ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

VYHODNOCENÍ PROVOZU ČOV KRÁLOVICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VOJTĚCH KUNCL

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Květen 2017

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kuncl** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **423211**

Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra zdravotního a ekologického inženýrství**

Studijní program: **Stavební inženýrství**

Studijní obor: **Vodní hospodářství a vodní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vyhodnocení provozu ČOV Královice

Název bakalářské práce anglicky:

Evaluation of the WWTP operation Královice

Pokyny pro vypracování:

Práce v rozsahu 40 stran s grafickými přílohami. Rešerše literatury k problematice čištění odpadních vod. Posouzení hodnot průtoků čistírnou odpadních vod. Ukazatele znečištění na přítoku a na odtoku z ČOV. Posouzení účinnosti ČOV. Porovnání s vodoprávním povolením a nařízením vlády. Závěr.

Seznam doporučené literatury:

Hlavínek P., Mičín J., Prax P.: Příručka stokování a čištění. NOEL 2000, s.r.o., Brno, 2001, ISBN 80-86020-30-4 Slavíčková, K. - Slavíček, M.: Vodní hospodářství obcí 1 úprava a čištění vody. Praha: ČVUT, 2013

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Marcela Synáčková CSc., katedra zdravotního inženýrství

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **28.05.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce	Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	Podpis studenta

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací

V Praze dne 28. 5. 2017 ……

Vojtěch Kuncl

Poděkování

Děkuji především vedoucí své bakalářské práce Ing. Marcele Synáčkové, CSc. za příkladné usměrňování, nápomocné rady, snahu a ochotu po celou dobu vedení. Dále bych rád poděkoval celé rodině a především přítelkyni za trpělivost, porozumění a podporu při vypracování tohoto dokumentu. V neposlední řadě bych rád poděkoval všem pracovníkům zabývajících se oblastí vodohospodářství, kteří mi byli při práci nápomocni a především mistru čistírny odpadních vod Královice panu Jiřímu Královi.

Anotace

Hlavním cílem této bakalářské práce je provést ucelené vyhodnocení provozu čistírny odpadních vod Královice.

Teoretická část rozebírá problematiku stokování a čištění odpadních vod a vytváří podklad pro následnou analýzu dané čistírny.

Analýza provozu čistírny odpadních vod Královice bude provedena jako ucelený soubor prohlídky provozu čistírny, naměřených dat za rok 2016 a územního plánu v návaznosti na statistická data. Dále budou uvedena doporučení pro zlepšení současného stavu.

Klíčová slova

Čistírna odpadních vod, znečištění, limity vypouštění

Annotation

The main goal of this bachelor work is to make an exhaustive evaluation of wastewater treatment plant Královice.

The theoretical part is about problematic of sewages and wastewater treatment. It also builds a background for following analysis of a specific case.

The analysis of Královice's operation will contain a personal visit of the treatment, an elaboration of measured data of 2016, a territorial plan connected to statistical data and will be done like a complete file. Lastly I will state some advices for improvement and future development.

Key words

Wastewater treatment plant, pollution, discharge limits

Obsah

1 Úvod 8
2 Stokování a odpadní vody 9
2.1 Historie v průběhu dějin 9
2.2 Odpadní vody 10
2.2.1 Dělení odpadních vod 10
2.2.2 Specifikace odpadních vod 11
2.3 Typové soustavy stok 12
2.4 Typy dopravy odpadních vod 13
2.5 Systémy stokových sítí 13
3 Čištění odpadních vod 15
3.1 Mechanické způsoby čištění odpadních vod 15
3.1.1 Cezení, filtrace 15
3.1.2 Sedimentace 15
3.1.3 Vzplývání 15
3.1.4 Flotace 16
3.1.5 Odstřeďování 17
3.2 Objekty mechanického čištění čistíren odpadních vod 17
3.2.1 Česle a síta 17
3.2.2 Lapák štěrku 18
3.2.3 Lapák písku 19
3.2.4 Lapák tuků a olejů 19
3.2.5 Usazovací nádrže 20
3.3 Biologická část ČOV 21
3.3.1 Aktivace 22
3.3.2 Nutrienty 22

3.3.3 Odstraňování dusíku 22
3.3.4 Odstraňování fosforu 25
3.3.5 Hlavní typy aktivace 26
3.3.6 Biofilmové reaktory 28
3.4 Aerační systémy 29
3.5 Terciární stupeň čištění 29
3.6 Kalové hospodářství 30
3.6.1 Typy kalů 31
3.6.2 Zpracování kalu 31
3.7 Doplňkové vybavení čistíren 33
4 Čistírna odpadních vod Královice 35
4.1 Základní specifikace 35
4.2 Technologická část ČOV a její zhodnocení 36
4.2.1 Přítok do ČOV 36
4.2.2 Mechanické předčištění 36
4.2.3 Odlehčovací objekt 37
4.2.4 Biologická část 37
4.2.5 Odtok a kalové hospodářství 38
4.2.6 Zhodnocení stavební a technologické části 39
4.3 Vyhodnocení kvality čištění na základě statistických dat 40
4.3.1 Vypouštěné hodnoty ČOV Královice pro rok 2016 41
4.3.2 Vyhodnocení průtoků ČOV Královice 42
4.3.3 Vyhodnocení koncentračních limitů ČOV Královice 42
4.4 Územní rozvoj oblasti 46
5 Závěr 48
6 Seznam použité literatury a podkladů 49

1 Úvod

Již od počátku věků bylo utváření lidské společnosti pevně spjato se zakládáním sídel. Tento fakt ovšem v minulosti způsobil jeden z prvních, do té doby neznámých, problémů, a to nutnost nakládání s odpady. Ať už se zde jedná o zbytky jídel, exkrementy, hnůj či jinak nevyužitelné látky, představují problém hygienický, ekologický i estetický. A právě tento problém se snaží lidstvo vyřešit už od pradávna.

Nakládání se znečištěnými vodami se v současnosti stává jedním z hlavních aspektů zdravotního inženýrství po celém světě. Vodoprávní úřady a vládní organizace postupně kladou stále větší požadavky na kvalitu vypouštěné vody z čistíren, což ale často kontrastuje s jejich skutečnými možnostmi. Čistírny setrvávají ve stavu, v jakém byly povětšinou v minulém století postaveny. Nyní již nestačí na soudobé požadavky a je třeba začít se o tento problém zajímat, jak poukazuji na konkrétním příkladu v této práci.

V první části této práce je cílem shrnutí procesu stokování a čištění odpadních vod. Půjde o ucelený teoretický podklad nezbytný pro základní představu o teorii čištění odpadních vod. Zároveň poslouží k vyhodnocení provedení a provozu čistírny odpadních vod Královice. Podstatou je nastínění problematiky odvádění znečištěných vod, možnosti čistírenských procesů a jejich optimalizace.

V druhé části se pak jedná o komplexní zhodnocení provozu čistírny odpadních vod Královice souborem dílčích metod. Na základě osobní prohlídky objektu čistírny se pokusím posoudit současný stav čistírny s vyhledáním problémových míst. Na základě hodnot naměřených za rok 2016 se budu snažit říci, zda vybrané parametry neindikují problém v chodu čistírny. Nakonec ze současného územního plánu vyvodím závěry pro budoucí provozování čistírny odpadních vod Královice a kanalizační sítě zájmového území.

2 Stokování a odpadní vody

2.1 Historie v průběhu dějin

Ještě dříve, než se člověk rozhodl usadit a vedl kočovný způsob života, byly odpady jeden z hlavních důvodů k opuštění předchozího stanoviště. [14] Přece jen hned po nedostatku potravy či válkách je hromadění odpadu a s tím související nepříznivé důsledky (estetika, šíření chorob, zhoršení kvality okolních vod apod.) hlavním problémem našich prapředků. Nicméně okolnosti v podobě stavby sídel donutily člověka se nad tímto problémem zamyslet.

Prvopočátky stok sahají až do roku 2510 př. n. l. do Babylonie. [18] Pochopitelně se na začátku jednalo o záležitost vyšších vrstev a až poté o veřejnou kanalizaci. I přesto tu máme místy velmi zachovalé části ze starověkých měst. Ty pochází mimo jiné z Khorsbadu, Nimrudu a pyramidy Sahu-Rea v Egyptě. [18]

Pokud ale máme mít k něčemu opravdu velký obdiv, tak je to vodní hospodářství starověkého Řecka a Říma. V Řecku se jedná především o stěžejní centra, jako jsou Athény, Olympie, Sámos, Milét a Alexandria. [5] Ovšem zde si nesmíme představovat stoky, jak je známe dnes. Šlo především o otevřené povrchové stoky, žumpy či nádoby na fekálie. Trochu jinou kapitolou je starověký Řím. Zde byly dopodrobna vybudované vodohospodářské soustavy akvaduktů, fontán, lázní či stok. Například jen zásobování vodou bylo na velmi vysoké úrovni. Římané si totiž velmi dobře uvědomovali, že voda je jedním ze základních zdrojů přírody a je potřeba ji chránit. Právě proto zbudovali jednu z největších a nejznámějších stok Cloacu maximu. [14]

Po období relativního vzkvětu městského odvodnění nastal úpadek v podobě Středověku. Zde se jedná o pro nás nepředstavitelné podmínky. Lidé doslova využívali městské ulice jako veřejnou skládku. Byla zde vrstva hnoje (mimo jiné od častého kálení koní a především chovných zvířat), fekálií, moči, zbytků potravy, odpadů z výrobních procesů a pozůstatků různých organických tkání. Není proto divu, že právě zde můžeme hledat počátek morových epidemií a chorob způsobených znečištěním vodních zdrojů. Až na přelomu 14. a 15. století našeho letopočtu dochází k právní úpravě nakládání s odpady v Praze. Nadcházel nepatrný rozvoj v 17. a především na konci 18. století. Velký zvrat nastal na přelomu 19. a 20. století. Skupina zahraničních inženýrů v čele s Ing. W. H. Lindleyem vyracovala projekt odkanalizování města Prahy. Ten se začal uskutečňovat od roku 1899. [14] Například systém kanalizací města Brna je ještě starší. Jeho počátky sahají do 70. let 19. století. Na celém území

České republiky docházelo během druhé poloviny 20. století k přechodu od přetížené jednotné stokové soustavy k moderní soustavě oddílné. Dalšími důležitými milníky jsou také stavba největší aktivační čistírny střední Evropy mezi lety 1965 až 1967 v Praze a přijetí nového zákona o vodách v roku 1973. [5] V současnosti, je především díky snaze napravení tohoto nedostatku z dob minulých, naše čištění odpadních vod na vzestupu. Dochází ke snaze, a nejen kvůli směrnicím daných evropskou unií, co nejvíce zdokonalit parametry čištění a chránit tím zdraví obyvatel i přírody.

