

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Charakteristika technologie CASS v čistírně odpadních vod
Kralický Háj**

Autor práce: Adéla Klukáčková

Vedoucí práce: Ing Petra Sychová, Ph. D

Konzultant práce: Ing. Hana Klukáčková

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Adéla Klukáčková

Vodní hospodářství

Název práce

Charakteristika technologie CASS v čistírně odpadních vod Kralický Háj

Název anglicky

CAS system in sewage treatment plant Kralický Háj

Cíle práce

Předmětem práce je jednak shromáždění literárních podkladů o obecném čištění odpadních vod a užití charakteristika technologie systému CASS, využívané na ČOV v Prostějově. Cílem práce je vyhodnocení provozu čistírny odpadních vod v Prostějově a následné porovnání s používaným systémem na ČOV Zlín.

Metodika

- zpracování literární rešerše o čištění odpadních vod
- charakteristika systému CASS
- stručný popis technologické linky ČOV Kralický Háj(Prostějov)a ČOV Zlín.
- porovnání ČOV a vyhodnocení provozu ČOV Prostějov

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

čistírna odpadních vod, systém CASS, odpadní voda, mechanické čištění, biologické čištění

Doporučené zdroje informací

Dohányos, M., Koller, J., Strnadová, N. (1998): Čištění odpadních vod. VŠCHT Praha. 177s.

Henze, M., Harremoës, P., LaCour Jansen, J., Arvin, E. (2002): Wastewater Treatment, biological and chemical processes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 422 s.

Hlavínek, P., Hlaváček, J. (1996): Čištění odpadních vod, praktické příklady výpočtů. Noel 2000 Brno. 196 s.

Hlavínek, P., Novotný, D. (1996): Intenzifikace čistíren odpadních vod. NOEL 2000 Brno. 235 s.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petra Sychová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Konzultant

Ing. Hana Klukáčková

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 3. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 23. 04. 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Petry Sychové, Ph. D. a pod dohledem konzultanta Ing. Hany Klukáčkové. Dále prohlašuji, že jsem uvedla všechny literární prameny a materiály, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 22.04.2017

.....

Adéla Klukáčková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat všem lidem, kteří mi byli nápomocní při vzniku této bakalářské práce. V první řadě vedoucímu práce Ing. Petře Sychové, Ph. D. za všechny informace a připomínky, které mi poskytla. Také bych ji chtěla poděkovat za trpělivost a ochotu věnovat mi část svého volného času během konzultací. Mé veliké dík patří také mému konzultantovi Ing. Haně Klukáčkové za její odporný dohled a poskytování údajů, které mi byly nápomocné při zpracování této práce.

V Praze 22.04.2017

.....

Adéla Klukáčková

Charakteristika technologie CASS v čistírně odpadních vod Kralický Háj

CAS system in sewage treatment plant Kralický Háj

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je porovnání provozu ČOV (čistírna odpadních vod) Prostějov a shromáždění informací o charakteristice zabudovaného systému CASS (Cyclic Activated Sludge System) – modifikovaný SBR (Sequencing Batch Reactor) systém, s druhou odlišnou technologií. Technologie CASS je využívána na čistírně odpadních vod Kralický Háj. Tato lokalita čistírny je umístěna na okrajové části města Prostějov. Hlavním cílem je vyhodnotit efektivitu, funkčnost, spolehlivost, výkonnost, ekonomickou stránku čistírny odpadních vod v Prostějově.

Pro dosažení tohoto cíle bylo nutné zvolit druhou čistírnu odpadních vod, se kterou bude zmíněná technologie porovnávána. Zvolená čistírna využívá odlišnou technologii Johannesburg, objekt ČOV se nachází v Malenovicích ve Zlíně. Uvedené technologie ČOV představují rozdíl především v biologické části čistírny.

První část práce obsahuje zpracování stručné literární rešerše o hlavních bodech biologické části čistíren s několika využívanými procesy a následně shromážděné informace o systému CASS. V další části práce jsou zde popisovány jednotlivé technologické celky čistírny odpadních vod Prostějov a Zlín. A následné zhodnocení výsledků obou čistíren na základě posouzení parametrů kvality vyčištěné odpadní vody, spotřeby chemických látek a množství vzniklého kalu, které byly dosaženy za rok 2016.

Z uvedených výsledků bylo možné analyzovat, ve kterých oblastech dosahují čistírny lepších nebo horších výsledků. Díky těmto poznatkům bylo možné navrhnout případné opatření pro lepší provoz čistírny odpadních vod v Prostějově.

Klíčová slova:

čistírna odpadních vod, systém CASS, odpadní voda, biologické čištění, mechanické čištění.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to compare the operation of Waste Water Treatment Plant in Prostějov and to collect information on the characteristics of the built-in CASS (Cyclic Activated Sludge System) system - a modified SBR (Sequencing Batch Reactor) system with a second different technology. The CASS technology is used for the Kralický Háj wastewater treatment plant. This treatment plant site is located on the outskirts of Prostějov. The main objective is to evaluate the efficiency, functionality, reliability, performance, economic aspect of the Prostějov wastewater treatment plant.

To achieve this, it was necessary to select a second sewage treatment plant with which the mentioned technology would be compared. The selected treatment plant uses different Johannesburg technology, the WWTP facility is located in Malenovice in Zlín. The above WWTP technologies represent the difference especially in the biological part of the treatment plant.

The first part of the work includes the elaboration of a brief literary research on the main points of the biological parts of the treatment plants with several used processes and subsequently the collected information about the CASS system. In the next part of the thesis are described individual technological units of the wastewater treatment plant Prostějov and Zlín. And the subsequent evaluation of the results of the two treatment plants based on the assessment of the quality parameters of the treated waste water, the consumption of chemicals and the amount of sludge generated in 2016.

From the above results it was possible to analyze in which areas the treatment plants achieve better or worse results. Thanks to these findings it was possible to propose possible measures for better operation of the wastewater treatment plant in Prostějov.

Keywords:

Sewage treatment plant, CASS system, waste water, biological cleaning, mechanical cleaning.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod | 10 |
| 2. Cíl práce | 11 |
| 3. Teoretická část | 12 |
| 3.1. Čištění odpadních vod..... | 12 |
| 3.1.1. Předčištění a mechanická část čistírny odpadních vod..... | 12 |
| 3.1.2. Biologická část čistírny odpadních vod..... | 14 |
| 3.1.2.1. Ukazatele znečištění odpadních vod..... | 15 |
| 3.1.2.2. Společné odstraňování dusíku a fosforu..... | 22 |
| 3.1.3. Kalové hospodářství..... | 26 |
| 3.1.4. Plynové hospodářství..... | 30 |
| 3.1.5. volba typu systému biologického stupně..... | 30 |
| 3.2. Základní informace o technologii CASS..... | 30 |
| 3.2.1. Rozdíl oproti obvyklým průtokovým zařízením..... | 31 |
| 3.2.2. Odstraňování živin..... | 33 |
| 3.2.3. Druhy provozu a provozní fáze..... | 34 |
| 3.2.4. Automatizace zařízení CASS..... | 36 |
| 3.3. Základní informace o technologii Johannesburg..... | 37 |
| 4. Zhodnocení zjištěných informací na ČOV Prostějov a ČOV Zlín | 38 |
| 4.1. Čistírna odpadních vod Prostějov - ČOV Prostějov..... | 38 |
| 4.1.1. Stručná charakteristika ČOV..... | 38 |
| 4.1.2. Biologická část..... | 41 |
| 4.1.3. Základní návrhové hodnoty a limity podle projektu..... | 43 |
| 4.2. Čistírna odpadních vod Zlín - ČOV Zlín..... | 44 |
| 4.2.1. Stručná charakteristika ČOV..... | 45 |
| 4.2.2. Biologická část..... | 47 |
| 4.2.3. Základní návrhové hodnoty a limity podle projektu..... | 50 |
| 5. Výsledky | 52 |
| 5.1. Rozdíly mezi ČOV Prostějov a ČOV Zlín..... | 53 |
| 5.2. Porovnání výsledků ČOV Prostějov a ČOV Zlín..... | 53 |
| 6. Diskuze | 58 |
| 6.1. Vyhodnocení výsledků ČOV Prostějov a ČOV Zlín..... | 58 |
| 6.2. Zhodnocení přínosů a nedostatků technologie CASS..... | 59 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 7. Závěr | 63 |
| 8. Seznam literatury | 64 |
| 9. Seznam obrázků | 68 |
| 10. Seznam tabulek | 70 |
| 12. Seznam příloh | 72 |

1. Úvod

Voda je jedním z důležitých elementů, které jsou v životě hodně zapotřebí, proto je důležité se starat o její dobrou kvalitu a správné odstranění nečistot. Odpadní voda je taková voda, která má zhoršenou kvalitu díky znečištění způsobené především lidskou činností (například odpadní vody z domácností, ze zemědělství, z průmyslu či ze zdravotnictví). Tyto vody jsou poté dopravovány kanalizací do čistíren odpadních vod, ve kterých dochází k čištění a následnému zlepšení kvality odpadní vody.

Často využívaným typem čistírny je považována mechanicko–biologická čistírna odpadních vod. Principem funkce této čistírny je předčištění odpadní vody (OV) v mechanické části a následující čištění v biologické části, ve kterém dochází k odstranění nečistot z vody pomocí mikroorganismů. Cílem každé ČOV (čistírny odpadních vod) je zlepšit kvalitu vody, která přiteče na čistírnu tím, že se snaží především snížit množství organických látek, nutrientů jako dusíku a fosforu a odstranit nebezpečné látky. Technologie různých typů čistíren bývá složitým a dosti nákladným procesem.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na posouzení a vyhodnocení, jak provozu vybrané čistírny, tak i kvality vody, kterou vypouští do recipientu v porovnání s další čistírnou jiného principu aktivací. Dále vyhodnocuje výhody a nevýhody zvolené technologie na ČOV Prostějov.

2. Cíle práce

Cílem této bakalářské je vyhodnocení provozu čistírny odpadních vod v Prostějově a srovnáním s čistírnou odpadních vod ve Zlíně. Pro přiblížení procesu čištění odpadních vod se první části mé práce nejdříve zabývám obecnými informacemi o čištění odpadních vod mechanicko-biologickou čistírnou. Dále také se zde zabývám popsáním používaných technologií biologického procesu obou čistíren, především se snažím blíže seznámením veřejnosti s principem modifikovaného SBR procesu – Systému CASS. Na území ČR se vyskytují pouze dvě velké čistírny toho typu (Prostějov, Znojmo). V práci se zabývám touto technologií, díky její odlišnosti od ostatních systémů, které v první řadě spočívá v tom, že oproti klasickým kontinuálním aktivačním procesům využívá CASS systém ke zpracování aktivovaného kalu a následné jeho separace od vyčištěné vody pouze jedné nádrže. Dalšími důvody jsou například lepší zvládnutí a korigování přítoků na čistírnu, automatizace technologie.

V druhé části práce zabývám srovnání ČOV Prostějov s druhou mechanicko - biologickou čistírnou, které využívá odlišný typ technologie aktivačního procesu. Pro tuto práci jsem si zvolila čistírnu podobné velikosti a zatížení - čistírnu odpadních vod ve Zlíně. ČOV Zlín využívá technologii JOHANNESBURG. Porovnání těchto dvou čistíren bude převážně ve vyhodnocení parametrů kvality vody BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku 5-ti denní), CHSK_{Cr} (chemická spotřeba kyslíku), NL (nerozpuštěné látky), N_{celk} (celkového dusíku), P_{celk} (celkový fosfor) atd.), která je vypuštěná do recipientu.

3. Teoretická část

3.1. Čistírna odpadních vod

Čistírna odpadních vod (ČOV), jak již vyplývá z názvu, je zařízení, ve kterém dochází k procesu čisti odpadních vod a také napomáhá zlepšení jejich kvality. ČOV se hlavně rozdělují podle různých typů čistírenských procesů.

Podle určení parametrů kvality vody se zjišťují fyzikální, chemické, a biologické charakteristiky vody. Tyto parametry zahrnují škálu vlastností, které dělají vodu použitelnou pro konzumenty. Dále zajišťují, že přítomnost vody nepředstavuje hrozbu nebo narušení životního prostředí, popřípadě lidí a to v celé šíři možného použití vody (Drinan, Spellman, 2013).

Podle charakteru kvality odpadní vody se určuje její další proces čištění (chemické, fyzikální, biologické).

3.1.1. Předčištění a mechanická část čistírny odpadních vod

Aby nedocházelo při čištění městských odpadních vod k mechanickým závadám, zanášení objektů a zařízení ČOV je třeba zajistit rozdělení a odstranění hrubých nečistot z odpadní vody. Jedná se poměrně o jednoduché procesy jako je sedimentace (lapák písku a šterku), flotace (lapák tuku a olejů), nebo filtrování (česle, síta) (Koukolík, 1985).

Hrubé a jemné česle

Česle slouží jako první čistící článek a zároveň chrání čerpadla proti poškození způsobené většími nečistoty obsažených v odpadní vodě, která přitéká kanalizací na ČOV. Dělí se na hrubé a jemné česle, které odstraňují nečistoty (shrabky) velikosti cca do 1 mm.

Hrubé česle (ocelové) jsou složeny z vertikálních nebo nakloněných česlic (průlinách) umístěné ve stejných vzdálenostech (5 až 20 cm) od sebe a bývají ručně stírané.

Jemné česle (ocelové) mají průliny obvykle široké 3 až 20 mm a mají tvar části kruhu nebo jsou přímé se sklonem ve směru proudu vody a jsou zpravidla strojně stírané (Malý a Hlavínek, 1996).

Síta

Síta mohou být spádová, bubnová pohyblivá a nepohyblivá. Spádová síta jsou tvořena z vodorovně položených česlic z nerez oceli vzdálené od sebe 1 mm. Bubnové pohyblivé síto je tvořeno otáčivým bubnem s česlicemi, které se z profilu směrem dovnitř bubnu rozšiřují a jsou stírané mechanicky. Bubnová nepohyblivá síta jsou tvořena kruhovými česlicemi, které jsou umístěny do šikmo položeného bubnu, jehož profil se směrem ven rozšiřuje (Malý a Hlavínek, 1996).

Zpracování shrabků

Shrabky jsou často vodnaté, a proto je vhodné zbavit je přebytku vody kvůli lepšímu zpracování (kompostování, skládkování nebo spalování). Děje se tak lisováním pístových lisů, do nichž jsou shrabky buď dopravovány pásovým dopravníkem nebo shrabky padají z česlí rovnou do násypky lisu (Malý a Hlavínek, 1996).

Lapák písku a šterku

V lapáku písku se odstraňují suspendované, těžké anorganické látky (například písek, úlomky skla, jemná škvára) a slouží také k zachytávání minerálních částic (velikosti zrn 0,2 až 0,25 mm), aby byla především zajištěna ochrana dalších objektů a zařízení ČOV. Tyto látky je nutné odstranit odděleně od ostatních nerozpuštěných látek organického původu, které se odstraňují v sedimentačních nádržích (usazovací nádrže) (Dohányos a kol, 1998).

Lapáky písku s horizontálním průtokem lze rozdělit na komorový, šterbinový a lapák písku s kontrolovanou rychlostí. Dále se dělí na lapáky se strojním odstraňováním písku a ručním odstraňováním písku (čistění 1 – 2x týdně). Vertikální lapáky písku lze rozdělit na vírový, provzdušňovaný a odstředivý s příčnou cirkulací (Malý a Malá, 1996).



Obr. č.1 - Lapák písku na ČOV Prostějov (Hana Klukáčková, 2011, in litt.)

Lapák tuků a olejů

Lapák tuků odstraňuje látky s hustotou menší než je hustota vody, jako například ropné látky. Na částice působí v separačním procesu (flotace) stejné síly jako při odlučování sedimentací, a proto se částice pohybují vzhůru k hladině. Mezi lapáky tuku se řadí například gravitační separátory tuků a olejů nebo koalescenční filtry (Malý a Malá, 1996).

Usazovací (sedimentační) nádrž

Usazování patří k nejrozšířenějším separačním procesům. Usazování tuhých částic je daná gravitací, kde také závisí na velikosti, tvaru částic a hustotě kapaliny. V technologii vody se rozlišují suspenze tvořené z částic zrnitých a vločkovitých (biologicky aktivovaný kal, hydroxidy těžkých kovů). Sedimentaci rozlišujeme na prostou a rušenou. Ke gravitační separaci usazovacích látek slouží usazovací nádrže a ty se dělí na primární a sekundární. Dále se dělí na pravoúhlé s horizontálním průtokem, kruhové s horizontálním nebo vertikálním průtokem a šterbinové s kalovým prostorem (Hlavínek a Novotný, 1996).

3.1.2. Biologická část čistírny odpadních vod

Jednotlivé typy technologie čistíren odpadních vod se především liší v biologické části v aktivačním procesu. V konvenčních aktivačních systémech

se odpadní voda a vratný kal směšují ve vtokové části aktivační nádrže. Protože toto technické zařízení je u velkých čistíren poměrně drahé, byla postupně vyvinuta celá řada modifikací (Pytl a kol, 2004).

Proces biologického čištění odpadních vod se využívá už dlouhá léta, přičemž docházelo k jejímu postupnému vývoji, kdy podstatná změna nastala v zavádění procesu na odstraňování nutrientů (dusíku, fosforu). Nejdříve se pro návrhy technologického biologického stupně vycházelo pouze z požadavků na odstranění organického znečištění OV, jako BSK₅ a uhlíku. Postupně se požadavky na tento stupeň rozšiřovaly včetně aeračního zařízení a dříve už zmíněného odstraňování dusíku a fosforu (Wanner, 1995)

V roce 1913 byl poprvé modelově odzkoušen aktivační proces čištění odpadních vod, který se postupem času modernizoval kvůli novým poznatkům a požadavkům na kvalitu vyčištěné vody. Co se týče konstrukci aktivačních nádrží, tak ty zejména ovlivňovaly metody jejich aerace. Tím pádem aerační válce (kessenery) byly nahrazeny BSK turbínami (povrchovými aerátory) a středněbublinná aerace jemnobublinnou aerací. V dnešní době patří mezi hlavními požadavky především vysoká účinnost na snížení koncentrace organických látek, dusíku a fosforu. Odstraňování dusíku patří mezi technologicky nejnáročnější proces, který většinou určuje technologii aktivačního procesu (Batěk, 2013).

3.1.2.1. Ukazatele znečištění odpadních vod

U posouzení o principu čištění odpadních vod je vhodné znát jejich jakost a množství. Množství splaškových odpadních vod se uvádí v jednotkách toku l/s, m³/d, nebo v m³/rok a závisí na spotřebě vody u producenta. Pro vyhodnocování znečištění komunálních odpadních vod jsou nejvýznamnější tyto složky: BSK₅, CHSK_{Cr}, nerozpuštěné látky, sloučeniny P (fosfor) a N (dusík).

