku vzduchu ze zdroje vzduchu

p_1=	95,90	kPa	p_A=	2,80	kPa
h=	3,40	m	p_F=	1,50	kPa
p_H=	33,35	kPa	p_v=	168,64	kPa
p_P=	31,69	kPa			

Hloubka uložení aeračních elementů je stanovena v provozním řádu na hodnotu 3,4m pod provozní hladinou. Tímto je dán i hydrostatický tlak p_H, který se vypočte podle rovnice $p_H = \rho \cdot g \cdot h\ [Pa]$, kde ρ je hustota vody (1000 kg·m^3) a g je tíhové zrychlení (9,81 m·s^{-2}). Ztrátu na potrubí jsem odhadl jako 95% z tlaku hydrostatického. Tlaková ztráta na aeračním elementu je udávána výrobcem. Hodnotu ztrát na ventilech jsem odhadl dle výpisu armatur v provozním řádu.

- Výpočet příkonu pro zdroj vzduchu

η=	0,70	
p_1=	95,90	kPa
Q_{vz}^{p}=	5 602,78	m^3·hod^{-1}
p_v=	168,64	kPa
P=	13 055,89	kW

Hodnota součinitele η je pro rotační dmychadla 0,65 až 0,75. Manipulační řád popisuje osazení rotačními dmychadly.

- Výpočet průtočné rychlosti

Q_{vz}^{p}=	5 602,78	m^3·hod^{-1}	T_s=	293,00	K
π=	3,14		p_v=	168,64	kPa
D=	0,15	m	p_s=	101,30	kPa
T_P=	281,10	K	v=	50,75	m·s^{-1}

Z prospektu firmy OTT pro aerační elementy Magnum 2000 jsem zjistil průměr trubkového aeračního elementu D = 0,15 m. Hodnotu průměrné roční teploty jsem převzal ze stránek krajského vojenského velitelství Karlovy Vary [24].

5.5. FOTODOKUMENTACE INSTALACE NOVÝCH AERAČNÍCH ELEMENTŮ

Pro zajištění zadaných kyslíkových vnosů jsou navrženy následující aerační sestavy:

Aktivace 1°: OC=522,04 kg O_2·hod^{-1}, je instalováno 65 provzdušňovacích roštů. Potřebné množství tlakového vzduchu činí cca 5 600 m^3·hod^{-1}, přívod tlakového vzduchu do každé sekce je možno uzavřít ruční klapkou.

Na fotce č. 1. Jsou jasně viditelné aerační elementy v havarijním stavu. Jedním z hlavních podnětů při výměně aeračních elementů byla nerovnoměrná aerace způsobena destrukcí některých aeračních elementů.

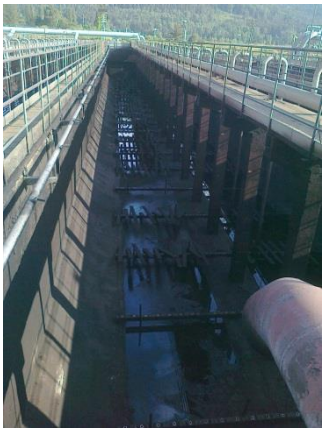


Foto č.1 – Původní stav

Jedním z hlavních důvodů, proč bylo rozhodnuto pro aerační systém OTT – Magnum, byl ten, že aerační elementy lze instalovat na stávající rozvodné potrubí. Nejprve bylo zapotřebí odstranit stávající aerační elementy viz foto č.2 a následně na stávající rozvodné potrubí instalovat aerační elementy OTT – Magnum viz foto č.3.

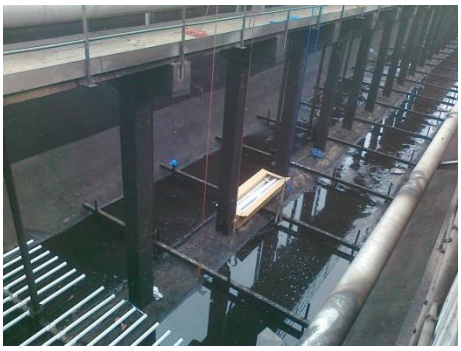


Foto č.2 – Demontáž stávajících aeračních elementů

Foto č.3 – Instalace OTT-Magnum

Foto č.4 – Finální stav po instalaci aeračních elementů OTT-Magnum

Před uvedením do provozu lze doporučit naplnění všech nádrží relativně čistou vodou. Při plnění aktivační nádrže se provede naplnění cca 10cm nad provzdušňovací rošty a po zapnutí aeračního systému se prověří správná funkce a těsnost, případně opraví závady. Poté je možno pokračovat v plnění až na provozní hladinu (h=3,4m). Plnění nádrží se provádí rovnoměrně tak,

aby nebyly zbytečně velké rozdíly hladin mezi jednotlivými koridory. Maximálně přípustný rozdíl hladin mezi koridory na AN1° je 1m.