2.2 Odpadní vody

Odpadní vody jsou velmi různorodé. Patří sem především vody odváděné stokovou sítí, vody podzemní z hydraulické ochrany u průmyslových objektů, vody z drenážních systémů, vody z výrobních provozů a tekuté odpady. [5]

2.2.1 Dělení odpadních vod

Dle ČSN 75 6101 [2] se odpadní vody dělí na vody splaškové, průmyslové, povrchové srážkové, zemědělské, infekční a ostatní.

Splaškové vody

Vodami splaškovými se rozumí vody odvedené kanalizací z domácností obyvatel a služeb s nimi souvisejících. Těmi jsou například hotely, restaurace, obchody a další. Množství vypouštěných vod je velice proměnlivé jak v čase, tak v závislosti na velikosti sídla. Co se týče vypouštění vod domácnostmi je trend překvapivě klesající. Obvykle se pohybuje v rozhraní 43,8 až 153,4 l/(obyvatele.den) a v současnosti se v ČR pohybuje specifické množství vody fakturované pro domácnost okolo 100 l/(obyvatele.den). [17]

Průmyslové odpadní vody

Jsou to vody z výroby, omývání, chlazení či vody jinak užité v průmyslu. O těchto vodách musí být, na základě koncentračních limitů, předem rozhodnuto, zdali musí být předčištěny nebo smějí být vypouštěny přímo do stokové sítě. Jejich množství je velmi závislé na velikosti a druhu podniku, dále také na typech směn daného provozu a jejich hodinovém rozložení ve dni. [17]

Vody znečištěné srážkové

Tvoří je vody ze všech typů atmosférických srážek. Ty jsou následně odváděny kanalizačními vpustmi do stokového systému. Dělí se na znečištěné a neznečištěné (v závislosti na lokalitě), kdy druhé jmenované mohou být v určité míře přímo vsakovány.

Množství je určeno především průměrným součinitelem odtoku, intenzitou dešťové srážky, plochou odkanalizovaného území, dobou trvání dešťové události a povrchovou retencí území. [17] Vody srážkové jsou, oproti očekávání, během deště často znečištěny více než vody splaškové a v kombinaci s nesrovnatelně větším množstvím oproti vodám splaškovým tvoří základní problém návrhu kanalizační sítě.

Vody infekční

Patří sem vody z nemocnic, sanatorií, laboratoří a ostatních zařízení zdravotnického účelu. Je zde nutné zajistit hygienické zabezpečení v úměrné míře k množství choroboplodných zárodků v odpadní vodě. [14]

Odpadní vody ze zemědělství a zemědělské výroby

Tyto vody mají nerovnoměrné rozložení během dne a především během roku. Poznávacím znakem je vysoké organické znečištění.

Ostatní odpadní vody

Jsou takové vody, které neodpovídají ani jedné z předchozích kategorií. Například vody balastní.

Městské odpadní vody

Jsou směsí několika druhů výše uvedených vod. Výsledné znečištění je tedy kombinací několika typově odlišných znečištění s kolísajícím množstvím odváděné vody jednotlivých typů. Tím pádem jsou i ukazatele znečištění velice proměnlivé v čase a místě. [14]

2.2.2 Specifikace odpadních vod

„Splaškové vody jsou zpravidla zbarveny šedě až šedohnědě a jsou silně zakalené. Jejich teplota se v našich podmínkách pohybuje od 5 do 20 °C v závislosti na ročním období a hodnota pH je v rozmezí od 6,8 do 7,5.“ [3] V odpadních vodách se vyskytují rozličné druhy znečištění. Základním rozdělením může být dělení na látky vypustitelné do veřejné kanalizace a na látky, kterým musí být ve vniku do sítě zabráněno. Sem se řadí například vody radioaktivní, vysoce infekční či jinak poškozující zdraví, tedy látky s prokazatelně negativním účinkem na lidský organismus či životní prostředí (recipient), látky s nepříznivým vlivem na stokovou síť a technologická zařízení, látky těkavé, hořlavé a výbušné. [14] Skupinu vypustitelných látek navíc omezují dané koncentrační limity. Takové vody jsme pak schopni nejenom bez větších problémů transportovat na čistírnu odpadních vod, ale také je tam pomocí různorodých procesů odstranit.

Tab. 2.1 – Emisní limity pro vypouštění odpadních vod z ČOV [13]

Kategorie ČOV [EO] nebo velikosti aglomerace	$CHSK_{CR}$		BSK_5		NL		$N\text{-}NH4^+$		N_{celk}		P_{celk}	
	p	m	p	m	P	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2 001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 001 - 100 000	90	130	20	10	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3
Jedná se o přípustné [p] a maximální [m] emisní limity v mg/l												

2.3 Typové soustavy stok

Základní vymezení pojmu: „Kanalizace je provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních a srážkových vod, kanalizační objekty včetně čistíren odpadních vod, jakož i stavby k čištění odpadních vod před jejich vypuštěním do kanalizace.“ dle ČSN EN 752 [75 6110]. [17] Stokové sítě se rozdělují podle typu jednotlivých soustav. Každý z následujících druhů má několik výhod, ale také nevýhod. Právě proto je ve světě více konfigurací v závislosti na přírodních a ekonomických podmínkách.

Jednotná soustava

Soustava využívá mísení vody srážkové i splaškové. Tento fakt přináší pozitiva a negativa z toho vyplývající. Projekt není tak finančně náročný, především díky materiálovým úsporám. Dále pak nemá vysoké technické požadavky, co se provádění i projektování týče. Bohužel tyto klady jsou většinou převáženy ekologickou stránkou věci. Kvůli nepoměrnému množství srážek a splašků během deště, musí být na soustavě vybudovány odlehčovací komory. Ty umožní dostatečnou kapacitu sítě při převádění průtoku a zvyšují ekonomickou efektivitu. Zároveň ale část naředěné odpadní vody transportují přímo do recipientu. Zefektivnění docilujeme budováním dešťových nádrží a vsakováním dešťových vod v co největší míře. Způsob dopravy je v drtivé většině gravitační. [5]

Oddílná soustava

Využívá dvě a více stok k samostatnému odvádění různých typů odpadních vod (splaškové, srážkové, průmyslové…) a ty pak mísí podle vlastní potřeby. Z toho vyplývá velmi výhodná hygienická stránka věci. Povětšinou je snaha z ekonomického hlediska navrhovat systém gravitační, ale kvůli místním podmínkám se často užívá i systém tlakový, podtlakový či pneumatický. [14]

Modifikovaná soustava

Zde je systémem propojení mělké dešťové a hlouběji uložené splaškové stoky umožněno dešťovým vodám nejdříve mísení s vodami splaškovými a v případě zahlcení i možnost přímého odtoku do recipientu. [17]

2.4 Typy dopravy odpadních vod

Gravitační doprava

Jedná se o nejběžnější, nejstarší a nejsnazší způsob dopravy odpadních vod kanalizační sítí. Na čistírnu jsou dopravovány stokami o vhodném spádu, který umožňuje samovolný gravitační pohyb odpadní vody.

Tlaková doprava

V tomto typu je užito čerpadel, která z předem k tomu vybudovaných jímek dopravují odpadní vody do čistírny. Užívá se především v případě, kdy terén daného místa neumožňuje užití gravitace nebo je to velmi ekonomicky neefektivní. Nevýhodou je samozřejmě větší technická náročnost návrhu i provozu samotné kanalizace. [17]

Podtlaková kanalizace

Je založena na principu podtlaku z vakuové stanice, která právě pomocí podtlaku zajišťuje sběr odpadní vody. Nasávání je regulováno sacím ventilem, který umožní přesun z akumulační jímky na jednotlivých přípojkách do sběrné jímky. Výhodou jsou samozřejmě velké rychlosti v síti a zjistitelnost závad z centrály. Obdobně jako u předchozího typu je zde kladen větší důraz na detaily a propracovanost technických řešení. [14]

Pneumatická kanalizace

Zde je doprava odpadních vod zajištěna tlakovým vzduchem. Ten odvádí nashromážděné množství splašků v pracovních nádržích na ČOV. Výhodou tohoto způsobu je absence kontaktu odpadní vody se zařízením čerpadla, a proto i možnost dopravy velmi znečištěných vod. [14]

2.5 Systémy stokových sítí

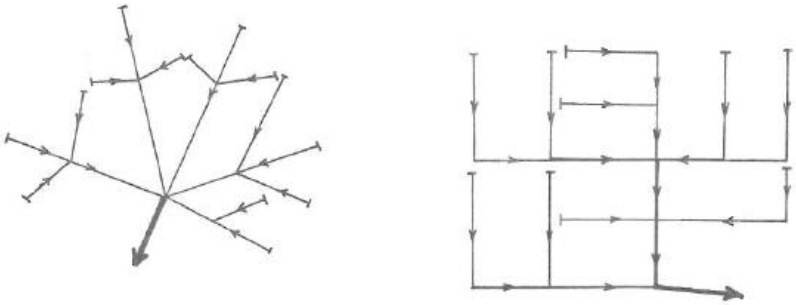
Systémem se rozumí typové prostorové uspořádání stok, zohledňující složitost povrchu, rozmístění zástavby, sklonitostní poměry a jiné skutečnosti, které mají zásadní vliv na návrh sítě. Dbáme přitom především na rozmístění šachet dané normou, zachování předepsaných vzdáleností, minimální doporučené sklony a na ekonomické hledisko věci. [14]