Ekvivalentní obyvatel (EO) je základním měřítkem pro vyjadřování znečištění. EO je definován produkcí znečištění 60 g BSK₅ za den. Pro zařazení čistírny odpadních vod do velikostní kategorie se počet ekvivalentních obyvatel vypočítává z maximálního průměrného týdenního zatížení, které je na přítoku do ČOV během roku, ale s výjimkou neobvyklých situací jako jsou povodně a přívalové deště (Nařízení vlády č. 401/2015).

| NL [g/(os.den)] | BSK ₅ [g/(os.den)] | CHSK [g/os.den] | N _{celk} [g/(os.den)] | P _{celk} [g/(os.den)] |
|--------------------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 55 | 60 | 120 | 11 | 2,5 |

Tab. č. 1- Průměrné znečištění vytvořené 1 obyvatelem za den (Jaglová a kol, 2009)

A) Nerozpuštěné látky (NL)

Nerozpuštěné látky vyjadřují obsah pevných nebo kapalných látek v odpadní vodě (OV), které jsou udávány v mg/l nebo kg/den. Z vody je lze odstranit většinou sedimentací. Z tohoto hlediska se rozlišují na usaditelné (do cca 2 hodin sedimentují) a neusaditelné (tvoří trvalý zákal – velmi malé částice). Mohou být organického či anorganického původu.

B) Biochemická spotřeba kyslíku 5-ti denní (BSK₅)

BSK₅ je jedním z nejdůležitějších ukazatelů čistoty nebo znečištění vody. Vyjadřuje obsah biologicky rozložitelných organických látek v OV a vyjadřuje se v jednotkách mg/l kyslíku. Biochemická spotřeba kyslíku je rovna množství rozpuštěného molekulárního kyslíku spotřebovaného za určitý časový interval (standardně 5x24 hodin, proto BSK₅) mikroorganismy při biochemickém rozkladu organických látek ve vodě, aniž by přitom byl kyslík dodáván.

C) Chemická spotřeba kyslíku (CHSK_{Cr})

Chemická spotřeba kyslíku je mírou obsahu látek schopných chemické oxidace. Jeho stanovení slouží hlavně k informaci o celkovém obsahu organických (oxidovatelných) látek obsažené ve vodě. Výsledek stanovení se udává v množství kyslíku, které je ekvivalentní spotřebě použitého oxidačního činidla - manganistan draselný nebo dichroman draselný. Chemická spotřeba kyslíku je vyjádřena v mg/l kyslíku. Poměr mezi CHSK_{Cr} a BSK₅ vyjadřuje stupeň biologické rozložitelnosti organických látek. Hodnoty poměru CHSK_{Cr}/BSK₅ (< 2), které jsou nízké, ukazují na přítomnost snadno rozložitelných látek a vysoké hodnoty poměru znamenají přítomnost látek, které jsou obtížně rozložitelné (Sobolíková, 2013).

D) Nutrienty

Nutrienty jsou minerální živiny a jsou nezbytné pro růst mikroorganismů. Patří mezi ně dva důležité prvky – dusík a fosfor. Ty jsou ve svých formách přítomny ve všech vodách (povrchových, podzemních i odpadních), podílí se na reakcích při biologických procesech úpravy a čištění vody.

Mezi specifické problémy, které způsobuje zvýšený obsah nutrientů ve vodách patří zejména (Malý a Hlavínek, 1996):

- Eutrofizace povrchových vod = zvyšování obsahu nutrientů ve vodách díky výskytu fosforu a dusíku v okolní půdě a dnových sedimentech nebo je způsobena lidskou činností (zemědělství – splav hnojiv z polí). Zvýšený obsah způsobuje porušení biologické rovnováhy ve vodách, které se uplatňuje především ve vodách stojatých (nádrže, jezera, rybníky).
- Toxické účinky amoniaku NH_3 (amoniak) na ryby.
- Zvýšený obsah dusičnanů v pitné vodě.

Pokud klesne pod určitou hodnotu podíl N a P k přidávané BSK_5 , pak dochází ke snížení čistící účinnosti s možnou preferencí růstu vláknitých organismů (Malý a Hlavínek, 1996).

Důležitý je vztah mezi koncentrací dusíku a fosforu s hodnotou BSK_5 , udávaný poměr – $\text{BSK}_5 : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$ - určuje potřebnou nutriční vyváženost odpadních vod pro zajištění růstu biomasy. Převážná většina splaškových vod obsahuje nadbytek nutrientů, které klasický aktivační systém eliminuje jen do výše uvedeného poměru. Je tedy nutné na ČOV nutrienty odstraňovat speciálními procesy, které jsou zařazeny do technologických linek čistírny odpadních vod (Hlavínek a kol, 2001).

Výpočtové schéma systémů biologického odstraňování nutrientů by mělo zahrnovat tyto vstupní informace týkající se charakteristiky odpadní vody (Hlavínek a Novotný, 1996):

- CHSK_{Cr} , NL a také celkový dusík a fosfor na přítoku
- usaditelné látky, snadno odbouratelné CHSK_{Cr}
- alkalita, hodnoty pH
- denní změny zatížení CHSK_{Cr} a TKN (celkový dusík)

- intenzita rozkladu látek v odpadní vodě (zvláště při posuzování vlivu průmyslu
- a nakonec teplotní rozpětí odpadní vod

Dusík

Dusičnany spolu s amoniakem jsou ionty na bázi dusíku, které jsou navázány na přírodní dusíkový koloběh (Wachinski, 2013).

Hlavínek a kol. (2001) uvádí formy dusíku obsažené ve vodách:

| | |
|------------------------------------|------------------------------|
| „Amoniakální dusík - nedisociovány | NH ₃ |
| - disociovány | NH ₄ ⁺ |
| Dusitanový | NO ₂ ⁻ |
| Dusičnanový | NO ₃ ⁻ |
| Elementární | N ₂ |
| Kyanatany | CNO ⁻ |
| Oxid dusný | N ₂ O |

Celkový dusík (N_{celk}) zahrnuje dusík anorganicky a organicky vázaný (N_{anorg} a N_{org}):

$$N_{\text{celk}} = N_{\text{anorg}} + N_{\text{org}}$$

Metody odstraňování dusíku:

a) Fyzikálně – chemické metody odstraňování dusíku

Fyzikálně-chemické metody bývají finančně náročnější než biologické metody. Využívají se tedy v případě, kdy nelze provádět biologické čištění, jako například odstraňování dusíku z problematických průmyslových odpadních vod (Hlavínek a kol, 2001).

- Oxidace chlorem (odstranění amoniakálního dusíku z vody)
- Intenzivní aerace (provzdušňování) – odstraní až 98% amoniakálního dusíku.
- Iontová výměna – probíhá zachycováním na měničích iontů (tzv. iontoměničích neboli ionexech).

b) Biologické metody odstranění dusíku

Jsou používány různé procesy odbourávání dusíku jako proces užívání filtrů, proces výměnných iontů a biologické procesy (heterotrofní odbourávání dusíku). Výzkum biologického procesu odstraňování dusíku započal roku 1978 a vedl ke stavbě prvního heterotrofně biologického zařízení na světě (1983) použitého v industriální sféře. Stalo se tak v Eragny-sur-Oise ve Francii. Biologická metoda zůstává stále jediným procesem, který naprosto řeší problém přeměny nitrátu na základní dusíky vypuštěné do atmosféry (Thomas a King, 1991)

Při biologickém odstraňování dusíku bývají využívány určité schopnosti a činnosti mikroorganismů, které lze obecně rozdělit na (Hlavínek a kol, 2001):

- Litotrofní (dříve autotrofní) organismy – pro tvorbu biomasy je zdrojem uhlíku oxid uhličitý CO_2 , nepotřebují tedy k růstu organické látky. Podle toho, kde získávají energii potřebnou k tvorbě nové biomasy se následně dělí:
 - Chemolitotrofní – energie bývá získaná chemickou reakcí a to oxidací anorganických látek.
 - Fotolitotrofní – využívají světelnou energii
- Organotrofní (dříve heterotrofní) organismy – tyto organismy naopak vytváří energii pro růst z organických látek.

Důležitým faktorem biologického čištění je potřebné prostředí (aerobní, anaerobní, anoxické).

- Aerobní podmínky = ve vodě je obsažen rozpuštěný kyslík i kyslík vázaný v dusičnanech, výsledným produktem je CO_2 a H_2O .
- Anaerobní podmínky = naprostá nepřítomnost kyslíku
- Anoxické podmínky = je zde pouze kyslík vázaný v dusičnanech.

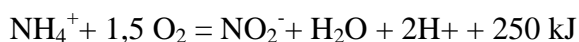
Při biologickém odstraňování dusíku využíváme dějů, které ve vodách běžně probíhají, jako je **nitrifikace a denitrifikace**.

- Nitrifikace

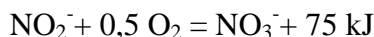
Nitrifikace je biochemická oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a dále na dusičnany. Díky oxidaci získávají energii a část energie spotřebovávají pro tvorbu nové biomasy syntetizující z CO_2 (anorganický uhlík). Skutečná spotřeba kyslíku

na 1g amoniakálního dusíku je asi 4.33g O₂. Probíhají zde dvě základní reakce oddělených skupin nitrifikačních bakterií:

- nitritace (oxidace amoniakálního dusíku na dusík dusitanový)



- nitratice (oxidace dusitanového dusíku na dusík dusičnanový)



Při těchto reakcích dochází k okyselení daného prostředí kvůli uvolňování vodíkových iontů H⁺, pH se snižuje a je nutné jej kompenzovat například přidáním vápna nebo sody. V průběhu nitrifikace se uvádí optimální rozsah pH 7-8,5. Při hodnotě 7 – 7,2 můžeme zpozorovat zpomalení a při hodnotě 6,5 – 6 dochází k zastavení reakce. Nitrifikační bakterie (jejich růstová rychlost) jsou ovlivňovány teplotou, produkce dusičnanů s rostoucí teplotou roste. Nízká růstová rychlost se kompenzuje zvýšením množství nitrifikačních bakterií, to znamená, že se ponechá kal v procesu delší dobu (vyšším stáří kalu). Toho lze dosáhnout například díky kvalitnímu a účinnému provzdušňování nádrží, nízkým organickým zatížením biologického stupně nebo chemickým předsrážením (Hlavínek a kol, 2001).

- Denitrifikace

Denitrifikace je biochemická redukce dusičnanů na oxidy dusíku a dále na elementární dusík. Schematicky lze průběh denitrifikace naznačit takto:



Aby se odboural konečný produkt – dusičnany, měla by denitrifikace navazovat na nitrifikaci. Pokud by byla do systému zařazena pouze nitrifikace, docházelo by v dosazovací nádrži k redukci dusičnanů na plynný dusík, který by nesl sebou k hladině vločky kalu a ty by se dostaly do odtoku, což je nežádoucí. Denitrifikace snadno probíhá v anoxických podmínkách, kdy je přítomen kyslík pouze vázaný v dusičnanech. Je také nutné dodávat do systému zdroj energie a uhlíku v podobě organického substrátu. Při reakci se uvolňují hydroxidové ionty OH⁻, ty způsobují alkalizaci prostředí, pH vody se tak zvyšuje až na hodnoty 6 – 9 (Hlavínek a kol, 2001).

Fosfor

Fosfor je důležitou živinou, která je nezbytná pro nižší a vyšší organismy. Tyto organismy je přeměňují na organicky vázaný fosfor. Také je využíván zejména při růstu vodních rostlin (Hlavínek a kol, 2001).

Koncentrace fosforu v surové odpadní vodě se pohybuje od 4 do 8 mg/l, ale závisí na několika faktorech včetně průmyslových zásahů (Wachinski, 2013).

Faktory ovlivňující odstraňování fosforu podle Randall a kol (1992) jsou:

- množství nižších mastných kyselin v anaerobní zóně
- typu kyselin
- podílu poly-P bakterií
- typu bakterií
- množství uskladněného fosforu v poly-P bakteriích při jejich vstupu do anaerobní zóny
- množství elektronových akceptorů v anaerobní zóně (rozpuštěný kyslík a NO_x)
- koncentrace kationtů potřebných pro poly-P organismy
- době zdržení v anaerobní zóně
- teplotě odpadní vody a pH v anaerobní zóně

Metody odstraňování fosforu:

a) Biologické metody odstraňování fosforu

„V biocenóze aktivovaného kalu se nacházejí také bakterie schopné zvýšené akumulace fosforu do buněk.

Tyto organismy jsou souhrnně označovány jako poly-P (polyfosfát akumulující nebo také polyfosforečné) pocházející převážně z rodu Acinobakter (identifikovány r. 1975).

Mechanismus zvýšené akumulace fosforu představuje pro tyto mikroorganismy selektivní výhodu při opakovaném střídání anaerobních a oxických kultivačních podmínek, které jsou základním předpokladem jeho navození.

Pokud se podaří v aktivačním systému navodit mechanismus zvýšeného biologického odstraňování fosforu, může jeho obsah v sušině kalu dosáhnout 9 – 10 %.

Fosfor není vázán v granulích nikterak pevně a snadno se z nich uvolňuje, jakmile je vystaven anaerobním podmínkám. Proto musí být zabráněno zejména:

- *Příliš dlouhému pobytu zahušťovaného kalu v dosazovacích nádržích, kde by mohlo dojít k zpětnému uvolňování fosforečnanů do finálního odtoku.*
- *Vystavení kalu anaerobním podmínkám (nežádoucí návrat fosforu kalovou vodou do hlavní technologické linky).“(Hlavínek, 1999, seminář 6, s. 6-13)*

b) Chemické metody odstraňování fosforu

Hlavínek a kol (2001) uvádí, že při chemické odstraňování fosforu se využívá převážně srážení, při kterém se rozpuštěný anorganický fosfor převádí na málo rozpustné fosforečnany a hydroxidy kovů. Průběh srážení fosforu je komplikovaný, díky chemickým reakcím jako sorpce a další procesy, kvůli kterým jsou výsledkem sraženiny různého složení. Fosforečnany se váží na vznikající se vločky a současně dochází k odstranění organických látek společně s nerozpuštěnými látkami. Tomuto procesu se říká koagulace a chemické látky, které se zde přidávají, nazýváme koagulanty (soli železa a hliníku nebo vápno). Při použití vápna je riziko zvýšení pH směsi, proto je nutná následná neutralizace.

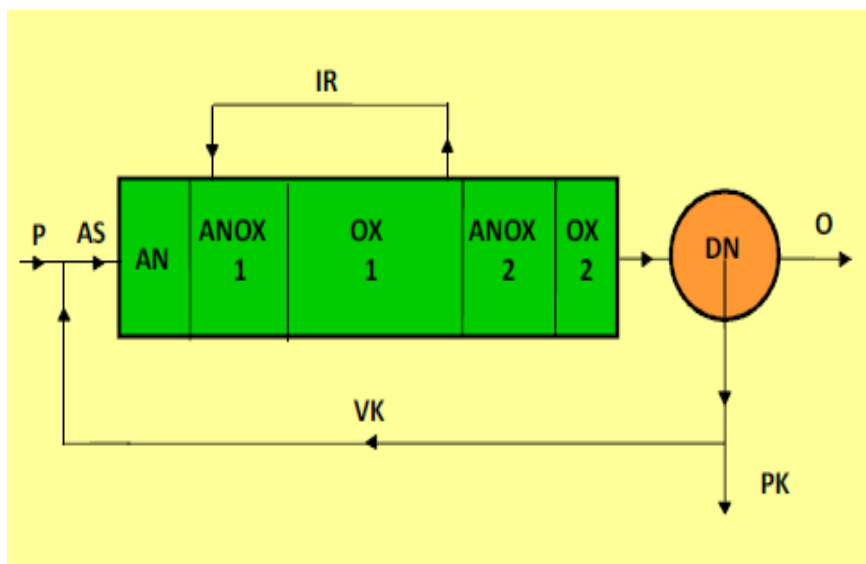
3.1.2.2. Společné biologické odstraňování dusíku a fosforu

Randall a kol (1992) uvádějí, že systémy pro společné biologické odstraňování nutrientů (dusíku a fosforu) vycházejí ve své většině z uspořádání 5-ti stupňového modifikovaného Bardenpho procesu.

- **(5-ti stupňový) BARDENPHO Proces**

Modifikovaný Bardenpho proces (obr. č. 2) se používá, jak pro odbourávání dusíku, tak pro odbourávání fosforu. Surová voda a vratný kal jsou smíchány v anaerobní nádrži k započetí fermentace a uvolnění fosforu (Hendricks, 2011).

Vratný aktivovaný kal se smíchá s odpadní vodou v první anaerobní zóně. Následně postupuje do anoxické zóny, kam jsou vráceny dusičnany z následující oxické nitrifikační zóny. Předposlední zóna se nazývá anoxická, kde probíhá pouze pomalá denitrifikace a v konečné části je postaerační zóna (Hlavínek a Novotný, 1996).



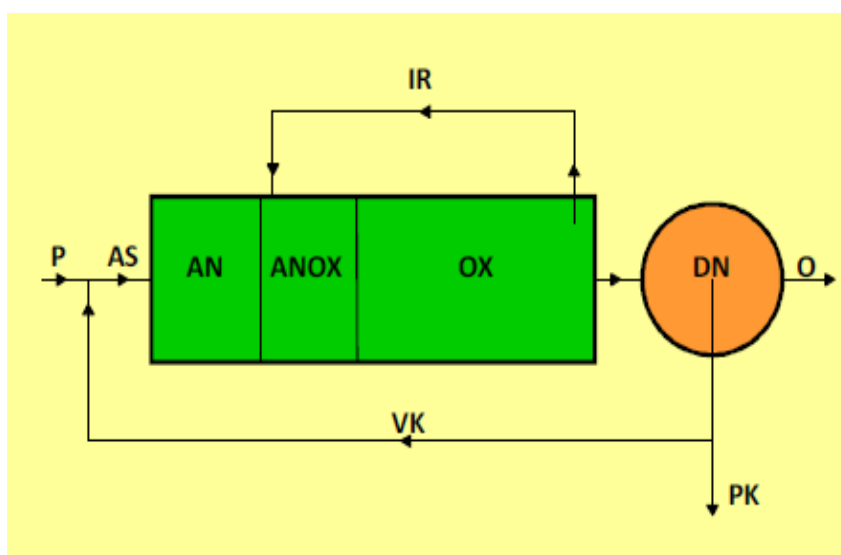
Obr. č. 2 – Bardenpho proces (Pollert, (online) [cit. 20.02.2017])

Vysvětlivky:

OX (oxická zóna), ANOX (anoxická zóna), DN (dosazovací nádrž), PK (přebytečný kal), VK (vratný kal), IR (interní recykl – vratný kal), AS (aktivační systém), O (odtok), P (přítok).

- **PHOREDOX Proces**

Tento systém je nejvíce používán v americké a evropské praxi. Phoredox je proces (obr. č. 3) se základní sekvencí anaerobní, anoxické a oxické zóny. Jsou provozovány při dobách zdržení aerobní biomasy 5-10 dnů s dostatečnou kompartmentalizací všech reakčních zón (Hlavínek a Novotný, 1996).