Foto č.5 a č.6 – Zkušební aerace před uvedením do provoz

6. ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsání způsobů aerace a následný návrh aeračního systému v dané lokalitě. Při výpisu aeračních technologií jsem se zaměřil na popis především pneumatické aerace. Právě z důvodu vyšší výtěžnosti kyslíku převládají a budou převládat jemnobublinné pneumatické aerační systémy a v budoucnu se očekává řada jejich vylepšení a hlavně snížení jejich energetické náročnosti.

Při návrhu aeračního systému v dané lokalitě jsem zvolil lokalitu Vřesová Sokolovská uhelná. Vřesová je součástí podniku Sokolovská uhelná a zdejší provoz slouží mimo jiné k výrobě elektrické energie. Jsou zde čištěny průmyslové odpadní vody vznikající ve zdejším provozu. Díky agresivní vodě bylo nutné za posledních 15 let již třikrát měnit aerační elementy. Při každé výměně byl použit totožný aerační systém.

Původní aerační elementy značky Supratec (dříve Suprafilt) od firmy ARKO s životností 5let byly nahrazeny aeračními elementy Magnum 2000 od firmy OTT sídlící v Německu. Hlavní předností tohoto aeračního elementu je velká odolnost membrány vůči agresivní průmyslové vodě. Membrána aeračního elementu je jednoznačně nejnamáhanější částí elementu a její životnost se odhaduje s ohledem na agresivitu odpadní průmyslové vody na 10let. Životnost celého aeračního systému je ovlivněna životností právě membrán.

Druhým důvodem pro zvolení aeračního systému od firmy OTT bylo, že aerační elementy je možné instalovat přímo na stávající rozvodné potrubí, které je v dobrém stavu a odhaduje se, že životnost potrubí nebude kratší, než životnost aeračních elementů.

Celá výměna aeračních elementů má za následek snížení nákladů na provoz aeračního systému. Především v podobě snížení potřeby vzduchu.

Při výpočtu aeračního systému jsem vycházel z podkladů získaných při exkurzi na Vřesové. Jako podklad pro výpočet byl použit provozní řád biologické čistírny odpadních vod, který udává hodnoty a množství odpadních vod přitékajících na čistírnu, rozměry aktivační nádrže a strojní vystrojení biologické čistírny odpadních vod. Hodnoty chemického složení odpadních vod jsem získal z laboratorních rozborů, které jsou prováděny každý měsíc přímo v podniku. Pro určení hodnot aeračního elementu jsem použil prospekt pro Magnum 2000 OTT GROUP.

Při řešení bakalářské práce, především při výpočtu aeračního systému, jsem se setkal s informacemi, které zásadně změnily můj pohled na danou problematiku. V dosavadním studiu jsem se setkal pouze s čištěním komunálních odpadních vod. V bakalářské práci se ale zabývám čištěním vod průmyslových a to ze značně znečištěného provozu. Velkým zjištěním bylo, jak může být složení průmyslové vody rozdílné. Zatímco v komunálních odpadních vodách platí jisté poměry mezi jednotlivými ukazateli znečištění, zde tyto poměry vůbec neplatí. Proto bylo důležité přesně pracovat s hodnotami naměřenými přímo v laboratořích. Odhad parametrů nebyl vůbec možný.

POUŽITÉ PODKLADY A LITERATURA

[1] HLAVÍNEK Petr, MIČÍN Jan, PRAX Petr: Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.

[2] MALÝ Josef; MALÁ Jitka. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: ARDEC s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.

[3] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.

[4] Časopisy SOVAK, VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ, číslo 2/2005, strana 3/35

[5] http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/bio.html

[6] http://cip.cascades.com/kee-aire-o2-triton-30-hp.html

[7] http://edienet.s3.amazonaws.com/products/images/3994.jpg

[8] http://www.idm-pirineo.es/IDM/Esp/MA/rotor-aireacion.php

[9] Produkty LOTUS. Dostupné z http://www.lutos.cz/ index.php?main_page=index&cPath=2

[10] http://sk.wikipedia.org/wiki/Rootsovo_d%C3%BAchadlo

[11] Dmychadla a vývěvy s bočními kanály. Dostupné z http://www.bibus.cz/cz/?pg=vypis produktu&id=142

[12] KUČERA Jiří. Úsporná technologie šroubových dmychadel. Dostupné z http://stavitel.ihned.cz/c1- 41095550-usporna-technologie-sroubovych-dmychadel

[13] Elektrostatické filtry. Dostupné z http://www.vzduchotechnik.cz/cz/katalog/elektrostaticke-filtry

[14] Aerační systémy ENVI-PUR. Dostupné na http://www.envi-pur.cz/cz/aeracni-systemy

[15] Vodní ejektory. Dostupné na http://nl.wikipedia.org/wiki/Bestand:Ejector.PNG

[16] HIBŠ, M.: Proudové přístroje. Druhé, přepracované vydání. Praha: SNTL, 1981. 184 s.