Radiální systém

Systém pro odkanalizování údolí, jenž se sbíhá do jednoho centrálního místa a odtud je dopravován na ČOV. Základním rysem je nepravidelná zástavba odvodňovaného území. [5]

Větevný systém

Charakteristickým rysem je užití v rozmanitém typu terénu. Snaží se užít co nejkratší vzdálenosti a dopravy do sběrné stoky sítě. [14]



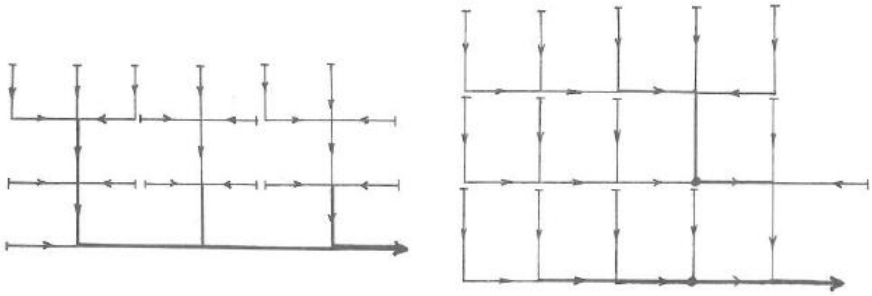
Obr. 2.1 – Schéma radiálního a větevného systému [14]

Úchytný systém

Dominantou je jedna hlavní stoka, která probíhá celou lokalitou, a na ní jsou napojeny stoky ostatní. Tento systém je často využíván podél koryt toků, kde hlavní sběrná stoka vede podélně s danou řekou. [5]

Pásmový systém

Jedná se o systém několika po sobě jdoucích (výškových) stupňů. Jednotlivé stupně mohou být jakýmikoliv z výše uvedených systémů. Z nejvyššího stupně jsou dopravovány odpadní vody gravitačně na ČOV. Pod ním je stupeň střední. Typ dopravy odpadní vody z tohoto místa není pevně dán a závisí na dané lokalitě, zda je užito gravitace, tlakového nebo podtlakového typu. Naproti tomu stupeň nejnižší je zpravidla odkanalizován čerpáním. [14]



Obr. 1.2 – Schéma úchytného a pásmového systému [14]

3 Čištění odpadních vod

3.1 Mechanické způsoby čištění odpadních vod

V odpadní vodě je velké procento nerozpuštěných látek. Často jsou tyto nečistoty ve vznosu či plovoucí. Sem patří například různé hadry, papíry, fekálie nebo zbytky jídel. Mechanickým čištěním se snažíme ochránit další stupně čištění před zanášením nebo ničením a zároveň tím výrazně snížíme organické znečištění. „Odstraněním nerozpuštěných látek se organické znečištění, vyjádřené jako BSK_5, sníží asi o 30%.“. [18]

3.1.1 Cezení, filtrace

Způsob odstraňování nerozpuštěných látek, kdy jsou hrubé nečistoty zachycovány v průlinách menších než ony sami. Jedná se o nejjednodušší způsob odstraňování. Výrazným problémem však může být hromadění zachycovaných látek, které tím pádem musí být důsledně shrabovány.

3.1.2 Sedimentace

„Tento proces je založen na principu využití gravitační síly a rozdílu hustot oddělovaných složek.“ [18] Celý proces je závislý na typu částice a odpadní vodě. Těžší částice se usazují na dně daných objektů, odkud jsou odstraňovány. Sedimentaci můžeme rozdělit na:

Prostou sedimentaci

Jednotlivé částice sedimentují na dně a jsou brány jako celek. [5]

Rušenou sedimentaci

V tomto typu při nárůstu objemové koncentrace dochází k vzájemnému ovlivňování částic obsažených ve vodě. [5]

Zahušťování suspenze

K tomuto druhu dojde po dalším vzrůstu objemové koncentrace. Dochází k oddělení dvou odlišných prostředí. Prvním je suspenze částic, které vzájemně tvoří celek a také se tak chovají. Druhým typem je pak voda, která neobsahuje téměř žádné suspendované částice. [5]

3.1.3 Vzplývání

Tohoto jevu se užívá především v lapácích tuků a olejů. Jedná se o oddělování olejovitých a tukových látek od odpadní vody. Principem je pomalé horizontální protékání nádrží, kdy látky daných emulzí vyplouvají na hladinu, odkud jsou odstraňovány. Důležitým

faktorem je absence povrchově aktivních a laditelných látek. Naopak celý proces může zlepšit užití koalescenčního filtru. Jedná se o vrstvu ostrohranného materiálu. Na hranách filtru se pak odstraňované látky koncentrují do větších kapek a jsou pak lépe odstranitelné. [5]

3.1.4 Flotace

Je typem mechanického odstraňování, při kterém se dispergované částice spojí s plynem a díky následné nižší měrné hmotnosti vystoupají na hladinu. Zde jsou odstraňovány. Optimální velikost mikrobublin plynu je asi 10 až 100 µm. [18] Výsledného efektu můžeme dosáhnout volnou, tlakovou, vakuovou, biologickou, chemickou flotací nebo elektroflotací.

Volná flotace

Typ flotace, při kterém je užíváno jemného provzdušňování, pomocí aeračních elementů (perforované disky, talíře). Ty jsou uloženy ve dně nádrží. Vzdušné bublinky se váží na částice a vynášejí je. Jediným rizikem této metody je možnost ucpání aeračních prvků. V současné době se proto používají elastické vrstvy, které se při vypnutí provzdušňování samy zatáhnou. [18]

Tlaková flotace

Využívá principu Henryho zákona. Odpadní voda se nasytí vzduchem pod tlakem. Po zrušení tlaku se přebytečný vzduch transformuje do bublinek, které vynesou částice k hladině. Tlaková flotace se rozděluje na flotaci s úplným sycením, s částečným sycením a s částečným sycením a recirkulací. [5]

Vakuová flotace

Užívá snížení tlaku v systému. [5]

Biologická flotace

Efektu se dociluje „denitrifikačními pochody v biomase za vzniku plynného dusíku“. [5]

Chemická flotace

Chemická flotace je vyvolána přidáním látky, která vytvoří plyn. [5]

Elektroflotace

Základním předpokladem je umístění katody a anody v elektrolytu (odpadní vodě). Po zahájení procesu elektrolýzy se na katodě vylučuje vodík a na anodě kyslík. Tyto plyny jsou pak účastníky flotačního procesu. Výhodou elektroflotace je především vznik bublinek různých velikostí, jejich rovnoměrné rozložení v odpadní vodě, možnost čistit flotací vody

o větších teplotách, možnost oxidace vybraných látek a vyčištění látek, které se méně odlišují od vody. Těmito látkami jsou především ropné odpadní suspenze, které se ostatními postupy hůře odstraňují. [18]

3.1.5 Odstřeďování

Proces založený na rozdílu hustoty vody a oddělovaných složek. Během procesu je na částice vyvíjena několikanásobně vyšší síla než gravitační. Užívá se především k zahuštění kalů v dekantačních odstředivkách. Jejich výhodou je bezesporu malý nárok na prostor a jejich účinnost. Bohužel provoz i údržba jsou velmi náročné, a proto jsou užívány hlavně na velkých čistírnách. [18]

3.2 Objekty mechanického čištění čistíren odpadních vod

3.2.1 Česle a síta

Česle

Česle tvoří šikmo připevněný rám s česlicemi, přes který proudí voda. Dělí se na hrubé, střední a jemné. Kritérium pro stanovení typu je velikost průlin mezi česlicemi, která následně ovlivňuje rychlost proudění vody a hromadění shrabků. Jemné česle vyčistí větší procento znečištění, ale je potřeba je častěji stírat. Často se užívá obou typů řazených za sebou. Shrabky odstraněné z česlic jsou také velmi nebezpečné, z hlediska hygienické závadnosti, a proto se doporučuje velmi obezřetná manipulace a následné nakládání s nimi. [3] Dále je možno rozdělit česle na ručně a strojně stírané. Ručně stírané jsou nevýhodné především z důvodu povinnosti neustálé obsluhy a také z důvodu možnosti chyby lidského faktoru. Nejsou tak hojně užívané a v poslední době jsou především na obtoku či jako hrubé předčištění před česlemi jemnými. Naopak strojně stírané jsou konstruovány tak, aby stroj automaticky odstraňoval shrabky. Toho je docíleno buď pravidelným opakováním sekvence čištění, anebo například na základě rozdílu hladin před a za česlemi. [18]

Spádová síta

Síto tvoří plocha, která se v několika stupních stále více blíží k vodorovné poloze. Natékaná voda je odváděna ze spodu síta a nečistoty sklouzávají z filtrační plochy. Hlavní nevýhodou je především velká výška síta. Užívá se v potravinářském průmyslu. [5]

Krokové česle

Jedná se o typ česlí, kdy jsou česle rozděleny do stupňovitých lamelových jednotek. Tyto lamelové jednotky v daných intervalech změní svoji polohu směrem vzhůru. Znečištění je odstraňováno z vrchní lamelové jednotky na přepadové hraně a zároveň je tato lamela čištěna automatickým shrabovákem. [18]

Samočisticí česle

Jedná se o otáčející se nekonečný pás česlí, kdy nečistoty zachycené na pásu jsou v horní části odstraňovány samovolným pohybem.