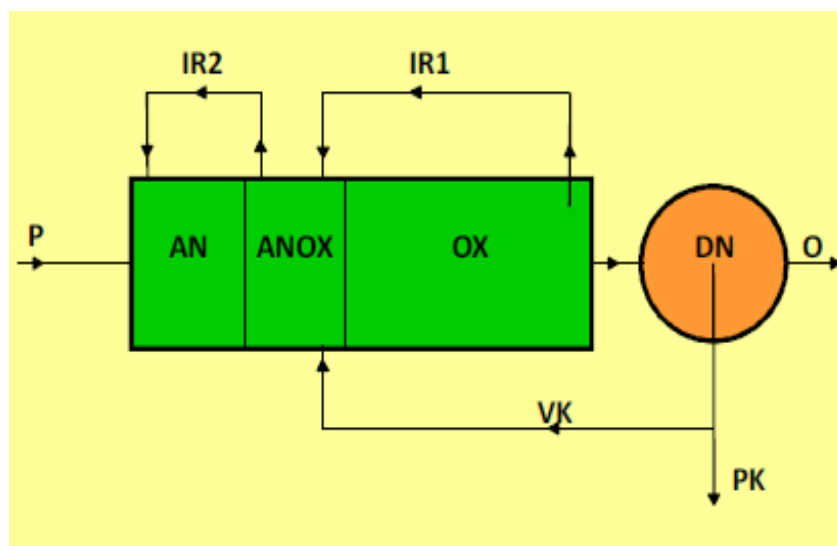
Obr. č. 3 – Phoredox proces(Pollert, (online) [cit. 20.02.2017])

Vysvětlivky:

OX (oxická zóna), ANOX (anoxická zóna), DN (dosazovací nádrž), PK (přebytečný kal), VK (vratný kal), IR (interní recykl – vratný kal), AS (aktivační systém), O (odtok), P (přítok).

- **UCT proces**

UCT proces (obr. č. 4) byl vyvinut na Univerzitě Cape Town, jeho uspořádání se od Bardenpha liší tím, že vratný aktivovaný kal není veden do zóny anaerobní, ale do zóny anoxické. Do anaerobní zóny se vrací aktivační směs z počátku anoxické zóny se sníženou koncentrací dusičnanů (Hlavínek a Novotný, 1996).



Obr. č. 4 – UCT proces (Pollert, (online) [cit. 20.02.2017])

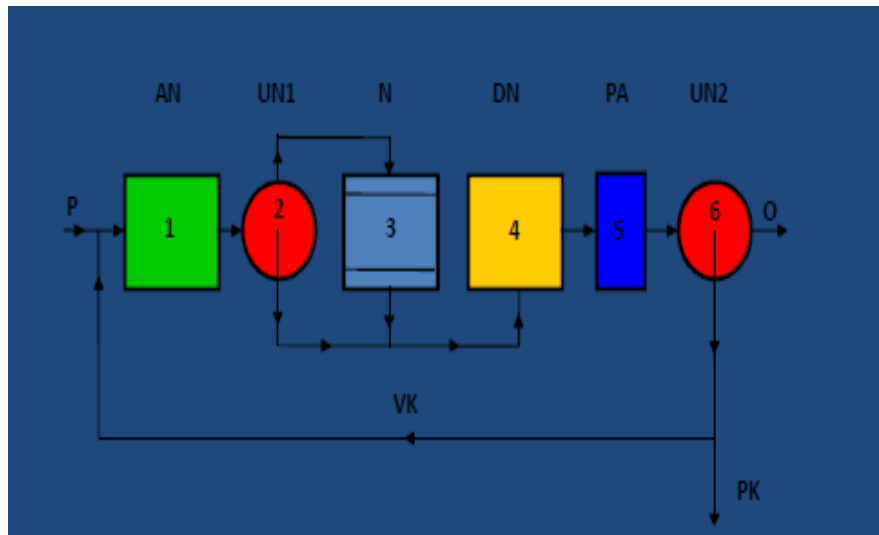
Vysvětlivky:

OX (oxická zóna), ANOX (anoxická zóna), DN (dosazovací nádrž), PK (přebytečný kal), VK (vratný kal), IR (interní recykl – vratný kal), O (odtok), P (přítok).

- **DEPHANOX**

Jak je zobrazeno na uvedeném obrázku (obr. č. 5), proces začíná v anaerobním reaktoru, kde je fosfor uvolněn a organická látka je odloučena za pomoci mikrobiální biomasy. Aktivační směs se pak oddělí v první usazovací nádrži. A tato směs, bohatá na fosfor a amoniak, se poté dopravuje do následujícího provzdušňovacího biofiltru. V biofiltru se amoniak zcela nitrifikuje a teprve po tomto kroku se do předchozího usazeného kalu, bohatého na organické látky, opět vmísí výtok z provzdušňovacího biofiltru. Tato směs je dále přečerpávána do anoxické nádrže, kde proces denitrifikace probíhá společně s odstraněním fosforu bakteriemi poly-P, které používají dusičnany jako dárce náboje. Po anoxické nádrži následuje aerobní nádrž, která je nutná pro revitalizaci kalu, a před vypouštěním se směsná kapalina zavádí do poslední usazovací nádrže, kde je kal bohatý na fosfáty odstraněn z vyčištěné vody.

Kal je poté částečně poslán zpět do anaerobní nádrže a částečně odstraněn s většinou fosforu obsaženého v původní odpadní vodě (Rynaldic, 2017).



Obr. č. 5 – Dephanox proces (Pollert, (online) [cit. 20.02.2017])

Vysvětlivky:

P (přítok), *O* (odtok), *VK* (vratný aktivovaný kal), *PK* (přebytečný aktivovaný kal),
 1 - anaerobní reaktor, 2- první usazovací nádrž, 3- biofilmový nitrifikační reaktor,
 4 - anoxický reaktor, 5 - postaerace, 6 - 2. usazovací (dosazovací) nádrž.

- **Aktivace SBR (Sequencing Batch Reactor)**

SBR systém je založený na principu odstraňování nečistot z odpadní vody aktivovaným kalem, ale oproti ostatním aktivačním systémům využívá k akumulaci aktivovaného kalu a následné jeho separaci od vyčištěné vody pouze jednu aktivační nádrž. Technologie procesu čištění se provozuje přerušovaně, kdy dochází střídavě k plnění jednoho a druhého reaktoru, přičemž lze systém provozovat s jedinou nádrží.

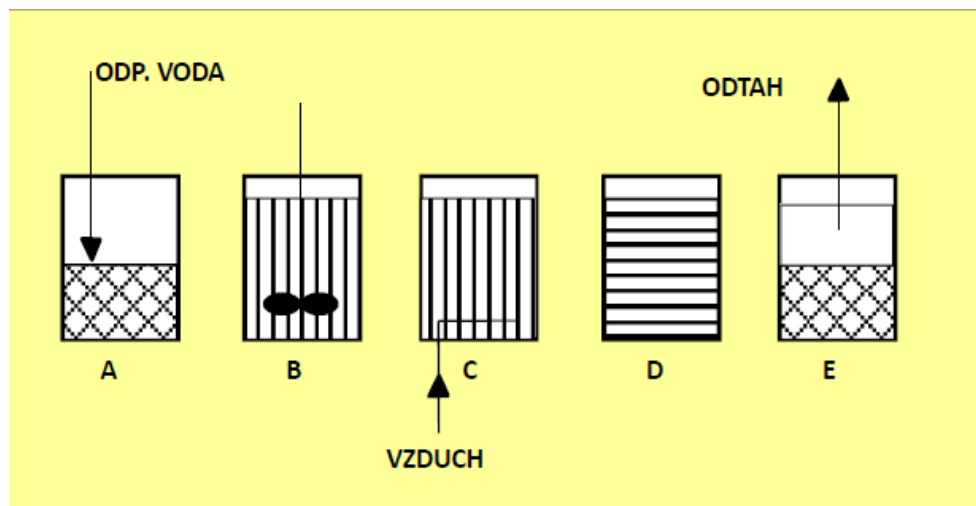
V jedné nádrži probíhají čtyři fáze cyklu (obr. č. 6) biologického čištění odpadní vody:

- fáze provzdušňovací (která je zároveň fází plnění)
- fáze usazovací
- fáze odčerpání vyčištěné vody
- a poslední fáze zbytková.

V dnešní době se princip SBR procesu navrhuje s plně automatizovaným provozem biologického stupně, kde délky fází cyklu ovládá řídicí systém.

Podle požadavků na kvalitu odtoku vyčištěné vody do recipientu je možné SBR systém doplnit o terciální (třetí) stupeň čištění.

Na modifikovaném principu systému SBR jsou založeny i biologické čistírny pro Znojmo a Prostějov, které jsou zhotoveny pro likvidaci znečištění od řádově desítek tisíc ekvivalentních obyvatel (Pytl a kol, 2004).



Obr. č. 6- Znárodněné fáze cyklu SBR systému (Pollert, (online) [cit. 20.02.2017])

3.1.3. Kalové hospodářství

Každá biologická čistírna produkuje určité množství kalu, které je závislé na její velikosti, zatížení a zvolené technologii. Vyprodukované kaly se zpracovávají v kalové koncovce, která je nedílnou součástí každé čistírny odpadních vod. Kalové hospodářství je nutno vždy posuzovat ve vztahu k hlavní technologické lince, je také limitováno technickým omezením zařízení na ČOV a celkovým náklady. Při nakládání s kaly je nutno dodržovat legislativní normy vztahující se na kaly, jedná se zejména o zákon s odpady, o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů atd. Zpracování kalu obecně zahrnuje jeho zahušťování, stabilizaci, odvodňování a finální likvidaci kalu. Čistírenské kaly dělíme na primární (kal ze surové odpadní vody v usazovacích nádržích nebo jiných separačních zařízeních) a sekundární kal. Sekundární kal je oddělován z biologického stupně čištění v dosazovacích nádržích, a je označován jako přebytečný aktivovaný kal nebo přebytečný biologický kal. Dále může na čistírně vznikat chemický kal, kde je používáno chemické srážení fosforu (Chudoba a kol, 1991).

Zahušťování kalu

Pytl a kol. (2004) uvádí, že zahušťování v procesech zpracování kalu je první etapou a mimořádně důležitým procesem, protože jeho provedení ovlivňuje veškeré další nakládání s kaly. Zahušťování kalu se dělí především na gravitační zahušťování a strojní zahušťování.

U čistíren s primární sedimentací se kal gravitačně zahušťuje v usazovacích kalových nádržích a je to také jedna z provozních operací, kterou může výrazně ovlivnit sám provozovatel (jeho úlohou je dosáhnout optimálního výsledku). Například u primárních kalů, kalů z chemického čištění se doporučuje využívat gravitační zahušťování kalů. U jednotlivých ČOV se mohou výsledky (% sušiny odkalovaného kalu) lišit i o 100 %. Zahuštění přebytečného aktivovaného kalu probíhá rozdílně podle zvoleného způsobu stabilizace a to buď podle anaerobní nebo aerobní stabilizace. Při anaerobní stabilizaci je nezbytné kal předzahustit a to probíhá v zahušťovacích jímkách s odběrem odsazené vody. Zato při aerobní stabilizaci se kal obvykle uskladní v zahušťovací nádrži (Pytl a kol, 2004).

Strojní zahušťování kalu je zejména vhodné pro anaerobní uskladnění kalu, dále se strojní zahušťování využívá spíše u čistíren s velikostí cca 2 000 – 3 000 EO. U menších ČOV se využívají provozně nenáročná zařízení, jako horizontální pásové nebo rotační zahušťovače (Pytl a kol, 2004).



Obr. č. 7 - Uskladňovací nádrž na ČOV Prostějov (vlastní)

Stabilizace kalu

Kal má být aerobně a anaerobně stabilizován, také by se dalo obecně říct, že u stabilizace kalu neprobíhají již intenzivní biologické pochody, které by způsobovaly hygienické problémy. Anaerobní stabilizace, probíhá prostřednictvím mikroorganismů v anaerobních podmínkách. Tyto mikroorganismy rozkládají biologicky rozložitelné organické látky, které jsou obsažené v surovém kalu. Tyto procesy zapříčiňují uvolňování bioplynu a odvádění kalové vody. Anaerobní stabilizace se využívá převážně pro společnou stabilizaci primárního a přebytečného kalu. Aerobní stabilizace probíhá stejně jako anaerobní stabilizace, ale v aerobních podmínkách (za přítomnosti kyslíku). Aerobní stabilizace kalu se používá převážně u malých čistírnách (do 10 000 EO), kde může probíhat ve stejné nádrži jako aktivační proces nebo se může stabilizace provádět v samostatných nádržích. Pokud aerobní stabilizace probíhá v aktivační nádrži, tak se nemusí do technologické linky čistírny zařazovat primární usazovací nádrž, ale doba stáří kalu se podstatně zvýší na více než 25 dní. Na větších čistírnách je anaerobní způsob stabilizace kalu realizován ve vyhnívacích (metanizačních) nádržích. Metanizace je souborem procesů při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou vzniklá biomasa, plyny a nerozložený zbytek organické hmoty. Chemická stabilizace spočívá v tom, že se přidá větší množství pH (alespoň 11,5). Při takové hodnotě pH dochází k zničení bakterií i virů, a při tom organické látky zůstanou nerozloženy. Zvýšení pH se provádí přidáním nejčastěji oxidu vápenatého CaO nebo hydroxidu vápenatého Ca(OH)₂. Vápno je dávkováno buď před odvodňováním kalu (predestabilizace) nebo v podobě hašeného vápna již do odvodněného kalu (postdestabilizace) (Malý, 1993), (Dyhányos a Zábranská, 2011).

Odvodňování kalu

Hlavínek a kol (1999) ze semináře 8, str. 8-24 uvádějí, že odvodňování kalu je proces odstraňování vody z kalu v míře větší, než lze dosáhnout při zahušťování. Odvodňování se provádí zejména pro snížení nákladů na další zpracování, odvoz a konečnou likvidaci. Odvodněním kalu z 5 na 20% sušiny sníží objem kalu o 75% a vznikne materiál, který již neteče a může být odvážen v otevřených nákladních vozech.

Metody odvodňování kalů mohou být rozděleny do dvou skupin:

- systémy přírodního odvodňování
 - kalová pole
 - odvodňovací laguny
- systémy mechanického (strojního) odvodňování
 - odstředivky
 - sítopásové lisy
 - kaolisy

Hygienizace kalu

Hygienizace kalu se provádí kvůli zničením zbývajících patogenních mikroorganismů (viry, bakterie, parazité, kteří opouští zažívací trakt), které zůstali obsažené ve vodách i po celém procesu čištění odpadní vody. Pro zničení těchto zárodků se využívají většinou vysoké teploty nebo vysoké pH (Hlavínek a kol, 2001).

Finální likvidace kalu

Odvodněný a stabilizovaný kal z čistíren odpadních vod, bývá nejčastěji využíván v zemědělství jako hnojivo. Tyto hnojiva jsou dobrá třeba pro zvyšování obsahu živin v půdě, tím podporuje růst rostlin nebo se také zlepšuje textura a sorpčních schopností půdy díky zvýšenému obsahu organických látek. Avšak tyto hnojiva mají také nevýhody, například zápach aplikovaných kalů díky rozkladu organických látek nebo můžou zvýšit koncentraci nežádoucích látek v půdě. Finální kaly se také mohou například skladovat nebo spalovat (Hlavínek a Mičín a Prax, 2001).



Obr. č. 8 - Skládka kalu se šnekovým dopravníkem na ČOV Prostějov (vlastní)

3.1.4. Plynové hospodářství

Prapůvodním cílem anaerobního vyhnívání kalů byla jednoznačně jejich stabilizace a snížení objemu před následným uložením na skládku nebo zemědělským využitím. Postupem času se začala stále více využívat skutečnost, že při procesu vzniká bioplyn, který lze dále využít. Vzniklý bioplyn je jímán do plynojemů (slouží jako zásobárna plynu, k dalšímu použití). Bioplyn se následně používán jako palivo do kotle pro výrobu tepla nebo pro výrobu elektrické energie (Chudoba a kol, 2011).

3.1.5. Volba typu systému biologického stupně

Skutečná činnost čistírny odpadních vod představuje mnohem komplexnější děje, než se očekává po provedení zkoušek poloprovozních nebo laboratorních, u kterých by měly být výsledky používány jen jako vodítko pro návrh. Při volbě typu systému je nutné zhodnotit specifické podmínky dané lokality, kvůli tomu, aby se využily příznivé okolnosti a zamezily se nežádoucí jevy. Rozhodnutí tedy především závisí na těchto hlavních faktorech (Hlavínek a Novotný, 1996):

- charakteristika odpadní vody a požadavky na kvalitu odtoku, alkalitu odpadní vody
- primární stupeň čištění (obsahuje kal z mechanického stupně čištění a kal z usazováků)
- poměry mezi $CHSK_{Cr}$: TKN a $CHSK_{Cr}$: P
- typ aeračního zařízení a použitých dosazovacích nádrží
- minimální a maximální provozní teploty

3.2. Základní informace o technologii CASS

Tato část bakalářské práce o technologii CASS je převážně brána z publikace SCHÜFFL & FORSTHUBER CONSULTING, 1998.

Všeobecný popis technologie

Obecně technologie CASS (příloha č. 1) (Cyclic Activated Sludge System) obsahuje stacionární reaktor ("batch reactor"), který provádí technologii aktivovaného kalu v opakujících se časových úsecích - neprovzdušněné

a provzdušněné fáze. To umožňuje použití jediné nádrže, ve které probíhá jak oddělování čisté vody, tak i biologické odbourávací reakce.

CASS je systém aktivovaného kalu "Fill - and Draw" (naplnění a vyprázdnění). Odpadní voda se zpracovává v časovém periodickém sledu.

Každý cyklus je sestaven z různých fází:

- naplnění / provzdušnění
- usazování (sedimentace) – Riffata (2013) uvádí, že je sedimentace proces, který zahrnuje odstranění pevných částic z vodního prostředí za pomoci usazování. Velikost pevných částic hraje klíčovou roli v efektivitě sedimentace, větší částice se usazují rychleji, zatímco menší mohou zůstat rozptýlené delší dobu.
- vypuštění čisté vody
- zbytková fáze

Všechny tyto fáze tvoří koloběh, který se stále opakuje. Na počátku koloběhu začne natékat odpadní voda do nádrže. Ve stejném časovém sledu se zapne provzdušňování a čerpadlo vratného kalu. Po stanovené době se vše zastaví, aby mohla v klidu biomasa vyvločkovat a usadit se. Po periodě usazování se vyčištěná voda stáhne pomocí pohyblivého žlabu, až se dosáhne minimálního stavu vody v nádrži. Poté se celý koloběh znova opakuje. Provzdušnění je nezbytné, aby mohl být umožněn průběh biologických odbourávání.

Přebytečný kal se podle potřebného množství odčerpává, aby byla udržena v nádrži přiměřená koncentrace biomasy. Na konci usazovací fáze umožňuje odčerpání kalu sušinu přebytečného kalu 0,6-1%.

3.2.1. Rozdíl oproti obvyklým průtokovým zařízením

Nejdůležitější je to, že v systému CASS není zapotřebí žádných staveb resp. zařízení pro sedimentaci a odstraňování kalu.

Skutečnost, která umožňuje značné úspory investičních a provozních nákladů je to, že v systému zůstává po celou dobu v nádrži biomasa.