[17] TUČEK, F., CHUDOBA, J., KONÍČEK, Z. a kol.: Základní procesy a výpočty v technologii vody.2. přepracované vydání, Praha: SNTL, 1988, 640 s.

[18] Obec Vřesová. Dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/V%C5%99esov%C3%A1

[19] TNV 75 6613 – kapitola č.4. Parametry ovlivňující oxygenační kapacitu

[20] Fotodokumentace výměny aeračního systému – archiv podniku Vřesová Sokolovská uhelná a.s.

[21] Provozní řád biologické čistírny odpadních vod

[22] Vlastnosti atmosféry dle nadmořské výšky. Dostupné z http://www.treking.cz/pocasi/atmosfericky-tlak.htm

[23] Počasí v Karlovarském kraji. Dostupné z http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1408617321

[24] Klimatické poměry v Karlovarském kraji. Dostupné z http://www.kvv-karlovyvary.army.cz/htm/0_4.html

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 – korekční faktor f_p pro přepočet na nadmořskou výšku

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. *Schéma recirkulace kalu s regenerací [5]*

Obr. 2. *Povrchový vertikální aerátor [6]*

Obr. 3. *Povrchový aerátor s plovoucím zařízením [7]*

Obr. 4. *Povrchový horizontální aerátor [8]*

Obr. 5. *Rootsovo dmychadlo (pístové) [10]*

Obr. 6. *Odstředivé turbodmychadlo [11]*

Obr. 7. *Šroubové dmychadlo [12]*

Obr. 8. *Elektrostatický filtr [13]*

Obr. 9. *Trubkový aerační element ENVI-PUR [14]*

Obr. 10. *Diskový aerační element ENVI-PUR [14]*

Obr. 11. *Deskový aerační element ENVI-PUR [14]*

Obr. 12. *Diskový středobublinný aerační element ENVI-PUR [14]*

Obr. 13. *Diskový hrubobublinný aerační element ENVI-PUR [14]*

Obr. 14. *Injektor [7]*

Obr. 15. *Funkční skladba ejektoru [15]*

Obr. 16. *Kombinovaná aerace v oběhové aktivací nádrži [1]*

Obr. 17. *celoplošná aerace [19]*

Obr. 18. *dvojpásová aerace (bilaterální) [19]*

Obr. 19. *jednopásová aerace (laterální) [19]*

Obr. 20. *celoplošná neodstupňovaná aerace [19]*

Obr. 21. *celoplošná odstupňovaná aerace [19]*

Obr. 22. *zonální aerace [19]*

Obr. 23. *optimální průběh koncentrace rozpuštěného kyslíku v nádrži [19]*

Obr. 24. *rozdělení aeračních elementů v nádrži [19]*

SEZNAM FOTOGRAFIÍ

Foto 1. *Původní stav [20]*

Foto 2. *Demontáž stávajících aeračních elementů [20]*

Foto 3. *Instalace OTT-Magnum [20]*

Foto 4. *Finální stav po instalaci aeračních elementů OTT-Magnum [20]*

Foto 5. *Zkušební aerace před uvedením do provozu [20]*

Foto 6. *Zkušební aerace před uvedením do provozu [20]*

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A_e ... účinná plocha aeračního elementu [m^2]
b ... šířka aktivační nádrže [m]
BSK_5 … biochemická spotřeba kyslíku [$mg \cdot l^{-1}$]
Bv … objemové zatížení aktivace [$kg \cdot m^{-3} \cdot d^{-1}$]
Bx ... látkové zatížení aktivace [$kg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$]
$c_{0\text{-}BSK5}$ ... vstupní koncentrace do aktivační nádrže [$kg \cdot m^{-3}$]
$c_{1\text{-}BSK5}$ ... výstupní koncentrace BSK_5 z aktivační nádrže [$kg \cdot m^{-3}$]
c_i … obsah kyslíku ve vzduchu [-]
$c_{m,s}$ ... saturační koncentrace rozpuštěného kyslíku [$mg \cdot l^{-1}$]
c_m ... provozní koncentrace rozpuštěného kyslíku [$mg \cdot l^{-1}$]
D … průměr trubního aeračního elementu [m]
D_S ... hustota aeračních elementů [$ks \cdot m^{-2}$]
E_a ... množství využitého kyslíku [%]
$E_{AN\text{-}BSK5}$ ... účinnost odstranění BSK_5 v aktivaci [%]
F … teplotní součinitel [-]