Bubnová síta

Typ síta, kdy se do válcového bubnu dostává voda mezerami mezi česlicemi. Velké částice se na nich zachytí, zatímco vyčištěná voda odtéká z bubnu dále. Nečistoty jsou z bubnu odstraňovány v horní části tlakovým ostřikem. [5]

Mimo tyto typy jsou užívány nové či obdobné druhy čištění. Uvedu zde například rotační síto, rotační šnek se sítem nebo stírané válcové síto. Typ mechanického předčištění vždy odpovídá konkrétnímu znečištění a požadavkům stanovených legislativou. Kromě výše zmíněných může být přistoupeno i k sdružení objektů mechanického předčištění, což je nejčastěji kombinace česlí nebo sít a lapáku písku. [18]

Výsledné shrabky jsou velmi nebezpečné, protože obsahují prakticky původní znečištění. Manipulace a výsledné nakládání s nimi musí být velmi obezřetné. Po odstranění z objektů mechanického předčištění jsou nejdříve odvodněny a poté likvidovány. Nejběžnějším a nejbezpečnějším způsobem jejich likvidace je spalování při vysokých teplotách. Tím dochází k odstraňování veškerých rizik. Druhou hlavní možností je jejich skládkování po hygienickém zabezpečení, například vápnem. [18]

3.2.2 Lapák štěrku

První zástupce objektů založených na sedimentaci. Je úplně prvním objektem ČOV. Užívá se výhradně na velkých čistírnách nebo tam, kde hrozí nárazový přítok odpadní vody s obsahem velkých částic (horské toky). Jedná se o jímky, ve kterých jsou dané nečistoty zachytávány. Je důležité, aby zde alespoň jednou denně docházelo k odstranění sedimentovaného materiálu, a tím ke snížení hygienického rizika. Dané odstraňování může být prováděno strojně či ručně. Dále lapáky štěrku můžeme rozdělit na jednokomorové či vícekomorové. [17]

3.2.3 Lapák písku

V odpadní vodě je poměrně značné procento obsahu materiálu jako jsou kousky skla, škvára, popílek, různé odštěpky a další. Tyto látky je nutné odstranit, abychom ochránili následujících stupně čištění, potrubí, zamezili spolupůsobení kalu s pískem a zabránili zanášení nádrží dalších procesů. Objekt opět funguje na principu sedimentace částic při dně. Návrh je dimenzován zpravidla na rychlosti usazování částic a kapacitu akumulačního prostoru. Vše je koncipováno tak, aby zde byly zachyceny částice větší než 0,2 mm v průměru. Dělí se dle směru průtoku na horizontální, vertikální, vírové a s příčnou cirkulací. Odstranění nahromaděného materiálu probíhá buď ručně, nebo strojně. Odstraněný písek se po vytěžení propírá, aby se zbavil organického znečištění. [18]

3.2.4 Lapák tuků a olejů

Tuky i oleje způsobují problém nejen hygienický, ale i technologický. Během procesu čištění znemožňují kvalitní odstraňování ostatních druhů znečištění, tudíž je nutné odstranit je před dalším čištěním. Způsobují především zahnívání, zhoršení kvality vody v důsledku rozkladů, zalepování čerpadel, zabraňují přístupu vzduchu k organismům v biologické části a celkově zhoršují podmínky čištění. [17]

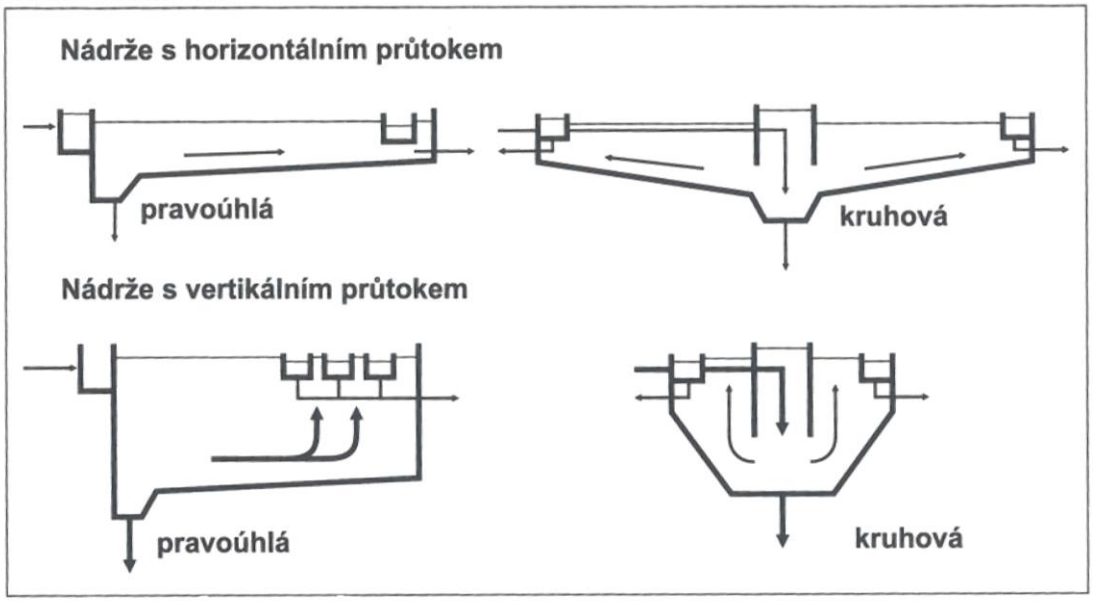
Kromě čistíren odpadních vod se lapáky tuků a olejů užívají i přímo u zdrojů znečištění. Těmi jsou průmyslové závody a především potravinářský průmysl a služby spojené s gastronomií. Dodržování limitů vypouštění kontroluje vodoprávní úřad. Důležitost této povinnosti spočívá v problému shlukování tuků a olejů již v kanalizaci, kde dochází k jejímu následnému ucpávání. [17]

Podle vlastností tuky rozlišujeme na shluky, aglomeráty, slepeniny, dále pak na plovoucí nebo suspendované částice tuků a jako poslední možnost jsou to emulgované částice tuků. První, tedy koncentrovaná možnost, je vždy výsledkem havárie, čištění či jiné nešetrné manipulace. Často způsobí zacpání česlí a jedinou možností nápravy je mechanické odstranění. Oproti tomu plovoucí a suspendované částice se do sítě dostávají pravidelným vypouštěním z domácností. Emulgované částice jsou znatelné hlavně během posledních let, jako výsledek hojného užívání nových typů tuků. [18]

Co se týče konstrukčního členění, jedná se o nádrž, jež má na vtokové a výtokové části nornou stěnu. Výtok je ve dně, což ještě posiluje čistící účinek. Velice účinná je v tomto případě také flotace. U ní se po vynesení na hladině tvoří pěna z bublinek a tukového znečištění, která je stírána do jímky. [17]

3.2.5 Usazovací nádrže

Usazovací nádrže užívají sedimentačního jevu k vyčištění suspendovaných látek obsažených v odpadní vodě. V základním dělení rozeznáváme dva druhy. Těmi jsou primární usazovací nádrže a sekundární dosazovací nádrže. Primární můžeme dále rozdělovat dle typu průtoku na pravoúhlé s horizontálním průtokem, pravoúhlé s vertikálním průtokem, kruhové s horizontálním průtokem, kruhové s vertikálním průtokem, štěrbinové usazovací nádrže s kalovým prostorem, lamelové a etážové. Každá usazovací nádrž je svou hloubkou a šířkou přesně navrhována na potřebnou dobu zdržení. [18]



Obr. 3.1 – Rozdělení primárních usazovacích nádrží dle průtoku [17]

V každé z výše uvedených nádrží rozeznáváme různá vybavení a místa, která jejich účinek ještě vylepšují. První možností z nich je vtokový objekt. Jedná se o součást objektu, která má za cíl rovnoměrně rozdělit a uklidnit nově přitékající vodu, aby nenarušila laminární proudění v nádrži. U jednotlivých nádrží se jedná o přítokový žlab s nornou stěnou, mimořádně flokulační žlab a u nádrží s vertikálním průtokem je to rozdělovací válec. Další z objektů je objekt odtokový. Jedná se o pilovitou přepadovou hranu, která zajišťuje rovnoměrný odtok vody z nádrže. Jí je předřazena norná stěna a odtokový žlab. Posledním objektem je zařízení na stírání kalu. To slouží jednak ke stírání kalu ze dna a také k odstraňování plovoucích látek z hladiny. Existují v provedení řetězového shrabovacího zařízení, pojízdného shrabovacího mostu, otočného shrabovacího mostu, shrabovacího systému Zickert a hydropneumatického shrabování hladiny. [18]

Primární (usazovací) nádrže

Jsou nezastupitelnou součástí každé čistírny odpadních vod. Jejich činností je odstraněno největší procento jak celkového zatížení, tak znečištění daného ukazatelem BSK_5. Dále chrání následující části čistícího procesu před nadměrným zatěžováním a celkově vylepšují složení vody. Jejich hladina je stírána a nečistoty dále zpracovávány. [18]

Sekundární (dosazovací) nádrže

Jejich základním účelem je oddělení vloček aktivovaného kalu od odpadní vody tak, aby mohl být recirkulován nebo dále čištěn. Kromě toho mohou sloužit k čištění suspendovaných látek terciárního čištění. Jejich hladina není na rozdíl od primárních nádrží stírána. [18]

3.3 Biologická část ČOV

Jedná se o základní část každé čistírny odpadních vod. Může být samostatná nebo s předřazeným mechanickým předčištěním, případně s terciárním dočištěním. V podstatě jde o odstraňování neusaditelných koloidních a organických látek. Toho je docíleno bakteriemi, které je užívají k získání energie. Výsledkem jejich působení je vznik hlavně oxidu uhličitého, vody a často amoniaku. Dalším důležitým aspektem je odstraňování biogenních prvků, především fosforu a dusíku. V určitých případech, především u průmyslových vod, ale může docházet k nedostatku těchto látek ve vodě a potom je naopak třeba tyto látky dodat. [5]

Odstraňování může probíhat v přírodě blízkých podmínkách. Potom se jedná o kořenové čistírny odpadních vod. Ty se využívají především v odlehlých lokalitách s malým přítokem vod. U komunálních čistíren odpadních vod se užívá v drtivé většině umělý způsob čištění. Tento typ je možné následně rozdělit dle umístění biomasy, která obsahuje zmíněné bakterie. Dělíme jej na způsoby s biomasou ve vznosu, tu nazýváme aktivace, a s biomasou přisedlou. [18]