Součásti zařízení CASS

- **Selektor**

System CASS má zařazen před hlavní zónou selektor, v němž lze lehce odbouratelné rozpustné organické látky v odpadních vodách rychle odbourat a to pomocí enzymatických reakcí. Tato nádrž může pracovat buď s konstantním nebo s variabilním objemem. A kromě toho ji lze použít také jako rozdělovací objekt pro rozdělení přítoku do více cest. Selektor se pouze časově promíchává vzduchem, to vytváří předpoklady pro zvýšené biologické odstraňování fosforu.

- **Hlavní provzdušňovací zóna**

V hlavní části nádrže se střídají doby provzdušňování a doby klidu (sedimentace), které jsou potřebné k odbourání organických látek, nitrifikaci a denitrifikaci.

- **Recirkulace kalu - odčerpání aktivovaného kalu**

Ve středu nádrže jsou umístěna čerpadla. Jedno přečerpává biomasu do selektoru (vratný kal). A na konci usazovací fáze odebírá druhé kalové čerpadla přebytečný kal na kalové hospodářství.

- **Zařízení na vyprázdnění nádrže (dekantér)**

Na konci hlavní nádrže se nacházejí spustitelné motorem poháněné vypouštěcí žlaby (dekantéry) pro čistou vodu. Přes centrální řídicí systém probíhá jejich obsluha, jakož i obsluha ostatních prvků systému CASS (kontrola kyslíku, vypouštění přebytečného kalu atd.)

Provozování technologie CASS

Obvykle je uvažováno se systémem dvou nádrží, aby bylo možno provozovat zařízení s kontinuálním přítokem. Potud probíhá proces usazování a odčerpávání čisté vody v 1. nádrži současně se provzdušňuje druhá nádrž. Aby bylo zajištěno, že kvalitu odtoku neovlivní vtékající odpadní voda zkratovým prouděním, je v systému během odčerpávání čisté vody přítok přerušen. Použitím čtyřnádržního systému lze dosáhnout kontinuálního odtoku čisté vody. Čtyřnádržní systémy v zásadě pracují jako dvounádržní akorát posunuty o $\frac{1}{4}$ času.

- **Špičková zatížení**

Nastává-li mimořádný provozní stav, přítok do ČOV vykazuje vysoké krátkodobé výkyvy v organickém a hydraulickém zatížení.

Zabránění vyplavování kalu je způsobeno variabilním objemem (je provozována pouze třetina nádrže). Standardní cyklus se přepne na dešťový cyklus, který je časově zkrácen a tak probíhá častěji odčerpávání vyčištěné vody. Toto se děje automaticky díky příslušnému řídicímu softwaru.

3.2.2. Odstraňování živin

Simultánní nitrifikace / denitrifikace

Pojmem simultánní procesy lze v aktivačních systémech vykládat na různých úrovních. V Praxi se simultánní nitrifikace a denitrifikace spíše rozumí takové uspořádání aktivační nádrže, které umožňuje vznik anoxických prostorů v jinak aerovaném oxickém reaktoru. Anoxické prostory se vytvářejí samovolně v těch místech nádrže, kde sice trvá míchací účinek aerátoru, ale rozpuštěný kyslík je v důsledku respirační aktivity mikroorganismů vyčerpán (Hlavínek a Novotný, 1996).

Biologická část odstraňování dusíku nebo-li nitrifikace / denitrifikace, se provádí v zařízeních s aktivovaným kalem dle principu " provzdušnění - vyprázdnění" s variabilním objemem. Vstávajících zařízení provozní údaje ukazují, že při městské - normální surové odpadní vodě ve 24 hodinovém směsném vzorku lze dosáhnout odtokových hodnot méně než 1 mg/l N-NH₄ a méně než 1,5 mg/l N-NO₃. Tyto parametry jsou výsledkem přívodu kyslíku, stáří kalu, poměru provzdušněných a neprovzdušněných fází v rámci jednoho cyklu. Pro simultánní eliminaci dusíku se ukázalo, že nejvhodnější jsou 3-, 4- a 6-hodinové cykly.

Biologické odstraňování fosforu

Mikroorganismy, které ukládají zvýšené množství fosforu, jsou podporovány střídáním provozních aerobních a anaerobních podmínek.

„Za anaerobních podmínek přijímají do buněk mastné kyseliny s krátkým řetězcem a za to přeměňují polyfosfáty resp. se zpětně vypouštějí jako fosfáty do okolního média. Zároveň vylučují hořčík a draslík a tvoří polyhydroxybutyrát.

Za aerobních podmínek se tvoří větší měrou intracelulární polyfosfát, hořčík a draslík se opět přijímají a vytvořený polyhydroxybutyrát se znovu odbourává.“ (SCHÜFFL & FORSTHUBER CONSULTING, 1998, s. 8-9).

Popsané reakce probíhají v systému CASS během provzdušňovacích a neprovzdušňovacích fází.

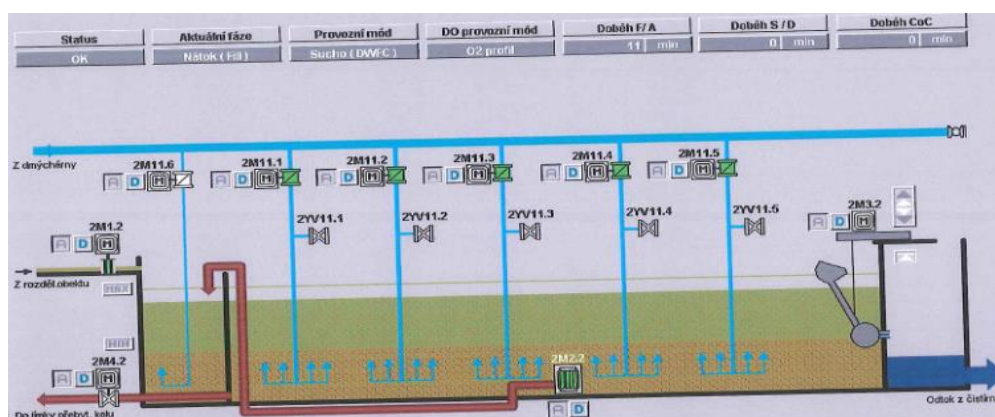
3.2.3. Druhy provozu a provozní fáze

Toto zařízení lze provozovat s různými sekvencemi cyklu dle požadované kvality odtoku, který lze také přizpůsobit aktuálnímu přítoku. Dále můžeme zvolit různé okruhy pro nitrifikaci a denitrifikaci nebo odstraňování fosforu. Systém CASS pracuje pomocí jednoduchých provzdušňovacích a neprovzdušňovacích fází, které jsou řízeny opakujícím se časovým spínáním.

Jednotlivé provozní fáze

A) Provzdušňovací fáze

Během této fáze (obr. č. 9) se obvykle nádrž současně naplňuje a provzdušňuje. Při nízkém zatížení se může doba provzdušňování zkrátit. Například se může změnit cyklus na 3-hodinový s 1 hodinou usazování a s 1 hodinou odčerpávání čisté vody.

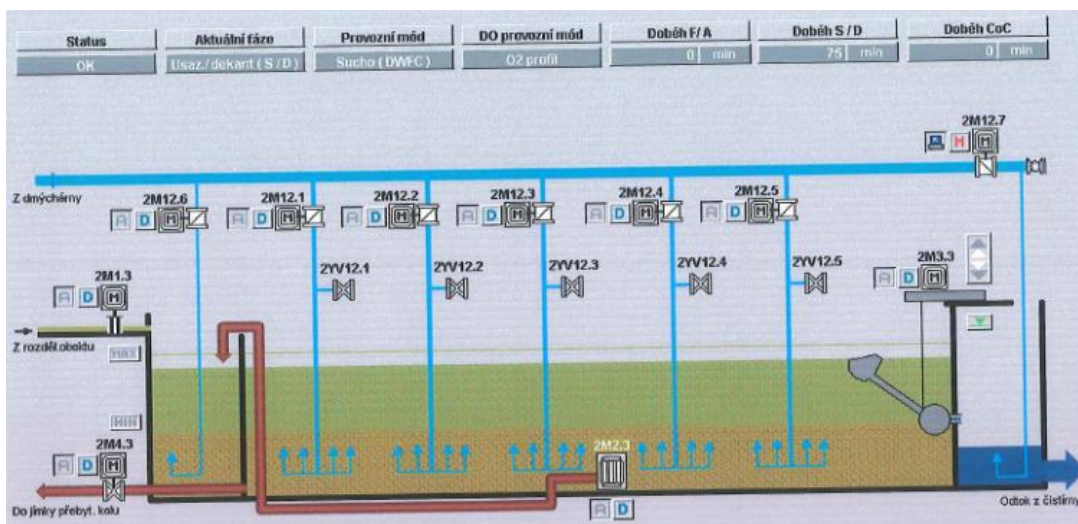


Obr. č. 9 – Provzdušňovací fáze, při které dochází zároveň i k nátoku do nádrže (Hana Klukáčková, 16.03.2017, in litt.)

B) Usazovací fáze

U této fázi (obr. č. 10) je provzdušňování vypnuto, aby se mohli vytvořit příznivé podmínky pro usazování. To umožňuje oddělení pevných látek od kapaliny. Na povrchu se začíná tvořit zóna čisté vody a přitom vločky kalu tvoří klesající kalovou vrstvu resp. se usazují. Na dně nádrže se usadí pevné látky s větší hustotou, které propadávají touto vrstvou.

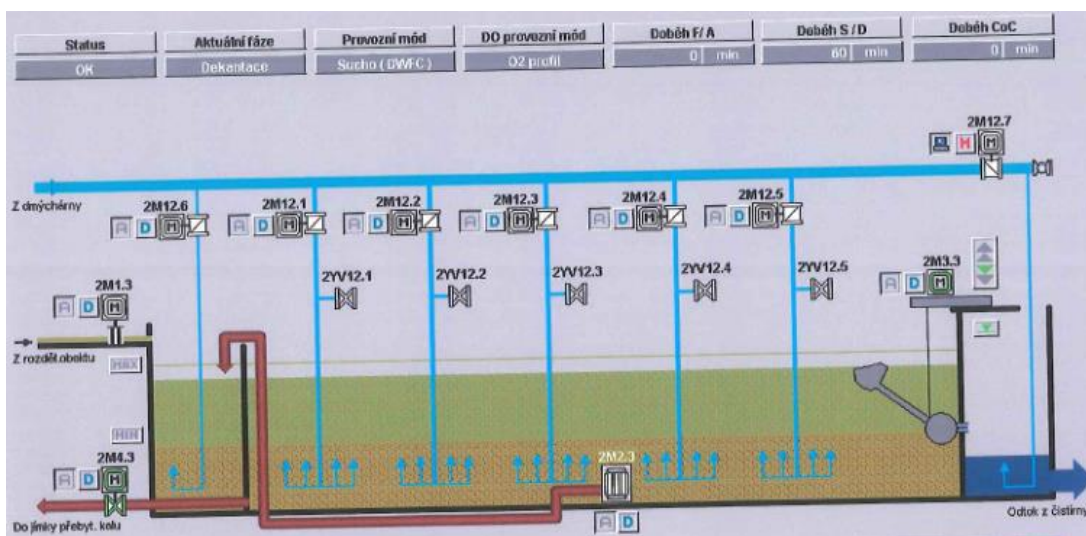
Rychlost usazování je zpočátku nízká, ale později vzroste. Následně postupně zase klesá kvůli přibývajícím pevným látkám usazujících se na dně. Rychlost usazování závisí na mnoha faktorech, jako například hloubce a celkové ploše nádrže, počáteční koncentraci pevných látek a na vlastnostech vloček aktivovaného kalu.



Obr. č. 10 – Fáze usazovací se začínající fází dekantace (Hana Klukáčková, 16.03.2017, in lit.)

C) Odčerpání čisté vody

Během této fáze se přítok vody vypíná. Odtokový žlábek (dekantér), kterým odtéká čistá voda, klesne na hladinu vody jak je vidět na obrázku dole (obr. č. 11). Ta je identifikována plovoucí hladinovou sondou. Jakmile žlábek klesne na úroveň vodní hladiny, začne klesat zároveň s ní. Když dosáhne nejnižšího povoleného bodu, začne opět stoupat do výchozí polohy.



Obr. č 11- Fáze Dekantace na ČOV Prostějov (Hana Klukáčková, 16.03.2017, in litt.)

D) Zbytková fáze

V praxi předešlá fáze (odčerpání čisté vody) netrvá tak dlouho jak je stanoveno teoretické maximum. Tento zbývající čas se nazývá zbytková fáze, při ní se do nádrže napouští voda, aniž by probíhalo provzdušňování nebo jiné reakce. Zbytková fáze začíná asi zpravidla tři minuty po vrácení dekantéru nebo-li odtokového žlábků do své výchozí polohy a končí na konci teoretické maximální možné fáze odčerpání čisté vody.

3.2.4. Automatizace zařízení CASS

Z kontrolního centra se automaticky řídí cykly jednotlivých nádrží v celém okruhu. Řídí je pomocí vysíláním elektrických řídicích signálů a také je všechny kontroluje. Tyto signály jsou potřebné k automatickému řízení elektrického strojního vybavení systému aktivovaného kalu. Můžeme díky vypnutí automatiky přejít i na manuální řízení.

Jeden cyklus tvoří všechny fáze - Provzdušňování, usazovací fáze, odčerpání čisté vody a zbytková fáze. Tento cyklus se neustále dokola automaticky opakuje.

| | |
|------------------------------|-------------------------|
| a) naplnění - provzdušňování | $t_0 - t_1$ |
| b) usazování | $t_1 - t_2$ |
| c) odčerpání čisté vody | $t_2 - t_3$ |
| d) naplnění a zbytkové fáze | (čas není předem určen) |

Řízení odtokového žlabu

V technologii CASS je odtokový žlábek (dekantér) mechanicky poháněn, pohybuje se s klesající vodní hladinou, díky tomu zůstává odtokové množství vody konstantní. Každá nádrž má vlastní mechanicky pohybující se odtokový žlábek, aby se čistá voda mohla vypouštět po každé provzdušňovací a usazovací fáze. Při těchto dvou fázích se žlábek nachází nahoře nad hladinou vody. Voda se pomocí dekantérů vypouští do recipientu. Během klesající hladiny vody zároveň s ní klesá i žlábek dokud nedosáhne spodní hranice hladiny vody a poté se opět vrací nahoru do klidové polohy.

Řízení dmýchadel

V systému CASS pro řízení dmýchadel musíme brát do úvahy, že probíhá simultánní nitrifikace a denitrifikace, která by byla neadekvátním provzdušňováním narušena. Proto musíme držet pod kontrolou O₂ množství kyslíku rozpuštěného v nádrži. Obsah kyslíku, který je nastavený na počátku provzdušňovacího cyklu nízký (0,5 mg/l) a zvýší se teprve před koncem cyklu na 2 mg O₂/l. Toto řízení probíhá přes centrální regulační jednotku a díky ní jsou vedeny úspory provzdušňovací energie.

Řízení vracení a zbytkového přebytečného kalu

Za pomoci vratného kalového čerpadla se určité množství biomasy opět vrací z hlavní nádrže do selektoru a to v době nátoky a provzdušňování. V době odtahu čisté vody a sedimentace kalu dochází k odtahu přebytečného kalu. Vracení kalu tedy probíhá tak, že přichází do kontaktu s připouštějící vodou promíchaný provzdušněný kal, díky tomu je umožněna enzymatická reakce s aerobní biomasou.

3.3. Základní informace o technologii Johannesburg

Mudrák (2011) uvádí, že aktivace technologie Johannesburg (příloha č. 2) je navržena s postupným tokem jako jednostupňový proces - kombinace biologického odstraňování fosforu s předřazenou denitrifikací. Technologie čištění vychází z kaskády nádrží, které budou provozovány ve třech kyslíkových režimech:

- anaerobní zóny
- anoxické zóny
- aerobní zóny

Vhodná kombinace anaerobních, anoxických a aerobních podmínek, kterým je aktivovaný kal střídavě vystaven, vede k odstranění organického znečištění v kombinaci s biologickým odstraněním dusíku a fosforu. Koncepce biologického stupně vychází z technologie "Johannesburg" - předřazená denitrifikace se zvýšeným biologickým odstraňováním fosforu.

4. Zhodnocení zjištěných informací na ČOV Prostějov a ČOV Zlín

Tato část bakalářské práce se zabývá stručnou charakteristikou ČOV Prostějov, ČOV Zlín a podrobnějšími informacemi o biologickém stupni čištění, jelikož v tomto jsou nejdůležitější rozdíly využívaných technologií na obou čistírnách. Tyto informace o obou čistírnách jsem převážně brala z Provozních řádů ČOV Prostějov a ČOV Zlín.

4.1. Čistírna odpadních vod Prostějov - ČOV Prostějov

Následné informace o čistírně odpadních vod Prostějov jsou převážně čerpány z provozního řádu ČOV Prostějov, Kundrátek (2007).

Intenzifikace a projektové rozšíření ČOV Prostějov bylo realizováno zahájením stavby v roce 1998, čistírna byla uvedena do provozu 1.8. 2001. Čistírna odpadních vod je navržena jako mechanicko - biologická linka s odstraňováním nutrientů a anaerobní stabilizaci kalu mezofilním vyhříváním, s jeho odvodněním na odstředivce. Biologický stupeň ČOV je navržen, tak aby pracoval jako přerušovaný cyklický systém typu SBR.

| ČOV Prostějov | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Počet ekvivalentních obyvatel: | 108 000 EO |
| max. denní průtok | 21 500 m ³ /d |
| max. průtočné množství v době sucha | 1 300 m ³ /h |
| do biologické části ČOV | 1 800 m ³ /h |

Tab. č. 2 – Základní vstupní hodnoty ČOV (Provozní řád ČOV Prostějov, 2007, úprava Vlastní)

4.1.1. Stručná charakteristika ČOV Prostějov

Na ČOV jsou odpadní vody (OV) přiváděny pomocí dvou přítokových sběračů v různých výškových horizontech. Oba sběrače jsou napojeny na čerpací stanici.



Obr. č. 12 - Přítok na ČOV (vlastní)

Odpadní vody jsou zbaveny hrubých nečistot lapákem šterku, který je umístěn před čerpací stanicí (ČS). K ochraně čerpadel slouží automatické stírané hrubé česle s průlinami 40 mm. Čistírna obsahuje dvě čerpací stanice (ČS A, B). Pro odlehčení při dešťových přítocích je ČS A opatřena přepadovou hranou a odlehčená odpadní voda natéká do dešťových zdrží. Odpadní voda je čerpadly čerpána do potřebné výšky a poté je převáděna nátokovým žlabem do česlovny. Česlovna je vybavena strojně stíranými jemnými česli (průliny 3 mm), vynášecím šnekovým dopravníkem, separátorem a pračkou písku, pračkou a lisem shrabků.

Jako další stupeň předčištění je osazeno válcové stírané síto SVS 500x1000 na odbourání plovoucích nečistot a organiky z praného písku. Česlovna je doplněna o automatickou kompresorovou stanici SKS 9 (Hana Klukáčková, 2016, in litt).