$f_{e,a}$ ... poměr mezi plochou aeračního elementu a plochou aktivační nádrže [%]
f_P ... korekční faktor pro přepočet tlaku vzduchu v dané nadmořské výšce [-]
h … hloubka uložení aeračních elementů [m]
h_{AN} ... hloubka aktivační nádrže [m]
k_n ... součinitel nerovnoměrnosti oxygenační kapacity [kg·d^{-1}]
l … délka aerační nádrže [m]
N ... počet aeračních elementů [ks]
$OC_{P,C}$ ... spotřeba kyslíku na organické znečištění a endogenní respiraci [kg·d^{-1}]
$OC_{P,D}$ ... spotřeba kyslíku na denitrifikaci [kg·d^{-1}]
$OC_{P,CH}$ ... spotřeba kyslíku na chemické oxidace [kg·d^{-1}]
$OC_{P,N}$ ... spotřeba kyslíku na nitrifikaci [kg·d^{-1}]
OC_P ... spotřeba kyslíku na oxidaci organického znečištění a end. respiraci [kg·d^{-1}]
OC_{st} ... standardní oxygenační kapacita [kg·d^{-1}]
P … příkon zdroje vzduchu [kW]
p_1 ... tlak vzduchu v dané nadmořské výšce [kPa]
p_A ... tlaková ztráta na aeračním elementu [kPa]
p_F ... tlaková ztráta na ventilech v aeračním systému [kPa]
p_H ... hydrostatický tlak [kPa]
p_P ... tlaková ztráta na potrubí [kPa]
p_s ... standardní atmosférický tlak [kPa]
p_v ... výtlačný tlak [kPa]
Q_{24} ... průměrný denní průtok [m^3·d^{-1}]
$Q_{vz,e}$ ... nominální průtok vzduchu [m^3·hod^{-1}]
Q_{vz} ... průtok vzduchu [m^3·hod^{-1}]
Q_{vz}^{p} ... průtok vzduchu v konkrétní lokalitě [m^3·hod^{-1}]
$S_{dp\ AN}\ BSK_5$ ... množství BSK_5 přiváděné do aktivační nádrže [kg·d^{-1}]
SSK … specifická spotřeba kyslíku [kg·kg^{-1}]
T … teplota odpadní vody [°C]
T_1 ... maximální teplota nasávaného vzduchu [K]
T_P ... průměrná teplota nasávaného vzduchu [K]
T_s ... standardní teplota nasávaného vzduchu [K]
v … průtočná rychlost vzduchu [m·s^{-1}]
V_{KAL} ... produkce kalu [kg·den^{-1}]
W_S ... objem kalu [kg]
X … koncentrace kalu [kg·m^3]
α … součinitel jemnobublinné aerace [-]
η … součinitel pro zdroj vzduchu [-]
Θ … doba zdržení kalu [hod]
$Θ_x$ ... stáří kalu [dny]
π … Ludolfovo číslo [-]

SUMMARY

The main aim of the bachelor thesis is description of different methods of aeration, followed by design of an aeration system in the concrete location. Apart from other aeration technologies I focused on description of pneumatic aeration. The fine bubble pneumatic aeration is used, because of higher rate of interchange reactions of oxygen. It can be expected that there will be some progress in future and mainly the energetic cost of the aeration will be reduced.

I have chosen Vřesová Sokolovská uhelná as a location for the preliminary design of the aeration system. Vřesová is a part of the company Sokolovská uhelná, which also focuses on production of electrical energy. Additionally produced industrial wastewater is also treated there. Aeration elements were changed during past 15 years three times due to aggressive water. The same aeration system was used everytime.

Original aeration elements Supratec from the company AKRO were replaced by aeration elements Magnum 2000 from the company OTT, which is located in Germany. The main benefit of this aeration element is resistance of the membrane against industrial water. The membrane of the aeration element is the most occupied part of the element and, considering the aggressiveness of the industrial water, its lifespan is estimated to be 10 years. Thus, the lifespan of the aeration system should be at least 10 years.

The second reason for choosing the aeration system from the company OTT is that its aeration elements can be installed directly on a current distribution pipe, which ought to be in good condition and therefore its lifespan may be estimated to be longer than lifespan of aeration elements.

The replacement of the aeration elements leads to lowering costs of running the aeration system – mainly in the manner of reducing the need for air.