Dalším neméně důležitým faktem je rozdělení biologického čištění do sekcí. První z nich je oxická čili kyslíkatá oblast. Zde je stěžejní podmínkou přítomnost kyslíku. Ten je proto do nitrifikační části často uměle dodáván provzdušňováním. Hlavní funkcí této zóny je oxidace organických látek. Následuje zóna anoxická. Bez přítomnosti kyslíku ve vodě jsou zde redukovány látky s obsahem dusíku, probíhá tedy denitrifikace. V neposlední řadě existuje ještě zóna anaerobní. „Konečným akceptorem elektronů je vlastní organická látka, část molekuly se oxiduje a část redukuje, probíhá zde depolymerace polyfosfátů, desulfurace, anaerobní acidogeneze, methanogeneze.“ [5]

3.3.1 Aktivace

Základní podmínkou procesu aktivace je vytvoření aktivační směsi. Jedná se o směs skládající se z odpadní vody a aktivovaného kalu. Pod pojmem aktivovaný kal se rozumí mikroorganismy, prvoci a dále k tomu počítáme i inertní nerozpuštěné látky a nerozložitelné organické látky. [3]

Základní schéma pak tvoří již aktivovaný kal, který se vrací do aktivační nádrže z dosazovací nádrže. V té je oddělován od vyčištěné odpadní vody, která je vypouštěna do recipientu, případně dočišťována. Tento vratný kal je přiváděn dle typu aktivace nejčastěji na začátek aktivační nádrže, kde se mísí s přítokem odpadní vody. Po průchodu aktivací již opět vytvoří biomasu a koloběh se opakuje. Přitom tuto biomasu je kvůli její kontinuální tvorbě nutno neustále odstraňovat. Samotná kvalita aktivovaného kalu pak závisí na látkách obsažených v odpadní vodě a návrhových parametrech aktivačních nádrží, jako je doba zdržení, přítok a jiné. Nezřídka je také užíváno aktivačního kalu z jiné, již existující aktivační linky pro tvorbu nové. [18]

3.3.2 Nutrienty

Jak bylo zmíněno, v odpadních vodách se často ve vyšších koncentrácích vyskytují různé nežádoucí prvky rozmanitých forem. V případě nutrientů je tím míněn dusík a fosfor. Tyto dva prvky nežádoucím způsobem ovlivňují vyčištěné odpadní vody. Jedná se především o nadměrný růst sinic a řas ve vodách. Dále pak o zhoršení kvality vody, ovlivňující další zpracování na vodu pitnou, toxicitu pro ryby v recipientu a v neposlední řadě také o zvýšenou koncentraci dusičnanů ve vodě, která má prokazatelně negativní vliv především pro kojence. Růst sinic a řas je způsoben eutrofizací. Eutrofizací nazýváme proces, kdy zvýšeným obsahem nutrientů a lidskou činností (především splachováním hnojiv do vod) vytváříme prostředí vhodné pro šíření sinic, řas a mikroorganismů. Tento jev je ještě markantnější u stojatých vod. [5]

3.3.3 Odstraňování dusíku

Odstranění dusíku můžeme dosáhnout dvěma způsoby. Biologickým, tedy nitrifikací a denitrifikací v aktivačním procesu, nebo fyzikálně-chemickým způsobem, který je prováděn především pomocí stripování vzduchem, chlorací, zachycováním na měničích iontů a membránami. V naprosté většině případů však užíváme způsob první. [18]

Principem aktivačního odstranění je nejprve zařazení nitrifikace. Během této fáze se amoniak, který je jako forma dusíku běžně obsažen v odpadní vodě, oxidován bakteriemi rodu

Nitrosomonas a Nitrosococcus na dusitany (1). Poté bakterie rodu Nitrobacter a Nitrocystis zoxidují dusitany na dusičnany (2). V této fázi je velmi podstatný obsah kyslíku rozpuštěného ve vodě. Udává se, že pod 1 mg/l již není možný průběh nitrifikace. Dalším důležitým jevem během nitrifikace je snížení alkality a tím i pH, které má také zásadní vliv na průběh. Často je tedy nezbytné přidávání vápna pro jeho korekci. [5]

$$Nitrosomonas\ 2\,NH_4^+ + 3O_2 > 2\,NO_2^- + 4H^+ + 2\,H_2O \quad (1)$$

$$Nitrobacter\ 2\,NO_2^- + O_2 > 2\,NO_3^- \quad (2)$$

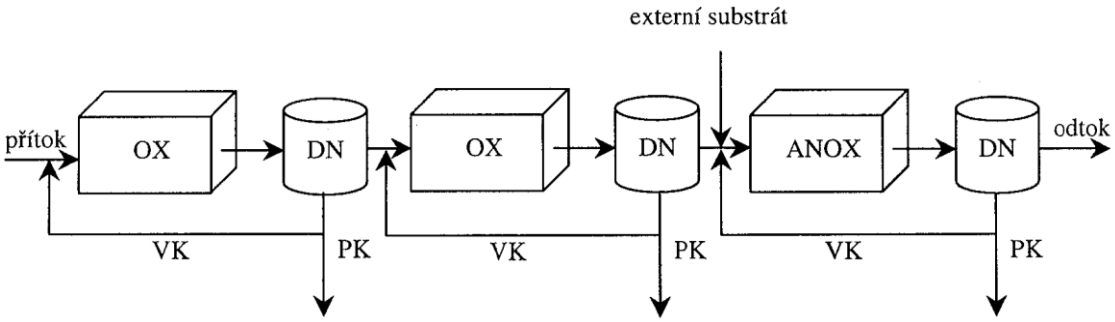
Ve druhé fázi je směs přivedena do denitrifikačního cyklu. Zde na rozdíl od nitrifikace musíme dodržovat přísně anoxické prostředí. „Tento mikrobiální proces je výsledkem metabolické činnosti chemoorganotrofních aerobních bakterií, které při rozkladu organických látek využívají jako akceptor elektronů molekulární kyslík, ale v jeho nepřítomnosti jsou schopny využít náhradní akceptory elektronů, a to dusitany a dusičnany.“ [18] Tato fáze nejdříve redukuje dusičnany na dusitany a následně dusitany na dusík a oxid dusný, který je již v odpadní vodě neškodný. [18]

$$NO_3^- + 2\,H^+ + 2\,e^- > NO_2^- + H_2O \quad (3)$$

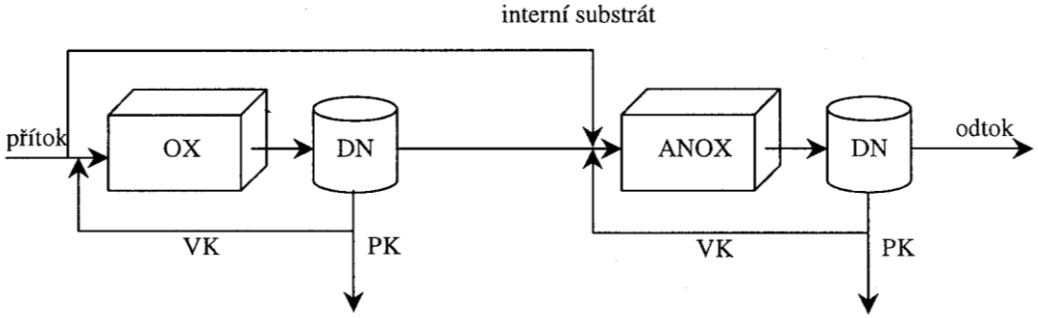
$$2\,NO_2^- + 8\,H^+ + 10\,e^- > N_2 + 4\,H_2O \quad (4)$$

Existují tři možnosti uspořádání aktivace v závislosti na odstraňování dusíku. První možností je separace nádrže pro odstranění organického znečištění, nádrže pro nitrifikaci i nádrže pro denitrifikaci. Druhou alternativou je sloučení nitrifikace a odstranění organického znečištění do jedné nádrže. Posledním typem je sloučení všech nádrží do jedné. [5]

Dalším hlediskem klasifikace je dle počtu recyklů v procesu aktivace. Podle počtu opakování je dělíme na tříkalové, dvoukalové a jednokalové systémy. Tříkalové a dvoukalové systémy se v České republice hojněji nevyskytují z důvodu nepřiměřených nákladů, záborů a realizace. [5]

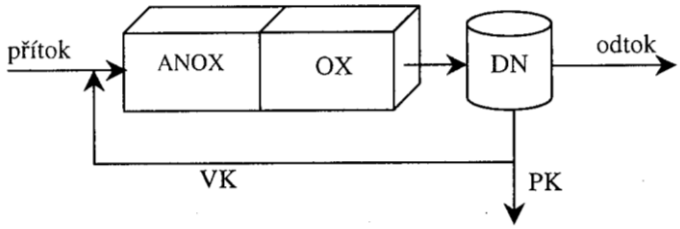


Obr. 3.2 – Tříkalový systém [6]

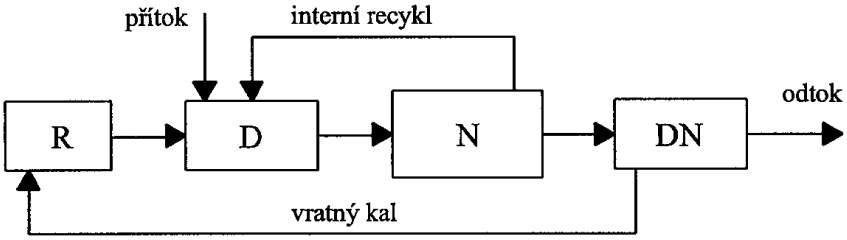


Obr. 3.3 – Dvoukalový systém [6]