Česlovna je rovněž vystrojena přijímací stanicí fekálií s automatickým odběrákem. Přijímací stanice je vybavena identifikačním zařízením se čtečkou karet. Prostory česlovny jsou odvětrávány vzduchotechnikou, vzduch čistí biofiltr. Voda z česlovny je dále vedena na lapák písku a tuku, který je navržen jako dvoukomorová podélná nádrž. Každá komora se dělí na míchaný prostor tlakovou vodou a odlučovače tuku, který je oddělen nornou stěnou. Pro vyklizení lapáku slouží pojezdový most se stíracími lišty. Sedimentovaný písek je přihrnován stěrkou k jímčkám s kalovými čerpadly, písek je přihrnován ze dna lapáku. Odtok z lapáku písku do aktivačních nádrží (biologická část čistírny) je veden přes betonovou přelivnou hranu do společného žlabu (obr. č. 13).



Obr. č. 13 - Společný odtokový žlab z lapáku písku (vlastní)

Mechanicky předčištěná voda je potrubím přivedena do selektoru (rozdělovací objekt), kde se rovnoměrně rozděluje nátok do aktivačních nádrží pomocí dvou ocelových žlabů se stavitelnými přepadovými hranami. Zde potom navazují čtyři betonové žlaby, které přivádí OV do samotných C-TECH reaktorů. Voda projde provzdušňovacím procesem a nastane usazovací fáze, kde probíhá sedimentace kalu. Při konci usazovací fáze začíná sjíždět dekantér na hladinu vody, aby mohla nastat fáze dekantace. Během této fáze se odvádí vyčištěná voda pomocí dekantéru do odtokového žlabu a poté do recipientu (potoka, řeky).

Přebytečný kal z biologické jednotky (aktivace) je odveden do objektu odvodnění kalu. Zde je zahušťován na dvou zahušťovacích odstředivkách a poté čerpán do vyhnívací nádrže. Ve vyhnívací nádrži dochází při 36- 42 °C k mezofilnímu vyhnívání kalu. Stabilizovaný kal je následně uložen na uskladňovací nádrži a poté přiváděn do objektu odvodnění na dekantální odstředivku. Odvodněný kal je šnekovým dopravníkem veden na skládku kalu. A vznikající plyn je jímán v suchém plynojemu. Veškerá produkce bioplynu je využívána na ohřívání vyhnívací nádrže a dalších objektů nebo k výrobě elektrické energie pro ČOV Prostějov.

4.1.2. Biologická část



Obr. č. 14 - C-TECH nádrže - Aktivace (vlastní)

C-TECH reaktor (aktivace)

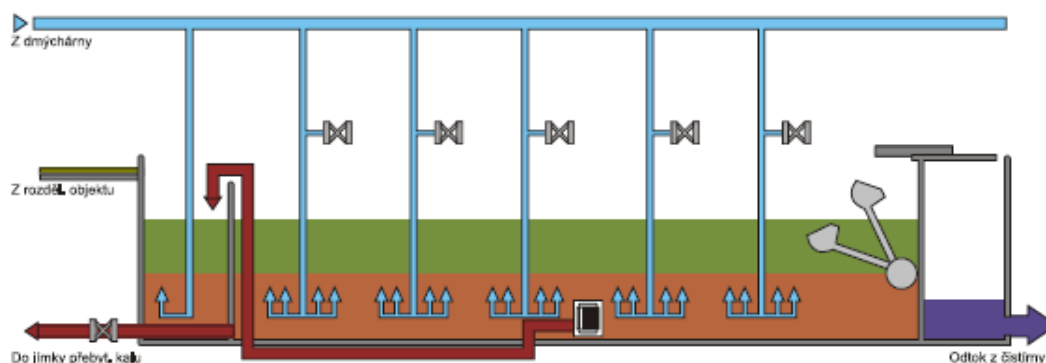
Aktivace pracuje na principu SBR reaktoru. Jedná se o aktivační proces pracující s provzdušňovanými a neprovzdušňovanými fázemi včetně fáze dosazovací. Jednotlivé cykly, jako plnění, provzdušňování, sedimentace, odtah vyčištěné vody, odtah kalu, to vše se děje v jedné nádrži. Aktivačnímu reaktoru je předřazen selektor a čerpací stanice pro interní recirkulaci aktivační směsi.

Celý systém pracuje v automatizovaném režimu řízení. Mechanicky vyčištěná voda z LP je přiváděna do selektoru (obr. č. 15,16), který přítok rozdělí do jednotlivých reaktorů (nádrží) dle řídicího systému požadovaného plnění (ovládání elektro stavidly).



Obr. č.15-Selektor (Hana Klukáčková, 2016, in litt.) Obr. č.16-Nátok do selektoru (vlastní)

Selektor (rozdělovací objekt) je provzdušňován hrubou bublinou. Součástí rozdělovacího objektu je čerpací stanice přebytečného kalu, který je přečerpán do objektu odvodnění. Aktivace se provzdušňuje vzduchem přivedený z dmýchárny dvěma trubními větvemi, vzduch prochází jemnobublinými elementy. Po proběhnutí čistících fází v aktivaci je vyčištěná voda dekantérem odváděna do odtokového žlabu. Tento žlab je částečně provzdušňován kvůli zamezení sedimentaci (usazování) zbytkového kalu. Odtokový žlab slouží také jako zdroj užitkové vody, například pro oplachování česlí.



Obr. č. 17 - Schéma aktivační nádrže (Hana Klukáčková, 2016, in. litt)

Dávkování srážedla

„Pro zvýšenou eliminaci fosforu bude do biologického procesu dávkováno srážedlo ve formě $Fe_2(SO_4)_3$ – 40 % síran železitý, v předpokládaném množství Fe^{3+} 2,7g/1g P_{celk} . Při předpokládaném přítoku $Q_{24} = 17\,200\ m^3/d$ a při max. koncentraci P je odhadovaná dávka 40 % síranu v množství 2 900 l/d.“ (Provozní řád ČOV Prostějov, 2007, s. 29)

Dávkování se provádí pomocí dávkovací stanice (stávající zásobní nádrž o objemu 28 m³) umístěné vedle zásobní nádrže a je zaústěno do selektorů před nátokem do reaktoru.

Dmýchárna

Dmýchárna je objekt ve kterém jsou umístěny dmýchadla na provzdušňování C-TECH nádrží, rozvodna a prostor trafostanice, která je oddělena a opatřena samostatným vstupem. V objektu je 5 ks dmýchadel s výkonem 4200 N.m³/hod, jsou vybaveny protihlukovými kryty zabezpečující maximální hlučnost 79 dB.

Pro velkou efektivnost chodu dmýchadel je nutné zabezpečit plnou funkčnost provzdušňovacího systému aktivačních nádrží a především zabezpečit zamezení úniku vzduchu z tlakového potrubí provzdušňování. Pro optimální chod provozu biologického stupně ČOV je prvním a zásadním předpokladem výměna aeračního systému (Kroiss a Cao, 2014).

AT stanice (ATS)

ATS stanice slouží pro rozvod užitkové vody v objektu ČOV (například pro očištění česlí).

4.1.3. Základní návrhové hodnot a limity podle projektu

Provozní řád ČOV Prostějov (2007) na str. 9–10 a 12 uvádí „*povolené limity vypouštěného znečištění*“.

Rozhodnutím okresního úřadu v Prostějově, referátu ŽP ze dne 25.9.2007

Č.j. ŽP-VH 1970/2000-Do-235 jsou povoleny pro zkušební provoz následující limity pro vypouštění vyčištěných odpadních vod z ČOV :

| | | | |
|----------------------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| <i>Množství :</i> | <i>Q_{max}</i> | <i>1 100</i> | <i>l/s</i> |
| | <i>Q_{max}</i> | <i>95 000</i> | <i>m³/d</i> |
| | <i>Q_{max}</i> | <i>12 000 000</i> | <i>m³/r</i> |
| <i>Kvalita : BSK₅</i> | <i>prům.</i> | <i>15</i> | <i>mg /l</i> |
| | <i>max.</i> | <i>30</i> | <i>mg /l</i> |
| <i>CHSK_{Cr}</i> | <i>prům.</i> | <i>75</i> | <i>mg /l</i> |
| | <i>max.</i> | <i>125</i> | <i>mg /l</i> |
| <i>NL</i> | <i>prům.</i> | <i>20</i> | <i>mg/l</i> |
| | <i>max.</i> | <i>40</i> | <i>mg/l</i> |
| <i>N_{celk}</i> | <i>prům.</i> | <i>10</i> | <i>mg/l</i> |
| | <i>max.</i> | <i>20</i> | <i>mg/l</i> |
| <i>P_{celk}</i> | <i>prům.</i> | <i>1,5</i> | <i>mg/l</i> |
| | <i>max.</i> | <i>3</i> | <i>mg/l</i> |

Základní vstupní hodnoty ČOV:

| | | |
|---|---------------|------------------------|
| <i>průměrný bezdeštný denní průtok Q₂₄</i> | <i>21 500</i> | <i>m³/d</i> |
| <i>max. průtočné množství v době sucha</i> | <i>1 300</i> | <i>m³/h</i> |
| <i>do biologické části ČOV</i> | <i>1 800</i> | <i>m³/h</i> |

Zatížení

| | | |
|------------|----------|-------------|
| BSK_5 | 350 mg/l | 6 500 kg/d |
| $CHSK$ | 660 mg/l | 14 200 kg/d |
| NL | 250 mg/l | 4 400 kg/d |
| N_{celk} | 50 mg/l | 1 100 kg/d |
| P_{celk} | 6 mg/l | 150 kg/d |

Teploty

| | |
|---------------------------------|--------|
| minimální teplota vody (přítok) | 8 °C |
| maximální teplota vody (přítok) | 20 °C“ |

(Provozní řád nová strojní část, 2007)

4.2. Čistírna odpadních vod Zlín - ČOV Zlín

Následné informace o čistírně odpadních vod Zlín jsou čerpány z provozního řádu ČOV Zlín (Mudrák, 2011).



Obr. č. 18 - ČOV Zlín (Štěpán Satina, 2016, in. litt)

Zlín je krajské město ležící v údolí řeky Dřevnice na rozhraní Hostýnských vrchů a Vizovické vrchoviny. Žije zde cca 79 000 obyvatel.

Zlín má 16 místních částí. Ve 12ti z nich je kanalizace napojena na městskou ČOV Zlín - Malenovice (Zlín, Malenovice, Louky, Prštné, Mladcová, Kudlov, Jaroslavice, Kostelec, Štípa, Příluky, Lužkovice, Chlum). Kanalizace ve Lhotce je zatím vyústěná do recipientu. V místní části Salaš je kanalizace napojena na místní ČOV v majetku města Zlín (provoz zajišťuje MOVO a.s.). V ostatních částech města není kanalizace provozována MOVO a.s.

Na kanalizační systém města Zlín a centrální ČOV Zlín - Malenovice jsou dále napojeny odpadní vody z města Fryšták a obcí Lukov, Fryšták - Vítová a Tečovice. V době (léto 2011) se připravovala realizace kanalizačního sběrače Lužkovice - Želechovice - Lípa - Zádveřice po jehož výstavbě byly výše uvedené obce napojeny na centrální ČOV Zlín.

4.2.1. Stručná charakteristika ČOV

Odpadní voda je po průchodu hrubými česly přivedena do čerpací stanice, odkud je šnekovými čerpadly (obr. č. 19) čerpána do česlovnny, za kterou následuje lapák písku.



Obr. č. 19 - Vstupní čerpadla (Štěpán Satina, 2016, in. litt)

Pro zlepšení podmínek biologického procesu byla změněna funkce usazovacích nádrží. Ze čtyř původních UN (usazovacích nádrží) se pro záchyt primárního kalu používá pouze jedna nádrž (UN č. 3). První, druhá a nově i čtvrtá UN nádrž

je využívána jako DZ (dešťová zdrž). V případě potřeby (havárie UN apod.) může kterákoliv DZ sloužit jako usazovací nádrž.

Dešťová zdrž pracuje jako primární usazovací nádrž s tím rozdílem, že po odeznění dešťového přívalu lze nádrž čerpadlem zcela vyprázdnit. Při dalším dešťovém přítoku je celý obsah nádrže k dispozici pro pojmnutí nového dešťového přívalu. Při extrémních dešťových přívalech může OV při sedimentaci hrubých nečistot přepadat do recipientu, kterým je Dřevnice. Množství odpadní vody přiváděných do aktivace za deště je regulováno pomocí dešťového oddělovače, který je zařazen za usazovacími nádržemi.

K zajištění maximální flexibility provozu byla aktivace rozdělena do 16ti jednotlivých nádrží, které lze hradidly různě propojovat.

Anaerobní zóna se skládá ze 6 nádrží o objemu 875 m³ vybavených míchadly, anoxická zóna ze 6 nádrží o objemu 875 m³ s míchadly a aerátory. Aerobní zóna tvoří 4 nádrže o objemu 2 800 m³ s jemnobublinnými aerátory.

Pro eliminace fosforu k dosažení požadované koncentrace P_{celk} ve vyčištěné vodě 1,5 mg/l v období, kdy tyto hodnoty nelze docílit biologickým postupem, je realizováno chemickým srážením síranem železitým (při aplikaci zařízení fy KEMIFLOC Přerov).

Odtok je veden v částečně provzdušňovaném žlabu ke stávající aktivační nádrži cca 4 200 m³, která bude provozována v nitrifikačním režimu.

Vnitřní recirkulace je zajištěna z konce aerobní zóny pomocí vrtulových čerpadel do anoxické zóny.

Pro separaci aktivovaného kalu se používají 4 ks stávajících dosazovacích nádrží. Na ČOV je trvalo prováděno "on-line" měření koncentrace amonných iontů, dusičnanů a fosforečnanů. Taktéž množství vypouštěných vyčištěných odpadních vod je trvale měřeno.

Přebytečný biologický kal je veden ke strojnímu zahuštění na novou zahušťovací odstředivku. Zahuštěný kal je poté čerpán společným výtlakem s primárním kallem z usazovací nádrže společně k mezofilní stabilizaci do vyhnívací nádrže (obr. č. 20) Vyhnílý kal je akumulován v uskladňovací nádrži kalu (obr. č. 20), která byla rekonstruována z původní VN2 (míchání nádrže je prováděno vzduchem).



Obr. č. 20 - Uskladňovací nádrž kalu, vyhnívací nádrž (Štěpán Satina, 2016, in. litt)

Po homogenizaci (homogenizační nádrže) je kal strojně odvodňován na dekantačních odstředivkách Flottweg (2 ks) nebo na pásovém lisu Cened.

Na ČOV je nově vybudována i stanice pro svozový kal ze septiků a žump. Tento kal je po zjištění koncentrace znečištění a stupně pH zpracován ve svozové stanici a přečerpán do vyhnívací nádrže.

V rámci plynového hospodářství je jímán ve vrchlíku vyhnívací nádrže bioplyn a pro jeho akumulaci slouží suchý ocelový plynojem o objemu 1 500 m³. při nedostatku bioplynu je ČOV vybavena samostatnou přípojkou zemního plynu, naopak při nadbytku bioplynu je využíván hořák zbytkového plynu. Pro zajištění dodávky tepla jsou v kotelně ČOV instalovány 3 teplovodní plynové kotle (2 kotle na zemní plyn a 1 kotel na bioplyn). Bioplyn se přednostně spaluje ve 2 kogeneračních jednotkách Tedon Cento (elektrický výkon každé jednotky je 125 kW).

4.2.2. Biologická část

Aktivace

Aktivace je vybudována na cca 70% konečného objemu. Součástí systému aktivace je i stará aktivační nádrž, která pracuje v aerobních podmínkách v nitrifikačním režimu.

| Druh nádrže | Počet nádrží | Objem nádrže m ³ | Celkový objem m ³ |
|-----------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|
| Anaerobní | 6 | 870 | 5 220 |
| Anoxická | 6 | 870 | 5 220 |
| Aerobní - nová | 4 | 2 810 | 11 240 |
| Aerobní - stará | 1 | 4 200 | 4 200 |
| Celkem | 17 | - | 25 880 |

Tab. č. 3 - Objemy aktivačních nádrží (ČOV Zlín - Provozní řád)

| | | | |
|------|------|------|------|
| D1+ | C1☼+ | B1☼ | A1☼ |
| D2+ | C2☼+ | B2☼ | A2☼ |
| D3+ | C3☼+ | B3☼+ | A3☼ |
| D4 + | C4☼+ | B4☼+ | A4 ☼ |

Tab. č. 4 - Označení jednotlivých nádrží nové aktivaci (ČOV Zlín - Provozní řád)

Vysvětlivky: symbol ☼ - míchadla
symbol + - aerační elementy

Hloubka vody v aktivaci:

- nová aktivace 5,3
- stará aktivace 4,15 m

Vybavení nádrží:

- anaerobní nádrž - míchadla (6 ks) fy. INVENT typ Hyperclassic
- průměr 2 500 mm ((HCRKO/2500) symbol ☼).
- anoxické nádrže - míchadla (6ks) + provzdušňovací elementy.
- aerobní nádrž - provzdušňovací elementy - typ AME-D (symbol +).
- stará AN-4 shrabovací mosty s elektropohonem pro stírání pěny z hladiny.

Chemické srážení fosforu

K dosažení požadované koncentrace $P_{\text{celkový}}$ ve vyčištěné vodě 1,5 mg/l v období, kdy tyto hodnoty nelze docílit biologickým postupem, je realizováno chemické srážení síranem železitým, při aplikaci zařízení fy KEMIFLOC Přerov.

Vlastní sestava zahrnuje:

- dvouplášťová zásobní nádrž užitkový objem 15 m³ (materiálové provedení- PE)
- dávkovací zařízení s variací výkonu 10-90 l/hod
- dálkové řízení výkonu čerpadla od koncentrace $P_{\text{celkový}}$ na odtok z ČOV

- chod dávkovacího zařízení, signalizace poruch a přenos výšky hladiny síranu v nádrži do velínu.

Dosazovací nádrže

| průměr nádrže m | počet nádrží ks | celková plocha m ² | aktivní usazovací plocha m ² | objem nádrže m ³ |
|--------------------|--------------------|----------------------------------|--|--------------------------------|
| 23,7 | 2 | 2 x 441=882 | 2 x 435=870 | 2x 1470=2940 |
| 25 | 2 | 2 x 491 = 982 | 2 x 485 = 970 | 2x1360= 2720 |

Tab. č. 5 - Rozměry dosazovacích nádrží (ČOV Zlín - Provozní řád)

- doba zdržení při $Q_{\max} = 2,26$ hod
- doba zdržení při $Q_{MW} = 1,96$ hod
- doba zdržení při $Q_D = 3,39$ hod
- hydraulické zatížení plochy při $Q_{\max.} = 1,36$ m/h
- hydraulické zatížení plochy při $Q_{MW} = 1,82$ m/h

V rámci rekonstrukce (1999) byly původní DN doplněny o zařízení pro stírání hladiny včetně osazení nerezových normých stěn kolem přepadových hran a odvedení plovoucích nečistot do sběrné jímky vně DN.

Dmýchárna

Výroba a rozvod tlakového vzduchu:

- Nová aktivace

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Potřeba vzduchu | 12 133 Nm ³ /h |
| 2 + 1 dmýchadla DITL 110 T | 6 500 Nm ³ /h |
| Výkon motoru | 150 kW |

- Stará aktivace

| | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Potřeba vzduchu | 6 044 Nm ³ /h |
| 1 + 1 dmychadla stávající RKR 1212 R | 4 320 Nm ³ /h |
| Výkon motoru | 90 kW |
| 1 nové dmychadlo DITL R 70 | 1 750 Nm ³ /h |
| Výkon motoru | 34 kW |

Otáčky dmýchadel jsou řízeny pomocí frekvenčních měničů, jednotlivá dmýchadla jsou opatřena protihlukovými kryty s ventilátory.