Na obrázcích 3.2 a 3.3 jsou zobrazeny typy takzvaného postdenitrifikačního procesu čili denitrifikace je zařazena až na závěr procesu. V poslední době jsou však stále častěji užívané systémy s predenitrifikací. Jako je Wuhrmannův proces na obrázku 3.4. V něm je zdrojem energie pro denitrifikaci zbytková organická hmota v kalu a endogenní respirace. U obou případů je vidět i vedení vratného a přebytečného kalu. Často také dochází k přetížení dosazovací nádrže. Tomu se naopak vyhýbá Ludzack-Ettingerův proces zavedením interní recirkulace. Ten je základním typem aktivačního procesu označovaný jako D-N systém. Nevýhody v podobě nedostatečného čištění a vysoké nákladovosti odstraňuje modifikace v podobě R-D-N systému. Zde je vratný kal po absolvování aktivačního procesu regenerován ve vlastním reaktoru, což výrazně zlepší jeho aktivační vlastnosti dle obrázku 3.5. Systém byl v průběhu času dále modifikován a vylepšován dalším selektorováním jednotlivých nádrží na specifické zóny. Kromě tohoto nejčastějšího typu stojí za zmínku proces Bardenpho, ve kterém figuruje zdvojení anoxické a oxické zóny, či alfa proces, ve kterém jsou sériově za sebou řazeny vícekrát nádrže s anoxickou a oxickou zónou. Za zmínku ještě stojí SBR reaktor, ve kterém se zóny střídají ovládáním jedné nádrže, dále pak simultánní denitrifikace, v níž se oxická a anoxická zóna neustále střídá cirkulací a na úplný závěr pak Bio-Denitro proces, který je realizován pomocí postupně protékaných samostatných příkopů. [6]



Obr. 3.4 – Wuhrmannův proces [6]



Obr. 3.5 – R-D-N systém [6]

3.3.4 Odstraňování fosforu

Fosfor je prvek využívaný nižšími a vyššími organismy. Po úhynu organismu se fosfor uvolní zpět do prostředí. Celkový fosfor obsažený ve vodě se dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný. Dalším možným dělením je na organický a anorganický. Za hlavní formy se považují soli kyseliny fosforečné, polyfosforečnany a organicky vázaný fosfor. Odstraňovat fosfor je možné buď biologicky, anebo fyzikálně-chemicky. [18]

Chemické odstraňování

V případě chemického odstraňování jde o vysrážení fosforu přidáním železitých, železnatých nebo hlinitých solích. Další možností je užít vápno. V případě vápna ale musíme zpětně regulovat pH, abychom nepřekročili limity. Samotný proces probíhá po přidání srážedla, kdy započne tvorba vloček a posléze agregátu. Tyto celky jsou pak v dalším stupni snadno odstraňovány. Srážení může probíhat v primárním, sekundárním i terciárním stupni čištění s různými výhodami i nevýhodami. [18]

Biologické odstraňování

Při základním procesu aktivace je obsah fosforu v aktivovaném kalu asi 2 %. Procento odstranění můžeme zvýšit vytvořením vhodných podmínek pro bakterie poly-P typu z rodu Acinetobacter. Tyto podmínky obnáší střídání anaerobních a oxických podmínek. Výsledkem je pak zvýšená akumulace ve zmíněných bakteriích, a tím i obsah fosforu v aktivovaném kalu a sice 9 – 10 %. [5]

3.3.5 Hlavní typy aktivace

Aktivace směšovací

Typ aktivace, ve kterém je daná nádrž rovnoměrně rozmíchána a provzdušněna. Nejčastěji má nádrž čtvercový tvar. Veškeré koncentrace, jak kyslíku, tak aktivovaného kalu, by měly být stejné v každém místě nádrže. Hlavní výhodou tohoto typu je dobré zpracování nárazového znečištění, to je však vykoupeno zvýšeným růstem vláknitých organismů. [18]

SBR reaktor

I v tomto případě je aktivace prováděna v jedné nádrži. Na rozdíl od aktivace směšovací jsou ale jednotlivé části cyklu postupně prováděny po sobě. [18]

Aktivace s postupným tokem

Jedná se o aktivaci, kdy odpadní voda je přiváděna na začátek dlouhého úzkého koryta, kde se mísí s vratným kalem. Koncentrace aktivovaného kalu je po celé délce téměř stejná, naopak podíl organické hmoty ve směsi a spotřeba kyslíku v průběhu klesá. [6]

Aktivace odstupňovaná

Obdoba aktivace s postupným tokem, jen je vzduch přiváděn úměrně ke spotřebě vzduchu (zpočátku nádrže největší a klesá). [6]

Postupně zatěžovaná aktivace

V tomto případě je přívod odpadní vody rozmístěn rovnoměrně po celé aktivační nádrži, tím se vyrovná i spotřeba kyslíku, ale koncentrace aktivovaného kalu v nádrži je pak po délce různá. [18]

Aktivace s oddělenou regenerací kalu

Tento typ vznikl ze zjištění, že stěžejním jevem při odstraňování organických látek je adsorpce. Po odtoku z dosazovací nádrže se aktivovaný kal vede do regenerační nádrže, kde zůstává 2 až 4 hodiny. Zde je intenzivně provzdušňován, a tím jsou opětovně zvýšeny jeho účinky v aktivační směsi. [17]

Aktivace se zkrácenou dobou zdržení

Vychází ze standardní aktivace, ale doba zdržení je kratší, a proto musí být zatížení kalem větší.

Rychloaktivace

Zde se užívá opět větších zatížení aktivovaného kalu. To má za následek krátké doby zdržení a malé objemy aktivačních nádrží. Není výhodná ani ekonomicky, ani kvalitativně. [6]

Dlouhodobá aktivace s aerobní stabilizací kalu

Doby zdržení v tomto způsobu aktivace se pohybují v rozmezí 24 až 48 hodin. Tím dochází k malému zatížení aktivovaným kalem. Kal stále více umírá, a proto je ho velmi málo a dále se anaerobně nevyužívá. [6]

Aktivace s cirkulací aktivační směsi

Je tvořená uzavřenou nádrží, jíž směs obíhá a prochází tak oxickými a anoxickými zónami. Oběh zajišťuje aerační zařízení, které je zároveň zdrojem přísunu kyslíku. [17]

- ***Oxidační příkop***

S dobou oběhu okolo pár minut. Hloubka příkopu je přibližně 1 m. Zóny jsou realizovány u dna. [17]

- ***Oběhová aktivace***

Přístup jako k dlouhodobé aktivaci. Oproti příkopu má větší hloubku a doba oběhu se pohybuje v desítkách minut. Často se přistupuje k návrhům, které oddělují zařízení pro cirkulační pohyb směsi a přívod kyslíku. Je výhodná v případech vysokého odstraňování dusíku. [18]

Šachtová aktivace

Jedná se o rouru s délkou v rozmezí 30 až 150 m a průměru 0,7 až 6 m. Do ní je vložena přepážka či jiná roura. Aktivační směs se zde pohybuje v oddělených zónách nahoru a dolu na základě rozdílu hustot. Kyslík je přiváděn přibližně doprostřed nádrže odděleně do každé ze zón. [18]

Věžová aktivace

„K vlastnímu reaktoru je připojena kónická prstencová dosazovací nádrž. Výhodou je vysoké využití vzduchu (60 – 80 %) a malý zábor půdy.“ [18]

Selektorová aktivace

Jedná se o typ, kde je užito přepážek k vytvoření zón (selektorů). Aktivační směs pak nepřechází z požadovaných zón. [18]

3.3.6 Biofilmové reaktory

Vychází z principů aktivačního procesu, což zahrnuje účast aerobních mikroorganismů, nutnost účasti kyslíku a rozkladu organické hmoty mineralizací. Hlavní rozdílem je fakt, že směsná kultura, která je u aktivace ve vznosu, je zde přisedlá v podobě biofilmové blány na reaktoru. Tento způsob byl již dávno vypozorován z přírody. Organismy přisedlé na kamenech vodních toků totiž vždy zajišťovaly jakýsi samočisticí aparát vody. Člověk tento děj jen přetvořil k obrazu svému. [21]

Samotné reaktory můžeme dělit z několika hledisek, dle stavu nosiče na pevný a pohyblivý nosič, podle směru průtoku a jeho doby kontaktu s reaktorem na skrápěné, ponořené a rotační. Dále pak v závislosti na typu náplně je dělíme na reaktory s objemovou a plošnou náplní. Mezi objemové náplně patří kamenivo, vápenec a vysokopevnostní struska. Naopak mezi plošné náplně řadíme plasty a porcelán. Látkové objemové zatížení pak určuje nízkozatěžované a vysokozatěžované filtry. Dalším hlediskem dělení je dle užité aerace na přirozenou a nucenou a v neposlední řadě rozdělujeme technologické schéma reaktorů na jednostupňové, dvoustupňové a vícestupňové. [6]

V závislosti na výše uvedeném dělení se vyprofilovaly tři nejčastější typy biofilmových reaktorů. Kromě těchto níže uvedených typů je ještě často užívaná kombinace aktivace a reaktoru s biomasou.

Skrápěné biologické kolony

Zde je voda kropena shora na náplň kolony. Po styku s biofilmem v nepravém dně se voda čistí a odtéká průtočným dnem. Kyslík je zde přiváděn přirozeně nebo dmýcháním. Skrápěné biologické kolony patří k nejstarším, a nutno podotknout osvědčeným, typům s čistícím účinkem okolo 80 % odstraněného znečištění. [17]

Ponořené biologické kolony

„Mezi ponořené biologické kolony patří např. technologie BIOSTYR. Pracuje na principu biofiltrace“. [18] Jedná se o proces, při kterém proud čištěné vody stoupá vzhůru přes 2 až 4 milimetry vysokou vrstvu polystyrenu. Hlavními výhodami biologických kolon jsou především malé zábory prostoru, bezproblémový průchod kalu a kvalita čištění. [4]

Rotační biofilmové reaktory

Jedná se o reaktor válcovitého tvaru, který se otáčí na horizontální ose. Nutno podotknout, že je jen částečně ponořen do vody. Přisedlá biomasa se pak při otáčivém pohybu

střídavě vynořuje a je vystavena tolik potřebnému kyslíku. Po odumření je samovolně odplavována během ponořené fáze. Pro dostatečný účinek čištění okolo 90 % je nutno zařadit několik za sebou fungujících reaktorů. Za zmínku také stojí, že na rozdíl od skrápěných biologických kolon není nutné zavádět recirkulaci. [18]

3.4 Aerační systémy

Jak bylo výše řečeno, zcela zásadním faktorem je přístup kyslíku k aktivační směsi. Ten může často probíhat zcela přirozeně. V některých případech však volíme řešení, kdy se nucenou aerací snažíme zabezpečit hladký průběh samotného aktivačního procesu. A to jednak kvůli spotřebě kyslíku mikroorganismy, ale také kvůli docílení stejnorodosti aktivační směsi.

Rozlišujeme tři základní typy aeračních systémů. Ty se pak v praxi často kombinují. [6]

- ***Pneumatická aerace pomocí stlačeného vzduchu***
- ***Mechanická aerace s mechanickými aerátory***
- ***Hydropneumatická aerace fungující na bázi ejektorů a injektorů***

3.5 Terciární stupeň čištění

Jedná se o stupeň dodatečného dočištění vod po biologickém stupni. Většinou jde o požadavek vodoprávního úřadu na větší kvalitu vypouštěné vody v důležitých lokalitách. To představuje nejčastěji odstranění zbytkových nerozpuštěných látek. Nyní následuje výčet nejznámějších metod užívaných v terciárním stupni. Kromě nich dále existuje množství dalších metod vylepšujících kvalitu vypouštěných vod. [17]

Zemní filtry

Jedná se o vícevrstevnaté uskupení skládající se z rozváděcí vrstvy, filtračních vrstev a spodní drenáže odvádějící vodu. Voda prochází jednotlivými vrstvami a přitom je od okolí izolována vrstvou fólie s geotextilií. Tento způsob slouží k dočištění zejména splaškových vod a vod jim podobných. [17]

Vegetační čistírny

Slouží k dočištění zbytkového znečištění za biologickou linkou pomocí přírodě blízkých způsobů.

Stabilizační nádrže

Často nazývané biologické rybníky. Fungují na principu spolupůsobení autotrofních a heterotrofních organismů. Rozlišují se anaerobní, oxidační a provzdušňované. U oxidačních dochází k zajímavému jevu rovnováhy aerobních fotosyntetických jevů u hladiny a anaerobních rozkladných jevů u dna. To vytváří příkladný symbiotický vztah stabilizující organické látky. Kromě tohoto příznivého účinku navíc poskytují mnoho vedlejších účinků, jako jsou rekreační a sídlištní podmínky. To vše za minimálních nákladů a údržby. [1]

Dočišťovací gravitační nádrže

Klasické usazovací nádrže fungující na základě gravitační síly. Často vytvářeny z původně jiných objektů čistíren. [17]

Mikrosítové filtry

Mají nejčastěji tvar válce. Filtračním prostředkem je plachetka s otvory velikosti 0,04 mm. Přes ně je pak filtrována čištěná voda. Tímto procesem se však plachetka zanáší, a proto je zde zavedena sonda, která měří hladinu, a tím i nepřímo odpor hromadícího se nánosu. V případě dosažení kritické meze je zahájen čistící cyklus. Samotný mikrosítový filtr může být užíván v trvalém nebo automatickém módu. [17]

Pískové filtry

U procesu pískové filtrace je nejdůležitější zvolit vhodný cyklus praní pro vyčištění filtračních vrstev, přes které prochází voda.

Fyzikálně – chemické metody

Děje a procesy vycházející z postupů užitých v úpravnách vod. „Mezi ně lze řadit čiření koagulaci, srážení), neutralizaci, oxidaci a redukci, sorpční procesy (např. na aktivním uhlí), procesy založené na výměně iontů, extrakci (např. fenolu), odpařování, spalování (silně koncentrované odpadní vody), vyváření (např. NH_3).“ [18]

3.6 Kalové hospodářství

Nakládání s kaly je jednou z nejdůležitějších činností každé čistírny. Nejenom že se jedná o velké hygienické nebezpečí, zároveň jejich zpracování představuje až 40 % rozpočtu pro údržbu čistírny. Stanovení obsahu kalu se zjišťuje jeho vysušením při teplotě 105 °C. Výsledná sušina se skládá především z látek suspendovaných a z menší části i z látek původně

rozpuštěných. Kromě nich jsou zde také hojně zastoupeny patogenní zárodky, které představují extrémní hygienické riziko. Společně s biologicky odstranitelnými látkami představují hrozbu, kterou je nutno eliminovat stabilizací kalu. [18]

3.6.1 Typy kalů

Primární kal

Pod pojmem primární kal se rozumí kal z dosazovacích nádrží či jiných separačních objektů. Obsahuje asi 2 – 5 % sušiny a tvoří ho především suspendované látky. Je převážně biologické povahy, ale to je odlišné v případě účasti například chemické koagulace v primárním stupni čištění. [6]

Přebytečný (sekundární) kal

Jedná se o kal z biologické linky, čili z aktivace či bioreaktorů. Tento kal je ovlivněn především odpadní vodou, ale také užitou technologií čištění. Obsah sušiny je 0,5 – 1,5 %. [18]

Chemický (terciární) kal

Je kal odváděný nejčastěji z terciárního stupně čištění, ale také například kal vzniklý po chemickém srážení. [18]

3.6.2 Zpracování kalu

Proces zpracování kalu se skládá z několika po sobě jdoucích etap. Ke zpracování se přistupuje především z důvodu zabezpečení jeho nezávadnosti a také kvůli možnosti jeho opakovaného užití.

Etapy:

Odebrání kalu ze systému

Zahušťování kalu

Hlavním účelem zahuštění je snížení objemového množství kalu, zvýšení jeho koncentrace, a tím snížení nákladů spojených s manipulací, zpracováním a likvidací. Mezi metody zahuštění patří zejména užití gravitace, flotace a strojní zpracování. [18]

Předúprava kalu

Cílem je příprava kalů před stabilizací. Toho se dosahuje rozbitím substrátu na menší částečky. Zajímavostí je, že zároveň dochází k rozbití mikroorganismů, které uvolňují lyzát, jenž je emulzí, která ještě více stimuluje procesy stabilizace. [6]

Stabilizace kalu

Ve své podstatě se jedná o přípravu kalu pro další stupně zpracování. To obnáší přeměnu organických látek na minerální nebo těžko odbouratelné látky. Během této etapy již neprobíhají intenzivní biologické procesy a kal je nezávadný. [6]

Stabilizace může být dosažena jedním z následujících způsobů: [18]

- ***biologickou stabilizací s aerobními nebo anaerobními podmínkami,***
- ***chemickou stabilizací,***
- ***termickou stabilizací,***
- ***kompostováním.***

Odvodňování kalu

V této etapě dochází k dalšímu odstranění vody z kalu v rozmezí 50 až 80 %, což má za výsledek finální obsah sušiny 20 – 50 %. Po této úpravě lze s kalem velmi dobře manipulovat a lze jej převážet otevřenými vozidly. Způsoby odvodňování dělíme na přirozené a strojní. Mezi přirozené řadíme kalové pole a kalové laguny.

- ***Kalové pole***

Jedná se o nádrž s betonovým dnem, na kterém je uložena vrstva štěrkopísku s drenážním potrubím. Na ní se napustí vrstva odvodňovaného kalu o hloubce 20 – 40 cm. Po odvodnění je kal odtransportován k dalšímu zpracování. [6]

- ***Kalové laguny***

Jedná se o obdobu kalových polí s ještě větší náročností, co se týče záboru plochy, času i peněz. Kal je zde napouštěn do výšky 0,7 – 1,5 m a odvodnění může trvat i celý rok. [6]

- ***Strojní odvodnění***

Oproti přirozeným způsobům má viditelné výhody v menších nárocích na místo a finance. Důležitým faktem je nutnost důkladné předúpravy odvodňovaného kalu jeho agregací do makrovloček. Jen za této podmínky může být odvodnění účinné. Mezi strojní odvodnění patří především sítopásové lisy a kalolisy. [18]

- ***Finální zpracování kalu***

Dle povahy zpracovávaného kalu je možno s ním naložit rozličnými způsoby. Pravděpodobně nejbezpečnějším způsobem je spalování. Jedná se o kvalitní hygienické zabezpečení. Poté může být dále užit ve stavebních materiálech. Další možností je

skládkování. Základním předpokladem je dostatečné odvodnění a nezávadnost kalu. Toto řešení není tak ekologické jako jiné způsoby, a proto jej nepreferujeme. Poslední možností je využití kalu v zemědělství a rekultivaci krajiny. Také zde musí být důsledně kontrolována nezávadnost, odvodnění, ale také obsah nebezpečných látek. Díky tomuto způsobu navracíme půdě odebrané látky. [18]

3.7 Doplňkové vybavení čistíren

Kromě všech výše uvedených součástí čistírny odpadních vod obsahují také mnoho dodatečného vybavení, ať už se jedná o stavební, technologické či elektroinstalační objekty. Níže zmíním jen ty nejdůležitější části, které nechybí na téměř žádné čistírně.

Rozdělovací objekty

Jedná se o součást většiny čistíren, která má za úkol rovnoměrné rozdělení toku vody na jednotlivé linky či nádrže. Hlavními zástupci jsou kašnový přeliv a rozdělovací klín. V případě kašnového přelivu jde o objekt kruhového či obdélníkového tvaru, do kterého ze spodu natéká voda a rovnoměrně vytvořenými otvory na vrchu se rozlévá do uzavíratelných sekcí. Na rozdíl od toho se rozdělovací klín vkládá do prostřední části proudu vody. [17]

Čerpání

Jsou zařízení, která slouží především k zvýšení výšky hladiny při špatné konfiguraci terénu a k transportu materiálů na čistírnách. Třemi základními typy jsou šneková čerpadla, odstředivá čerpadla a mamutka. U šnekových čerpadel je podstatou šroubovice, která je umístěna v zatrubněné části (princip Archimédova šroubu). V meziprostorech pak dokáže čerpat poměrně velká množství vody a materiálu. Odstředivá čerpadla často fungují na principu oddělení mokré a suché sekce. V suché sekci jsou umístěna čerpadla, v mokré je pak umístěno sání čerpadel a čerpaná voda. Je zde také možnost užít čerpadla ponorná, což vyústí v absenci suché jímky. Mamutka funguje na principu vhánění stlačeného vzduchu, který spolu s vodou vytvoří směs o nízké hustotě, která stoupá vzhůru. [18]