Čerpací stanice kalu

Vychází z toho, že se u čerpadel uvažuje 25% rezerva výkonu oproti skutečně odebíranému výkonu.

| Počet kusů | | Q [l/s] | h [m] | 1 čerpadlo [kw] | max. výkon [kW] |
|------------|----------------------------------|---------|-------|-----------------|-----------------|
| 2 | Recirkulace - KSB Amacan PA4600 | 2x360 | 1 | 10,0 | 20 |
| 3 | Čerp. Vrat. Kalu KSB KRTK 300 | 3x240 | 4 | 19,5 | 58,5 |
| 2 | Črp. Přebyt. Kalu KSB Amarex F80 | 2x13 | 5 | 1,3 | 1,3 |

Tab. č. 6 - Přehled čerpacích stanic v ČOV Zlín (ČOV Zlín - Provozní řád)

4.2.3. Základní návrhové hodnoty a limity podle projektu

Čistírna je navržena na předpokládanou kapacitu 207 000 EO, které by se mělo dosáhnout v roce 2020.

Množství odpadních vod

| ČOV Zlín EO | Množství splaškových OV l/ (EO.d) | Koeficient $Q_{max.}/Q_m$ |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 207 000 | 193 | 1,50 |

Tab. č. 7 - Návrhové množství odpadních vod podle projektu (ČOV Zlín - Provozní řád)

$Q_D = 40\,000\text{ m}^3/\text{d}$ $Q_{max.}$ $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$
 $1\,667\text{ m}^3/\text{h}$ Q za deště (Q_{RW}) $6\,480\text{ m}^3/\text{h}, 1200\text{ l/s}$

Za usazovacími nádržemi se oddělí max. $3\,140\text{ m}^3/\text{h}$ dešťových vod do Dřevnice.

Množství odpadních vod přiváděných do aktivace:

$Q_D = 40\,000\text{ m}^3/\text{d}$ $Q_{max.}$ $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$
 $1\,667\text{ m}^3/\text{h}$ Q za deště (Q_{MW}) $3\,340\text{ m}^3/\text{h}, 600\text{ l/s}$

Přivedené znečištění

Minimální teplota : 10°C

| Ukazatel | mg/l | kg/d |
|--------------------|-------|--------|
| BSK ₅ | 310,5 | 12 420 |
| CHSK-Cr | 427,5 | 17 100 |
| NL | 340,0 | 13 600 |
| NH ₄ -N | 23,1 | 925 |
| Nc | 46,9 | 1 875 |
| Pc | 7,0 | 280 |
| NO ₃ -N | 4,5 | 180 |
| Norg. | 19,2 | 770 |

Tab. č. 8 - Návrhové hodnoty znečištění podle projektu - přítok na ČOV (ČOV Zlín - Provozní řád)

| Ukazatel | Účinnost předčištění v % | Koncentrace na přítoku do aktivace v mg/l |
|--------------------|--------------------------|---|
| BSK ₅ | 26,0 | 230 |
| CHSK-Cr | 26,0 | 316 |
| NL | 53,0 | 160 |
| NH ₄ -N | 0,0 | 23,1 |
| Nc | 10,7 | 41,9 |
| Pc | 9,0 | 6,4 |
| NO ₃ -N | 0,0 | 4,5 |
| Norg. | 26,0 | 14,0 |

Tab. č. 9 - Návrhové hodnoty znečištění podle projektu - Přítok do aktivace (ČOV Zlín - provozní řád)

Vypouštění znečištění

| Ukazatel | | p | m |
|------------------------------|------|------|------|
| BSK ₅ | mg/l | 60 | 115 |
| CHSK-Cr | mg/l | ≤15 | 30 |
| NL | mg/l | 20 | 40 |
| NH ₄ ⁺ | mg/l | 5 | 10 |
| zima | mg/l | 10 | 20 |
| N _{anorg.} | mg/l | 15** | 20** |
| zima | mg/l | 25 | 40 |
| Pc | mg/l | 1,5* | 3,0* |

Tab. č. 10 - Vypouštěné znečištění podle rozhodnutí krajského úřadu životního prostředí (ČOV Zlín - Provozní řád)

Legenda:

* - podmíněno chemickým srážením fosforu

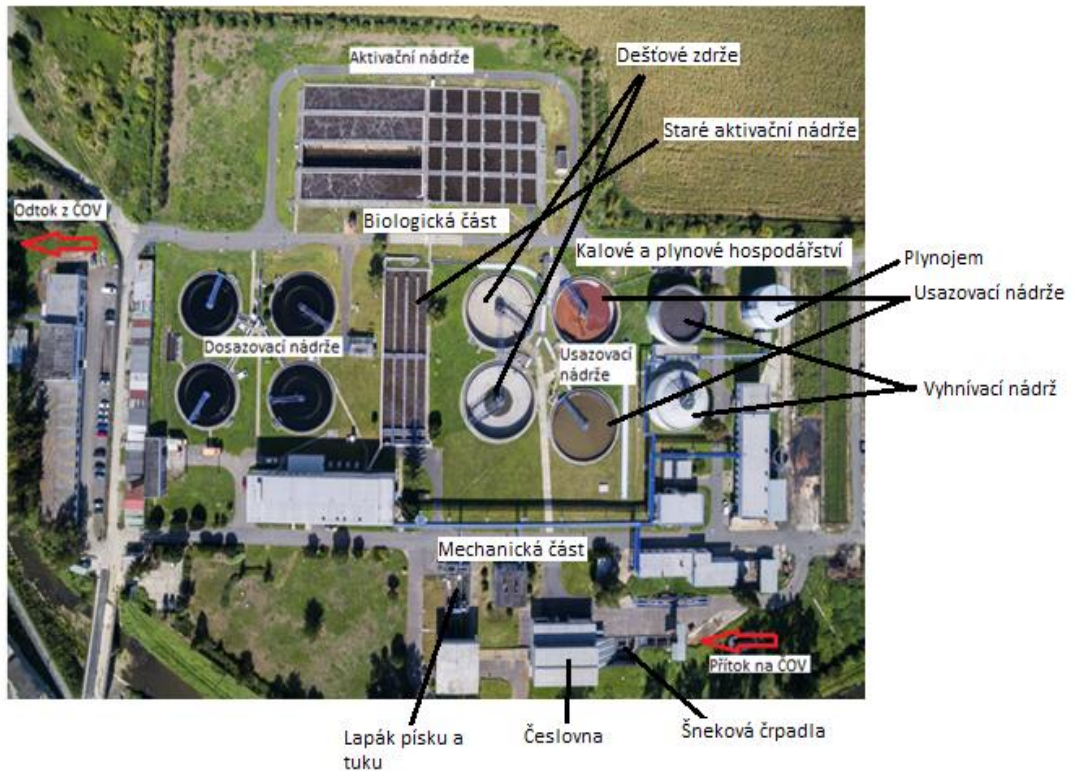
** - za předpokladu dostatku organického substrátu

P - přípustná hodnota koncentrací pro rozbor smíšených vzorků vypouštěných odpadních vod

m - maximální přípustná hodnota koncentrací pro rozbor prostých vzorků vypouštěných odpadních

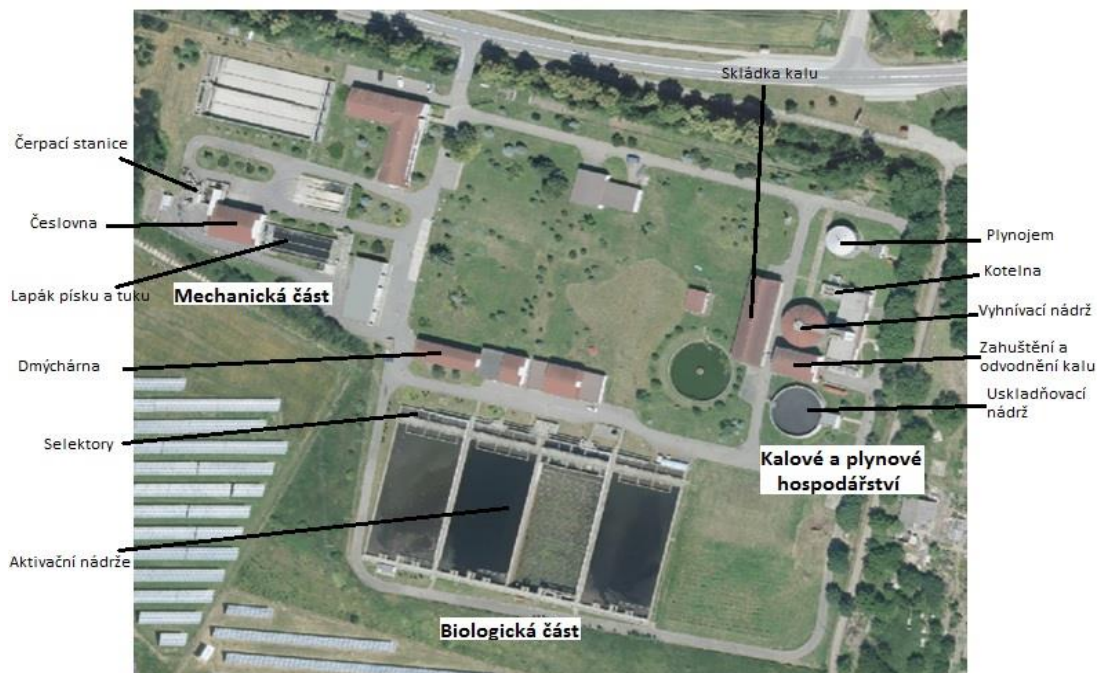
5. Výsledky

ČOV Zlín



Obr. č. 21 – Letecký pohled na ČOV Zlín (www.mapy.cz, úprava vlastní, 2017)

ČOV Prostějov



Obr. č. 22 – Letecký pohled na ČOV Prostějov (www.mapy.cz, úprava vlastní, 2017)

5.1. Rozdíly mezi ČOV Prostějov a ČOV Zlín

| | ČOV Prostějov | ČOV Zlín |
|----|----------------------------|---------------------------------|
| 1 | mechanické čištění | mechanické čištění |
| 2 | NE | usazovací nádrž |
| 3 | NE | čerpací stanice primárního kalu |
| 4 | SBR aktivace | R-D-N |
| 5 | dávkovací stanice PIXu | dávkovací stanice PIXu |
| 6 | NE | čerpací stanice vratného kalu |
| 7 | NE | dosazovací nádrže |
| 8 | NE | zahuštění kalu primárního |
| 9 | zahuštění kalu aktivačního | zahuštění kalu aktivačního |
| 10 | vyhňivací nádrž | vyhňivací nádrž |
| 11 | uskladňovací nádrž | uskladňovací nádrž |
| 12 | odvodnění kalu | odvodnění kalu |
| 13 | plynojem | plynojem |
| 14 | kogenerační jednotka | kogenerační jednotka |
| 15 | kotelna | kotelna |

Tab. č. 11 - Rozdíly mezi ČOV Prostějov a ČOV Zlín (Klukáčková H. 2016, in litt.)

Z tabulky (Tab. č. 11) je patrné, že na ČOV Prostějov chybí několik technologických celků jako: usazovací nádrž, čerpací stanice primárního i vratného kalu, dosazovací nádrže a zahuštění kalu primárního. Díky tomu měla ČOV Prostějov nižší investiční náklady na její realizaci.

5.2. Porovnání výsledků ČOV Prostějov a ČOV Zlín

Množství odpadních vod protékajících přes ČOV

ČOV Prostějov

| | | |
|---------------|------------------------------------|---|
| 6 218 080,000 | $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ | limit – 9 000 000 $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ |
| 17 035,836 | $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ | limit – max 43 200 $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ |
| 197,174 | $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ | limit – max 500 $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ |

Tab. č. 12 – Množství odpadních vod protékajících přes ČOV Prostějov (Hana Klukáčková, 2016, in litt, úprava vlastní)

ČOV Zlín

| | | |
|--------------|------------------------------------|---|
| 8 148 380,00 | $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ | limit – 12 000 000 $\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ |
| 22 324,00 | $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ | limit – max 40 000 $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ |
| 258,38 | $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ | limit – max 600 $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ |

Tab. č. 13 – Množství odpadních vod protékajících přes ČOV Zlín (Hana Klukáčková, 2016, in litt, úprava vlastní)

Koncentrační hodnoty znečištění odpadních vod, kalů a plynu

| | | Výsledky za rok 2016 | | limit pro OV na odtoku z ČOV Prostějov | | Výsledky za rok 2016 | | limit pro OV na odtoku z ČOV Zlín | |
|---|--------------------|----------------------|--------------------|--|------|----------------------|-------|-----------------------------------|------|
| | | surová | odtok | prům. | max. | surová | odtok | prům. | max. |
| | | BSK ₅ | mg.l ⁻¹ | 220 | 4,68 | 15 | 30 | 146,6 | 0,4 |
| ChSK _{Cr} | mg.l ⁻¹ | 581 | 30,9 | 75 | 125 | 414,3 | 23,2 | 60 | 115 |
| N _{celkové} | mg.l ⁻¹ | 317 | 5,25 | 20 | 40 | 234 | 1,3 | 20 | 40 |
| RL _{celkové} | mg.l ⁻¹ | 895 | 806 | | | 610 | 575 | | |
| RAS | mg.l ⁻¹ | 705 | 685 | | | 472 | 458 | | |
| pH | | 7,47 | 7,54 | | | 7,67 | 7,34 | | |
| N-NH ₄ ⁺ celkově | mg.l ⁻¹ | 31,7 | 2,53 | | | 26,99 | 0,36 | 5 | 10 |
| N-NO ₃ ⁻ | mg.l ⁻¹ | 0,48 | 1,07 | | | 0,4 | 10,8 | | |
| N-NO ₂ ⁻ | mg.l ⁻¹ | 0,32 | 0,127 | | | 0,232 | 0,039 | | |
| N _{anorganický} celkově | mg.l ⁻¹ | 32,2 | 3,72 | | | 27,67 | 11,25 | 15 | 20 |
| N _{celkový} | mg.l ⁻¹ | 49,4 | 6,67 | 10 | 20 | 40,1 | 11,57 | | |
| P _{celkový} | mg.l ⁻¹ | 6,97 | 0,908 | 1 | 3 | 4,94 | 1,06 | 1,5 | 3 |
| Kadmium | mg.l ⁻¹ | 0 | 0 | | | 0 | 0 | | |

Tab. č. 14 - Hodnoty přítoku a odtoku na ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 2016, in litt, vlastní úprava)

V této tabulce (Tab. č. 14) jsou výsledky znečištění surové odpadní vody (přítok), odtokových hodnot vyčištěné vody a limity pro nejvyšší možné znečištění na odtoku dané legislativou pro jednotlivé čistírny

| ČOV Prostějov | | aktivace | | | | ČOV Zlín | | aktivace |
|-------------------|------------------------|----------|--------|--------|--------|-------------------|------------------------|----------|
| | | CTECH 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| NL | g.l ⁻¹ | 3,79 | 5,44 | 5,07 | 5,36 | NL | g.l ⁻¹ | 2,11 |
| sediment | ml.l ⁻¹ | 538,00 | 71,00 | 645,00 | 692,00 | sediment | ml.l ⁻¹ | 386,00 |
| kalový index | ml.g ⁻¹ | 145,00 | 141,00 | 128,00 | 128,00 | kalový index | ml.g ⁻¹ | 172,00 |
| objemové zatížení | kg/m ³ /den | 0,12 | | | | objemové zatížení | kg/m ³ /den | 0,08 |
| doba zdržení | hod | 46,04 | | | | doba zdržení | hod | 26,00 |
| zatížení kalu | kg/kg/m ³ | 0,02 | | | | zatížení kalu | kg/kg/m ³ | 0,03 |
| stáří kalu | dny | 29,50 | | | | stáří kalu | dny | 23,70 |

Tab. č. 15 - vyhodnocující proces aktivací (Hana Klukáčková, 2016, in litt, vlastní úprava)

Tabulka (Tab. č. 15) obsahuje vyhodnocení aktivačního procesu na ČOV Prostějov a Zlín. Jako je koncentrace aktivační směsi (NL), sediment = objem usazeného kalu měřený v 1 litrovém válci; jeho hodnota se odečítá po 30 minutách

sedimentace v klidových podmínkách, kalový index = je poměr objemu kalu po 30 minutové sedimentaci a váhové koncentraci kalu v nádrži (NL), objemové zatížení = hmotnostní množství substrátu na 1 m³ nádrže za den, doba zdržení = poměr objemu nádrže k přítoku odpadní vody, zatížení kalu = hmotnostní množství substrátu na 1 kg organické nebo celkové sušiny kalu za den, stáří kalu = podíl hmotnosti sušiny kalu v aktivační nádrži a hmotnosti sušiny kalu odebrané denně jako přebytečný kal včetně BSK₅ unikajících odtokem (Hlavínek, Hlaváček, 1996), (Pytl a kol, 2004).

Bilanční hodnoty kalového hospodářství

| | COV Prostějov | COV Zlín |
|--|---|---|
| sušina strojně odvodněného kalu | Pv - 22,4 % | Zlín - 26,25 % |
| produkce stabilizovaných kalů | Pv - 32 456,0 m ³ .rok ⁻¹ | Zlín - 47 320,9m ³ .rok-1 |
| • strojně odvodněno kalů | Pv - 32 456,0 m ³ .rok ⁻¹ | Zlín - 47 556,9 m ³ .rok-1 |
| • množství odvodněného kalu v 100% sušiny (navážené ČOV) | Pv - 16,0025 t.rok ⁻¹ | |
| • předán odvodněný kal celkem | Pv - 3 936,16 tun | Zlín - 4 826,81 tun |
| • odvezeno jen v 100% sušiny | Pv - 838,913 tun | Zlín - 1267,07 tun |
| • celkem produkováno sušiny 22,4% sušiny jen Prostějov | Pv - 3 162 tun | |
| • spotřeba flokulantu tekutý | Pv - 33 210 kg.rok ⁻¹ | Zlín - 33 210 kg.rok-1 |
| • měrná spotřeba flokulantu | Pv - 16,5 g.kg ⁻¹ sušiny | Zlín - 6,35 g.kg-1 sušiny |
| produkce bioplynu | Pv - 335, 800tis.m ³ .rok ⁻¹ | Zlín - 993,06 tis. m ³ rok ⁻¹ |
| • spotřeba bioplynu | Pv - 335,800 tis. m ³ .rok ⁻¹ | |
| • Likvidace septiků | Pv - 5 761,90 m ³ rok ⁻¹ | Zlín - 1 283,7 m ³ .rok-1 |
| • Likvidace ostatních ov | Pv - 4 590,16 m ³ rok ⁻¹ | Zlín - 6 345,99 m ³ .rok-1 |

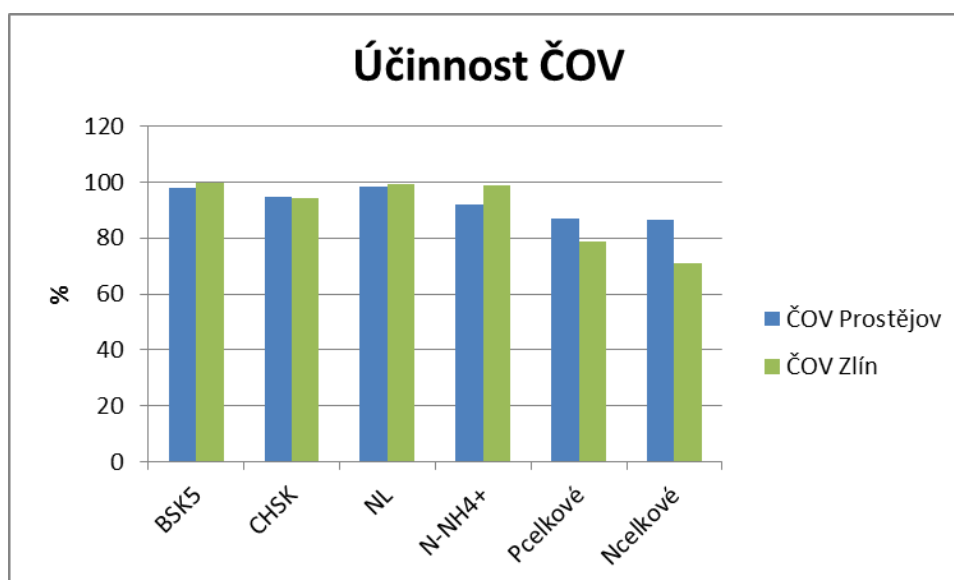
Tab. č. 16 - vyhodnocující kalové a plynové hospodářství (Hana Klukáčková, 2016, in. litt, vlastní úprava)

Podle výsledků v tabulce (Tab. č. 16) modifikovaný SBR systém na čistírně odpadních vod Prostějov má nižší produkci kalu než systém Johannesburg, který je používán na čistírně odpadních vod ve Zlíně. Ale daleko větší měrnou spotřebu flokulantu na odvodnění kalu.

Účinnost odstranění koncentrace znečištění na ČOV, která je vypočítaná z tabulky (tabulka).

$$\text{Výpočet účinnosti: } E_{\text{celk}} [\%] = \frac{C_{\text{prítok}} - C_{\text{odtok}}}{C_{\text{prítok}}} \cdot 100$$

| | ČOV Prostějov | ČOV Zlín |
|--------------------------------|---------------|----------|
| BSK ₅ | 97,87 % | 99,73 % |
| CHSK | 94,68 % | 94,40 % |
| NL | 98,34 % | 99,43 % |
| N-NH ₄ ⁺ | 92,00 % | 98,67 % |
| P _{celk} | 86,97 % | 78,54 % |
| N _{celk} | 86,49 % | 71,15 % |



Obr. č. 23 - Procentuální znázornění účinnosti odstranění znečištění na ČOV Prostějov a Zlín (vlastní)

Z grafu účinnosti ČOV (obr. č. 23) je patrné, že systém SBR, používaný na ČOV Prostějov, má mnohem vyšší účinnost odstranění nutrientů jako celkového fosforu a dusíku než u systému Johannesburg, využívaný na ČOV Zlín. Těchto lepších výsledků dosahuje čistírna v Prostějově díky simultánním procesům.

Čistírna ve Zlíně má naopak lepší účinnost odstranění organického znečištění (BSK₅, CHSK_{cr}, NL). Tyto lepší výsledky jsou způsobeny díky přítomnosti dosazovacích nádrží.

Bilanční hodnoty znečištění odpadních vod na vstupu na ČOV a na odtoku z ČOV do recipientu

| ČOV Prostějov | t.rok ⁻¹ | | bilanční limit na odtoku z ČOV | ČOV Zlín | t.rok ⁻¹ | |
|----------------------------------|---------------------|-------------|--------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------|
| | přítok na ČOV | odtok z ČOV | | | přítok na ČOV | odtok z ČOV |
| BSK ₅ | 1367,9 | 29,1 | 135 | BSK ₅ | 1194,55 | 3,26 |
| ChSK | 3612,7 | 192,1 | 675 | ChSK | 3375,87 | 189,04 |
| NL | 1971,1 | 32,6 | 180 | NL | 1906,72 | 10,92 |
| N-NH ₄ ⁺ | 197,1 | 15,7 | | N-NH ₄ ⁺ | 219,92 | 2,93 |
| N-NO ₃ | 2,9 | 6,6 | | N-NO ₃ | 3,26 | 88 |
| N-NO ₂ | 1,9 | 0,78 | | N-NO ₂ | 1,89 | 0,32 |
| N _{anorganický celkový} | 200,2 | 23,13 | | N _{anorganický celkový} | 225,47 | 91,67 |
| P _{celkový} | 43,3 | 5,64 | 9 | P _{celkový} | 40,25 | 8,64 |
| N _{celkový} | 307,1 | 41,4 | 90 | N _{celkový} | 307,1 | 41,4 |
| RL | 5565,1 | 5011,7 | | RL | 5565,1 | 5011,7 |
| RAS | 4383,7 | 4259,3 | | RAS | 4383,7 | 4259,3 |
| AOX | 3,17 | 0,4 | | AOX | 3,17 | 0,4 |

Tab. č. 17 - Hodnoty znečištění odpadních vod na přítoku a odtoku v t.rok⁻¹ na ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 2016, in. litt, vlastní úprava).

Tyto hodnoty v tabulce (Tab. č. 17) jsou porovnávány s návrhovými hodnotami jednotlivých ČOV. Kvůli zjištění zda je čistírna odpadních vod dostačující nebo zda je předimenzovaná.

| | ČOV Prostějov | ČOV Zlín |
|------------------------------|----------------------------|----------------|
| Množství shrabků: | 111,57 t.rok ⁻¹ | 87,84 t.rok-1 |
| Množství písku: | 128,04 tun | 266,06 tun |
| Spotřeba síranu: | 137,02 t.rok ⁻¹ | 277,08 t.rok-1 |
| Hydraulické zatížení: | 79,24 % | 55,88 % |
| Látkové zatížení: | 57,66 % | 26,46 % |

Tab. č. 18 - Technologická data ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 20.10.2016, in litt, vlastní úprava)

| Počet EO: | ČOV Prostějov |
|-----------|--|
| 62 465 | EO - podle průměrného ročního zatížení BSK ₅ |
| 89 900 | EO - podle maximálního týdenního zatížení BSK ₅ |
| ČOV Zlín | |
| 54 546 | EO - podle průměrného ročního zatížení BSK ₅ |
| 67 640 | EO - podle maximálního týdenního zatížení BSK |

Tab. č. 19 - Tabulka zatížení ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 20.10.2016, in litt, vlastní úprava)

6. Diskuze

6.1. Vyhodnocení výsledků ČOV Prostějov a ČOV Zlín

Z porovnání výsledků vyčištěných odpadních vod vyplývá, že ČOV Zlín má lepší odbourávání organických látek ve stanoveních BSK₅, CHSK_{Cr}, NL. I když účinnost čištění prostějovské ČOV se pohybuje u BSK₅ - 97,87 %, CHSK_{Cr}- 94,68% a NL – 98,34%. V porovnání s Nařízením vlády 401/2015 sb. O ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech tedy vyplývá, že čistírna splňuje veškeré parametry a vyhovuje i platné legislativě.

| Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace | CHSK _{Cr} | BSK ₅ | N-NH ₄ ⁺ * | N _{celk} ³⁾ * | P _{celk} * |
|---|--------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| <500 | 70 | 80 | - | - | - |
| 500 - 2000 | 70 | 80 | 50 | - | - |
| 2001-10000 | 75 | 85 | 60 | - | 70 |
| 10001 - 100000 | 75 | 85 | - | 70 | 80 |
| > 100000 | 75 | 85 | - | 70 | 80 |

Tab. č. 20 - Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku)^{1),2)} v procentech (Nařízení vlády č. 401/2015.)

Vysvětlivky:

* Neexistence konkrétního emisního standardu nevyklučuje možnost stanovení emisního limitu pro daný ukazatel při postupu podle § 5 odst. 2 a 3 k tomuto nařízení.

¹⁾ Účinnost čištění vztažená k zátěži na přítoku do čistírny odpadních vod.

²⁾ Uváděné přípustné hodnoty účinnosti čištění mají charakter „p“ hodnot a mohou být v povoleném počtu jednotlivých stanovení nedosaženy podle hodnot v příloze č. 5 k tomuto nařízení. Pro stanovení hodnot minimální účinnosti čištění použije vodoprávní úřad typ vzorku A nebo B nebo C podle poznámky 3) k tabulce 1 v příloze č. 4 k tomuto nařízení.

³⁾ Celkový dusík je ukazatel, který zahrnuje všechny formy dusíku.

Lepší parametry v odstranění organického znečištění u ČOV Zlín přisuzujeme přítomností stírané hladiny dosazovacích nádrží. U systému CASS je toto největším nedostatkem (nelze stírat plovoucí nečistoty z hladiny a tím jsou zhoršovány odtokové parametry). Abychom na ČOV Prostějov dosáhli lepších výsledků BSK₅, CHSK_{Cr}, NL, tak bych tento nedostatek v technologii CASS kompenzovala přítomností třetího stupně čištění (mikrosíťové filtry, pískové filtry...), jak se uvádí v publikaci Hlavínek, 1999, seminář 6, 9-13 s.

Naopak je to u výsledků celkového dusíku, kdy u ČOV Prostějov jsou bez problémů dosahované hodnoty kolem 6 ml/l a účinnost čištění se pohybuje kolem 86,4%. Podle mého názoru je to výsledkem dostatečného množství lehce biologicky odbouratelného organického substrátu, které je bez absence usazovacích nádrží čerpán přímo do selektoru aktivační nádrže. O tomto hovoří i Jiří Wanner na konferenci v Moravské Třebové (2015) ve své přednášce „Druhé století aktivačního procesu: dosažená úroveň poznání a budoucnost procesu“. A dále realizací simultánní nitrifikaci a denitrifikaci. Kdy dochází podle Hlavínka a Novotného (1996) k simultánní nitrifikaci a denitrifikaci na úrovni vložky v důsledku stratifikace vložky na vnější oxickou a vnitřní anoxickou.

Dále jsme zjistili při porovnání výsledku, že ČOV Prostějov dokáže při zhruba stejném přítokovém množství fosforu na čistírnu ($P_v(\text{Prostějov}) = 43,3 \text{ t/rok} - \text{Zlín} = 40,25 \text{ t/rok}$) lépe odbourávat fosfor pomocí biologického odstraňování. Jelikož při chemické srážení fosforu spotřebuje ČOV Zlín dvakrát více síranu než ČOV Prostějov ($PV = 128.04 \text{ t} - \text{Zlín} = 277.08 \text{ t}$).

Je to způsobeno příznivým prostředím a množstvím vhodného substrátu pro poly-P bakterie. Příznivé prostředí pro odstranění P je střídání anoxických a oxických zón, což je na ČOV Prostějov splněno míchaným lapákem písku a selektorem, který předchází hlavní aktivační reaktor. A vhodným substrátem, což je tu uhlík - hlavní složkou organických látek obsažených v odpadních vodách. Podléhá mikrobiální biodegradaci v aktivovaném kalu za anaerobních podmínek (bio-P), v anoxickém prostředí (denitrifikační zóna) a v provzdušňované části biologického stádia (nitrifikační zóna). – Mikroorganismy využívají uhlíkových sloučenin pro stavbu buněčných struktur a při tvorbě energie (Chudoba a kol, 1992).

6.2. Zhodnocení přínosů a nedostatků technologie CASS

V této části diskuze vyvracím, či potvrzuji sdělení v komerční publikaci od SCHÜFFL & FORSTHUBER CONSULTING (1998) **Přednosti technologie CASS oproti konvenčními technologiemi aktivovaného kalu**. A to jsou:

1. má nižší investiční náklady
2. zvládá lépe denní, roční a sezónní kolísání přítoků
3. má dobře stabilizovaný kal, vysokou kvalitu odtoku
4. vzhledem k jednoduché automatizaci má minimální nároky na personál

5. není zapotřebí vyrovnávacích nádrží pro přítok
6. díky variací doby provzdušnění lze jednoduše kompenzovat výkyvy v přítoku
7. dále se ušetří čerpací stanice vratného kalu a dosazovací nádrže
8. má menší nároky na prostor a má menší strojní vybavení
9. nevytváření typického zbytnělého kalu, protože nejsou zpravidla překročeny kalové indexy 50 - 70 ml/g
10. má také jednoduchou modulární konstrukci

Dle mých zjištěných poznatků z daných výsledků ČOV Prostějov jsem vyhodnotila skutečný stav „Přednosti technologie CASS“. Toto srovnání platí pouze pro ČOV Prostějov, jelikož tak jak uvádí i Hlavínek, Novotný (1996), každá čistírna je převážně závislá na charakteristice přitékajících odpadních vod z dané lokality. Sleduje se BSK₅, CHSK_{Cr}, NL, N, P a další látky, jako těžké kovy a toxické látky.

Ad.1 má nižší investiční náklady z důvodu absence usazovací nádrže, čerpací stanice primárního kalu, dosazovací nádrže, čerpací stanice přebytečného kalu. Toto jsou všechno technologické celky, které na ČOV Prostějov zcela chybí. Tudíž bylo ušetřeno nemalé množství investičních nákladů. (Toto tvrzení je pravdivé).

Ad.2 za zvýšených průtoků (trvalý déšť, tání sněhu...) se přepíná automaticky z módu (Sucho(DWFC)) do provozního módu (Déšť(WWFC), který je zkrácen na 3 hodinový cyklus se zvýšeným provzdušňováním jedné hodiny na 3 mg/l O₂. a tím rychlejšího odtahu vyčištěné vody. (Toto tvrzení je pravdivé).

Ad.3 kal je částečně aerobně stabilizovaný (zátížení kalu 0,0235 kg/kg.d - stáří kalu v aktivaci 30-60 dnů). Toto tvrzení je jen částečně pravdivé, jelikož vysoké stáří kalu způsobuje rozpad vloček, jejich horší sedimentaci, separaci a možného úniku mikrovloček do odtoku.

Ad.4 podle mého poznatku vyvracím slovo “jednoduchá automatizace“. Dle ostatních ČOV je program na řízení CASS velice složitý (v jedné nádrži probíhá několik fází, které mají odlišné požadavky na proces). Dále bych chtěla poznamenat, že tento systém skutečně minimalizuje nároky na personál, ale za předpokladu, že je plně funkční.

Ad.5 není zapotřebí vyrovnávací nádrže pro přítok. Nádrže mají objem 37 700m³ a nátok do jednotlivých aktivací je časově posunut o hodinu. (toto tvrzení je pravdivé).

Ad.6 díky variací doby provzdušnění lze jednoduše kompenzovat výkyvy v přítoku. (toto tvrzení je pravdivé).

Snížení znečištění lze dle řídicího programu korigovat nejen zkrácením času provzdušňování, ale také zadáním střídání skupin řazení vzduchových klapek (rozděleny do 2 skupin). V době, kdy je slabý přítok, se na zadanou dobu střídavě otevírá vždy pouze jedna skupina vzduchových klapek nádrží. Po uplynutí této doby se otevře druhá skupina klapek, poté se první skupina uzavře. Při překročení minimálního množství vody na přítoku, které je zadáno v PC, se otevrou vždy všechny vzduchové klapky. Tímto řešením lze ušetřit náklady na el. energii. Jelikož největší spotřebu energií na ČOV mají dmychadla. U ČOV Prostějov to činí až 62% (Švestka, 2017).

Ad.7, 8 absence některých technologických celků. Již podle tabulky (tab. č. 11) je patrné, že na ČOV Prostějov zabírají jednotlivé technologické celky daleko méně místa.

Ad.9 tvrzení že se typický zbytnělý kal nevytváří, protože nejsou zpravidla překročeny kalové indexy 50 - 70 ml/g není zcela pravdivé). Podle mnoholetých výsledků z ČOV Prostějov se KI (kalový index) pohybuje v průběhu roku mezi 60-270 ml/g. Podle mikroskopických záznamů není bytnění kalu způsobené vláknitými organismy (toto je zamezeno kontaktní zónou- selektorem), kde je vratný aktivovaný kal směřován s odpadní vodou tak, aby vytvořil mezi kontaktní zónou a hlavní nádrží potřebný koncentrační gradient (Hana Klukáčková, 10.04.2017, in verb).

Jak ve své publikaci Hlavínek a Novotný (1996) zmiňuje, nazývá se tzv. selektorový efekt. Ale je způsobeno jinými faktory a to teplotními změnami, příliš dlouhým stářím kalu, otravou způsobenou toxickými látkami v přítoku čistírny, vracení kalu ve fugátů odštědivek. Velice záleží na složení přitékajících odpadních vod (zánik snadněji odbouratelných vod).

Ad.10 ČOV je opravdu jednoduché modulární konstrukce. Aktivační nádrž je jednoduché kvádřové konstrukce, přepažené pouze jednou stěnou. Tato stěna

částečně odděluje selektor od hlavní reakční zóny. V hlavní zóně (v jedné nádrži) dochází k odstranění organických látek, k nitrifikaci a denitrifikaci, k sedimentaci (nahrazuje dosazovací nádrž), k odtahu přebytečného kalu (nahrazuje dosazovací nádrž a stanici čerpání přebytečného kalu) a odtahu vyčištěné vody (za pomoci zařízení zvaného dekantér).

Jak uvádí i Hlavínek a Novotný (1996) v publikaci Intenzifikace čistíren odpadních vod na straně 94, je důležitou otázkou při volbě systému i způsob jeho návrhu, protože každý ze systémů má své výhody i nevýhody.

7. Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na hodnocení čistírny odpadních vod Prostějov v Olomouckém kraji, která je zatížená na 108 000 ekvivalentních obyvatel. Posuzovaná čistírna byla porovnáвана s čistírnou odpadních vod Zlín ve Zlínském kraji, která je zatížená 207 000 ekvivalentních obyvatel. Posuzované čistírny se liší především v biologickém procesu. Prostějovská čistírna využívá CASS - modifikovaný SBR systém a Zlínská systém Johannesburg.

Cílem práce bylo porovnat čistírny odpadních vod z hlediska účinnosti odstraňování znečištění a následně navrhnout případné řešení problému.

V teoretické části jsem se věnovala různým typům biologického čištění odpadních vod. Především odstraňováním nutrientů (fosfor, dusík) obsažených ve znečištěných vodách přitékajících do čistírny odpadních vod. V případě společného biologického odbourávání fosforu a dusíku se zmiňuji o několika systémech včetně SBR. Prostějovská čistírna odpadních vod využívá systém CASS, který vychází z výše zmíněného SBR systému. V této teoretické části se základy systému CASS zabývám podrobněji.

Součástí práce je porovnání a vyhodnocení ročního provozu čistíren odpadních vod Prostějov a Zlín. Jelikož jsou obě čistírny odpadních vod v současné době podobně zatíženy a zároveň se potýkají s rozličnými problémy, vyhodnocení efektivity provozu prostějovské čistírny mě přivedlo k závěru doplnit její biologický proces čištění o terciální stupeň zahrnující především mikrofiltry a nebo mikrosíta.

8. Seznam literatury

- BATĚK J, 2013: Přednosti a nevýhody nejčastěji používaných technologií aktivačního procesu. In: SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací č. 9/2013. Praha, 18/294 s.
- DOHÁNYOS M. a kol, 1998: Anaerobní čistírenské technologie. Vydavatelství VŠCHT Brno, 340 s.
- DOHÁNYOS M., a kol, 1998: Čištění odpadních vod. Vydavatelství VŠCHT, Brno, 177 s.
- DOHÁNYOS M., ZÁBRANSKÁ J., 2011: Základní podmínky pro udržení dobrého stavu procesu metanizace, Konference ANAEROBIE 2011-Klatovy 2011, 13-22 s.
- GRINAN J. E., SPELLMAN F.R., 2013: Waster and Wastewater Treatment – a Guide for the Nonengineering Professional. Taylor and Francis Group LLC, USA, 278 s.
- HENDRICKS D., 2011: Fundamentals of Water Treatment Unit Processes – Physical, Chemical, and Biological. Taylor and Francis Group LLC, USA, 883 s.
- HLAVÍNEK P, a kol., 1999: Odborný kurz: Problematika stokových sítí a čistíren odpadních vod. Vysoké učení technické v Brně, Brno, seminář 8, 8-24 s.
- HLAVÍNEK P., 1999: Odborná náplň seminářů k problematice stokových sítí a čištění odpadních vod, seminář 6, 9-13 s.
- HLAVÍNEK P., a kol, 2001: Příručka stokování a čištění. Vydavatelství NOEL 200 s. r. o., Brno, 251 s.
- HLAVÍNEK P., HLAVÁČEK J., 1996: Čištění odpadních vod – praktické příklady výpočtů. NOEL 2000 s.r.o., Brno, 196 s.

- HLAVÍNEK P., NOVOTNÝ D., 1996: Intenzifikace čistíren odpadních vod. NOEL 2000 s. r. o., Brno, 250 s.
- CHUDOBA J. a kol, 1992: Biologické čištění odpadních vod. SNTL, Praha, 465 s.
- CHUDOBA P. a kol, 2011: Optimalizace anaerobního vyhnívání čistírenských kalů - historie, současnost a budoucí trendy. Konference Anaerobie 2011, Klatovy, 23-32 s.
- JAGLOVA V. a kol, 2009: Odbor ochrany vod Ministerstva životního prostředí. Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2000 ekvivalentních obyvatel – metodická příručka. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Praha.
- KROISS H., CAO Y., 2014: Chapter 12 – Energy considerations. In: Activated Sludge – 100 yers and Counting. Eds. D. Jenkins and J. Wanner, IWA Publishing, 221-244 s.
- KUNDRÁTEK J. a kol, 2007: Provozní řád pro trvalý provoz ČOV Prostějov – strojní část, Prostějov, 121 s.
- KUNST SPOL. s. r. o. AQUATIS a.s., MOVO a. s., KLUKÁČKOVÁ H., 2007: ČOV Prostějov - provozní řád pro trvalý provoz, Prostějov, 320 s.
- MALÝ J, 1993: Chemie a technologie vody. Nakladatelství VUT, Brno, 140 s.
- MALÝ J., MALÁ J., 1996: Chemie a technologie vody. Vydavatelství NOEL 2000 s. r. o., Brno, 197 s.
- MALÝ J., HLAVÍNEK P., 1996: Čištění průmyslových odpadních vod. NEOL 2000, Brno, 255 s.
- MUDRÁK I., 2011: Provozní řád čistírny odpadních vod Zlín – Melanovice, Zlín, 390 s.

- NAŘIZENÍ VLADY č. 401/2015. Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, In: Ministerstvo životního prostředí ČR (online). c 2008 - 2012 Ministerstvo životního prostředí. [cit. 14. 4. 2017], dostupné z <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/categories?OpenView&Start=1&Count=30&Expand=2.1#2.1>.
- PYTL V. A KOLEKTIV, 2004: Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. Vydavatelství a nakladatelství Medium, spol. s. r. o., Praha, 209 s.
- RANDALL C. W.a kol, 1992: Design and Retrofit of Wastewater Treatment Plants for Biological Nutrient Removal. Technomic Publishing Company, New Holland Avenue, 431 s.
- RIFFAT R., 2013: Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering. Taylor and Francis Group LLC, USA, 333 s.
- RINALDI C., 2017: DEPHANOX: a process for the contemporary biological phosphorus uptake and denitrification of wastewaters (online)[cit.15.04.2017], dostupné z <http://act-clean.eu/index.php/DEPHANOX-a-process-for-the-contemporary-biol;100.457/1>.
- SCHÜFFL & FORSTHUBER CONSULTING, 1998: Základní informace o technologii CASS. Firemní prospekty, Salzburg, 19 s.
- SOBÍKOVÁ, Z., 2013: Studie zpracování odpadních vod z obce Úhonice. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha 114 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Internet.
- ŠVESTKA P., 2017 : Energetická optimalizace a automatizace technologického provozu ČOV. In: Sborník přednáška na konferenci V Moravské Třebové, 10s.

- THOMAS G., KING R., 1991: Advances in Water Treatment and Environmental Management. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, Barking, Essex, England, 269 s.
- WANNER J., 1995: Technologie odstraňování nutrientů z odpadních vod – přehled a doporučení pro ČR, Sborník přednášek z Mezinárodní konference odpadní vody '95, Brno.
- WACHINSKI A.M., 2013: Membrane Processes for Water Reuse. The McGraw – Hill Companies Inc., USA, 441 s.

9. Seznam obrázků

- Obr. č. 1 - Lapák písku na ČOV Prostějov (Hana Klukáčková, 2011, in litt.)
- Obr. č. 2 - Bardenpho proces (Poller, VŠCHT Praha, (Online)
[cit. 20.02.2017], <http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_6.pdf>)
- Obr. č. 3 - Phoredox proces (Poller, VŠCHT Praha, (Online)
[cit. 20.02.2017], <http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_6.pdf>)
- Obr. č. 4 - UCT proces (Poller, VŠCHT Praha, (Online)
[cit. 20.02.2017], <http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_6.pdf>)
- Obr. č. 5 - Dephanox proces (Poller, VŠCHT Praha, (Online)
[cit. 20.02.2017], <http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_6.pdf>)
- Obr. č. 6- Znázorněné fáze cyklu SBR systému ((Poller, VŠCHT Praha, (Online) [cit. 20.02.2017],
<http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/COV_pr_6.pdf>))
- Obr. č. 7 - Uskladňovací nádrž (vlastní)
- Obr. č. 8 - Skládka kalu se šnekovým dopravníkem na ČOV Prostějov (vlastní)
- Obr. č. 9 - Provzdušňovací fáze, při které dochází zároveň i k nátok do nádrže (Hana Klukáčková, 16.03.2017, in litt.)
- Obr. č. 10 - Fáze usazovací se začínající fází dekantace (Hana Klukáčková, 16.03.2017, in litt.)
- Obr. č. 11- Fáze Dekantace na ČOV Prostějov (Hana Klukáčková, 16.03.2017, in litt.)
- Obr. č. 12 - Přítok na ČOV (vlastní)
- Obr. č. 13 - Společný odtokový žlab z lapáku písku (vlastní)
- Obr. č. 14 - C-TECH nádrže - Aktivace (vlastní)
- Obr. č.15 - Selektor (Hana Klukáčková, 2016, in litt.)
- Obr. č.16 - Nátok do selektoru (vlastní)
- Obr. č. 17 - Schéma aktivační nádrže (Hana Klukáčková, 2016, in litt)
- Obr. č. 18 - ČOV Zlín (Štěpán Satina, 2016, in litt)
- Obr. č. 19 - Vstupní čerpadla (Štěpán Satina, 2016, in litt)
- Obr. č. 20 - Uskladňovací nádrž kalu, vyhnívací nádrž (Štěpán Satina, 2016, in litt)

- Obr. č. 21 – Letecký pohled na ČOV Zlín (www.mapy.cz, úprava vlastní, 2017)
- Obr. č. 22 – Letecký pohled na ČOV Prostějov (www.seznam.cz, úprava vlastní, 2017)
- Obr. č. 23 - Procentuální znázornění účinnosti odstranění znečištění na ČOV Prostějov a Zlín (vlastní)

10. Seznam tabulek

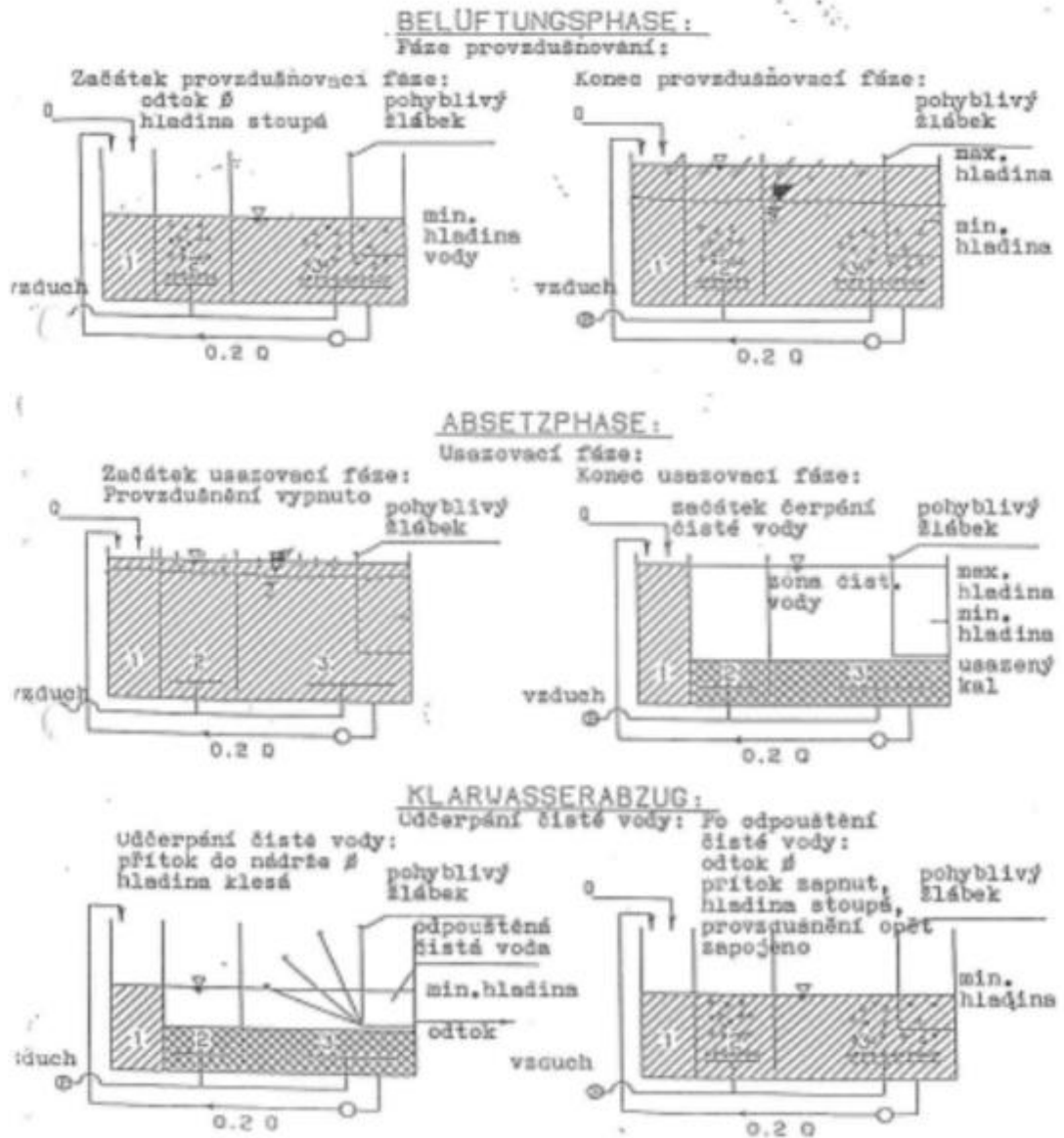
- Tab. č. 1- Průměrné znečištění vytvořené 1 obyvatelem za den (Jaglová a kol, 2009)
- Tab. č. 2 – Základní vstupní hodnoty ČOV (Provozní řád ČOV Prostějov, 2007, úprava Vlastní)
- Tab. č. 3 - Objemy aktivačních nádrží (ČOV Zlín - Provozní řád)
- Tab. č. 4 - Označení jednotlivých nádrží nové aktivaci (ČOV Zlín - Provozní řád)
- Tab. č. 5 - Rozměry dosazovacích nádrží (ČOV Zlín - Provozní řád)
- Tab. č. 6 - Přehled čerpacích stanic v ČOV Zlín (ČOV Zlín - Provozní řád)
- Tab. č. 7 - Návrhové množství odpadních vod podle projektu (ČOV Zlín - Provozní řád)
- Tab. č. 8 - Návrhové hodnoty znečištění podle projektu - přítok na ČOV (ČOV Zlín - Provozní řád)
- Tab. č. 9 - Návrhové hodnoty znečištění podle projektu - Přítok do aktivace (ČOV Zlín - provozní řád)
- Tab. č. 10 - Vypouštěné znečištění podle rozhodnutí krajského úřadu životního prostředí (ČOV Zlín - Provozní řád)
- Tab. č. 11 - Rozdíly mezi ČOV Prostějov a ČOV Zlín (Klukáčková H. 2016, in litt.)
- Tab. č. 12 – Množství odpadních vod protékajících přes ČOV Prostějov (Hana Klukáčková, 2016, in litt, úprava vlastní)
- Tab. č. 13 – Množství odpadních vod protékajících přes ČOV Zlín (Hana Klukáčková, 2016, in litt, úprava vlastní)
- Tab. č. 14 - Hodnoty přítoku a odtoku na ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 2016, in litt, vlastní úprava)
- Tab. č. 15 -vyhodnocující proces aktivací (Hana Klukáčková, 2016, in. litt, vlastní úprava)
- Tab. č. 16 - vyhodnocující kalové a plynové hospodářství (Hana Klukáčková, 2016, in. litt, vlastní úprava)
- Tab. č. 17 - Hodnoty znečištění odpadních vod na přítoku a odtoku v t.rok⁻¹ na ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 2016, in. litt, vlastní úprava).

- Tab. č. 18 - Technologická data ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 20.10.2016, in litt, vlastní úprava)
- Tab. č. 19 - Tabulka zatížení ČOV Prostějov a Zlín (Hana Klukáčková, 20.10.2016, in litt, vlastní úprava)
- Tab. č. 20 - Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných odpadních vod (minimální procento úbytku)^{1),2)} v procentech (Nařízení vlády č. 401/2015.)

11. Seznam příloh

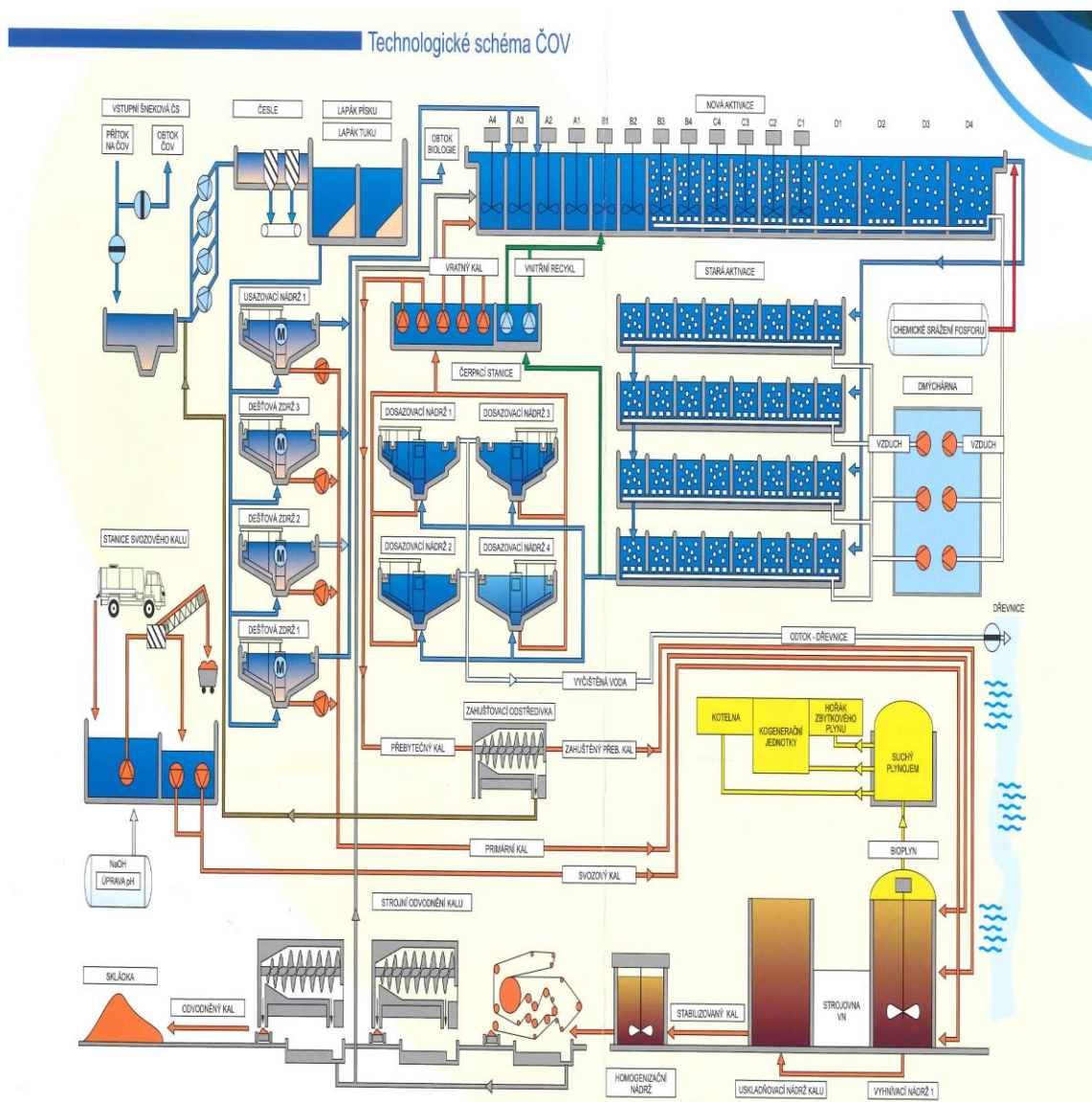
- Příloha č. 1 – Schéma průběhu technologie CASS (SCHÜFFL &FORSTHUBER CONSULTING, 1998)
- Příloha č . 2 – Schéma průběhu technologie Johannesburg (Štěpán Satina, 2016, in litt)

Příloha č. 1



Příloha č. 1- Schéma průběhu technologie CASS (SCHÜFFL & FORSTHUBER CONSULTING, 1998)

Příloha č. 2



Příloha č. 2- Schéma průběhu technologie Johannesburg (Štěpán Satina, 2016, in litt)