Měření průtoků

Měření průtoků na čistírnách probíhá nepřímými metodami, kterými změříme výšku hladiny a z ní jsme pak výpočty schopni stanovit průtok. Prvním způsobem je měrný přepad, kdy pomocí nám známé hrany přepadu dopočítáme průtok. U druhého způsobu měrných přelivů je užíván zcela potopený profil, kdy z hladin před a za ním opět dopočítáme průtok. A konečně poslední způsob měrných průtokových žlabů je založen na zaškrcení proudu nám

známým měrným profilem koryta, pomocí něhož snadno dopočítáme hodnotu průtoku. Obzvlášť s typem Parshall se jedná o jednu z nejpoužívanějších metod. [18]

4 Čistírna odpadních vod Královice

4.1 Základní specifikace

Čistírna odpadních vod Královice se nachází na území městské části Praha – Královice. Geograficky leží na strategické pozici mezi obcemi Praha – Královice a Praha – Hájek. Spadá pod katastrální území Královice (672629). [8] Systémem odkanalizování je oddílná splašková a oddílná dešťová kanalizace. S odkanalizováním pomocí splaškové kanalizace bylo započato roku 1994. Kanalizace dešťová se nachází v původním, dosti zchátralém stavu ze 70. a 80. let a odvádí dešťové vody rovnou do recipientu. Délka splaškové kanalizace v dotčených obcích je více než 6 km, přičemž v obci Královice jsou tři čerpací stanice a v obci Hájek je umístěna jedna. Čistírna byla postavena společně s kanalizací od roku 1994. Mezi lety 2005 a 2007 pak prošla rekonstrukcí. Obsahuje dvě biologické linky s D-N systémem. Projektována byla na 637 EO. [7]

Obr. 4.1 – Vyznačení polohy ČOV Královice na ortofotomapě [11]

4.2 Technologická část ČOV a její zhodnocení

V této kapitole se pokusím detailně popsat stavebně-technologickou část čistírny odpadních vod a zhodnotit současný stav. Tento průzkum bude podkladem pro zhodnocení na základě limitů pro přítok a vypouštění ČOV Královice.

4.2.1 Přítok do ČOV

Odpadní voda je přiváděna hlavní kanalizační stokou „K Hájku“, která gravitačním způsobem dovádí vodu do čistírny potrubím profilu DN 300. Do této sběrné stoky jsou zaústěny pomocí spojné šachty výtlačné řády z lokalit Královice a Hájek, pokračuje dále opět profilem potrubí DN 300. Přes mechanické předčištění natéká voda gravitačně až do sběrné jímky čerpací stanice, odkud je čerpána do biologického stupně čištění. [15]

4.2.2 Mechanické předčištění

Po nátoku do ČOV vstupuje odpadní voda na česle. Jsou zde jemné česle s automatickým strojním stíráním řízeným autonomní jednotkou umístěnou přímo v objektu mechanického předčištění. Shrabky jsou odstraňovány česlemi Hydropress SS 900 do kontejneru pomocí šnekového dopravníku ŠD 250, který shrabky zároveň odvodňuje. Je zajímavostí, že oproti obvyklým zvyklostem, je celé mechanické předčištění postaveno pod venkovním dřevěným přístřeškem bez stěn. Předčištění zároveň zahrnuje nouzový obtok přes ručně stírané česle. [15]

Obr. 4.2 – Detail mechanického předčištění se strojními česlemi a obtokem

4.2.3 Odlehčovací objekt

Po průchodu mechanickým předčištěním splašky gravitačně natékají přes odlehčovací komoru do jímky čerpací stanice. Ta v případě nadměrných průtoků vede nevyčištěnou vodu přímo do recipientu. [15]

4.2.4 Biologická část

Z mechanického předčištění je odpadní voda vedena do čerpací stanice, která obsahuje přepážku pro vytvoření pískové jámy. Ta slouží k hromadění sedimentů. Jímka je sice v komplexu budovy čistírny, ale mimo zastřešené prostory. Z jímky je čerpadly voda vedena do denitrifikační nádrže. Ta je zabudována v pochozí části uprostřed budovy. Z denitrifikace je voda vedena do dvou biologických linek, které obě mají nitrifikační nádrž a dvojici dosazovacích nádrží. V objektu čistírny se také nacházejí dvě dmýchány. Ty zajišťují nucenou aerací požadované parametry obsahu kyslíku v aktivaci, která je dále hlídána oximetry. Vše je opět řízeno automaticky. Z nitrifikace natéká voda přes rozdělovací objekt do dosazovacích nádrží uklidňovacím válcem. Dosazovací nádrže obsahují pilovitě zakončenou hranu s předsazenou nornou stěnou pro zamezení úniku plovoucích látek z dosazovacích nádrží. Vývod pak ústí potrubím do venkovního betonového žlabu. Zároveň v dosazovacích nádržích funguje systém sběru plovoucích nečistot a jejich odvod zpět do nitrifikačního stupně. [15]

Obr. 4.3 – Nitrifikační nádrž s dvojicí dosazovacích objektů

4.2.5 Odtok a kalové hospodářství

Z biologické části voda odtéká ven z budovy do betonového žlabu, kde se shromažďuje odtok ze všech čtyř dosazovacích nádrží. Ten pak usměrňuje průtok do standardního měřícího zařízení typu Parshallova žlabu. Ten naměřené hodnoty odesílá do centrální řídící jednotky a zároveň na centrálu Pražských vodovodů a kanalizací, a.s. [9] Po průtoku měrným žlabem vytéká do průtočného rybníku Markétka na řece Rokytce.

Kal z dosazovacích nádrží se recirkuluje buď přímo do denitrifikačních nádrží, nebo do kalové jímky. Ta je opět umístěna mimo budovu vedle čerpacích jímek. Kalové hospodářství na čistírně není zřízeno, a proto je nutno pravidelného transportu kalu nejčastěji na ČOV Čertousy. Kal je po zpracování v drtivé většině případů skládkován s ohledem na možnost přítomnosti škodlivých látek. [9]

Obr. 4.4 – Venkovní část ČOV – Vlevo vývod a poklop do kalové jímky, uprostřed poklop k rozdělovacímu objektu pro nitrifikační nádrže, vpravo poklopy čerpací stanice

4.2.6 Zhodnocení stavební a technologické části

Po osobní návštěvě čistírny odpadních vod Královice jsem došel k názoru, že čistírna je ve funkčním, ale nedostačujícím stavu. Již provedení objektů mechanického předčištění mimo budovu není vhodným řešením, a to zejména z důvodu možnosti vniknutí vandalů na pozemek. A právě tento jev je v této lokalitě poměrně častý, což dokazuje přítomnost masivní závory na vchodových dveřích. Stejně tak je zde možnost dodatečného znečištění (větve, listí, odpadky). Obdobný problém je pak u Parshallova žlabu.

Obr. 4.5 – Vyústění dosazovacích nádrží do Parshallova žlabu

Co se týče vnitřního objektu, lze zde vidět vybavení adekvátní k požadavkům v době výstavby. I přes renovaci, během které bylo vyměněno množství nekvalitních dílů, jsou stále vidět možnosti ke zlepšení. Kupříkladu rozvod kyslíku z dmycháren nucené aerace je spojen do jednoho celkového potrubí. To ve výsledku způsobuje ne zcela rovnoměrné vhánění vzduchu do aktivačních nádrží. Dále se pak jedná o vnitřní místnosti. V místě aktivace by dle mého názoru měl vzniknout větší prostor pro manipulaci. To by mělo být řešeno v souladu s řešením prostoru pro obsluhu, protože ten je zde omezen na úzkou místnost mezi aktivacemi. Toto řešení není vhodné vzhledem k nutnosti denní kontroly obsluhou čistírny.

Dalším nepříznivým faktem je absence kalového hospodářství, a tedy nutnost transportu kalu na jiné čistírny. To provádí fekální vůz v pravidelném intervalu přibližně čtrnácti dní. [9] I přes relativní anaerobní stabilizaci představuje bezpečností riziko a ekonomickou zátěž.

V neposlední řadě jsou místy vidět drobné závady jako nedostatečné osvětlení, absence bezpečnostních prvků u nádrží či koroze.

Ač zde byla provedena rekonstrukce, čistírna nedostačuje jak po stavební, tak po technologické stránce, což se pokusím ověřit na základě parametrů vypouštěné vody. Situaci nenapomáhá ani fakt, že oblast je cílovou lokalitou hromadného přistěhování nových obyvatel, tudíž dochází k nárůstu přítoku odpadní vody a zpřísňování požadavků na její čištění.

4.3 Vyhodnocení kvality čištění na základě statistických dat

Na základě své žádosti jsem obdržel vzorky naměřených dat z čistírny odpadních vod Královice a jejich dovolených limitů. Tyto parametry nám dávají částečnou představu o znečištění vody a jeho vývoji v čase. Povolené limity byly stanoveny a uvedeny v tab. 4.1.

Tab. 4.1- Smluvní limity ČOV Královice [16]

PČOV Královice									
	Limity znečištění					**Hodnoty průtoku**			
Limit	BSK_5 mg/l	$CHSK_{Cr}$ mg/l	NL mg/l		$N\text{-}NH_4^+$ mg/l	Q_{24} m^3/d	$Q_{měs}$ $m^3/měs$	$Q_{max.bio.}$ l/s	Q_{rok} m^3/rok
p	15	75	20	průměr	10	285	15000	5.8	104000
m	30	140	30	m	20				
t/rok	0.7	3.3	0.9		0.75				

4.3.1 Vypouštěné hodnoty ČOV Královice pro rok 2016

Tab. 4.2 – Průtoky na ČOV Královice [16]

Bilance průtoků odpadní vody		
Leden	4315	m^3/měs
Únor	4370	m^3/měs
Březen	5867	m^3/měs
Duben	4478	m^3/měs
Květen	4638	m^3/měs
Červen	4789	m^3/měs
Červenec	4532	m^3/měs
Srpen	4358	m^3/měs
Září	4122	m^3/měs
Říjen	5158	m^3/měs
Listopad	4339	m^3/měs
Prosinec	4500	m^3/měs
Roční	55466	m3/rok
Denní	152	m^3/den

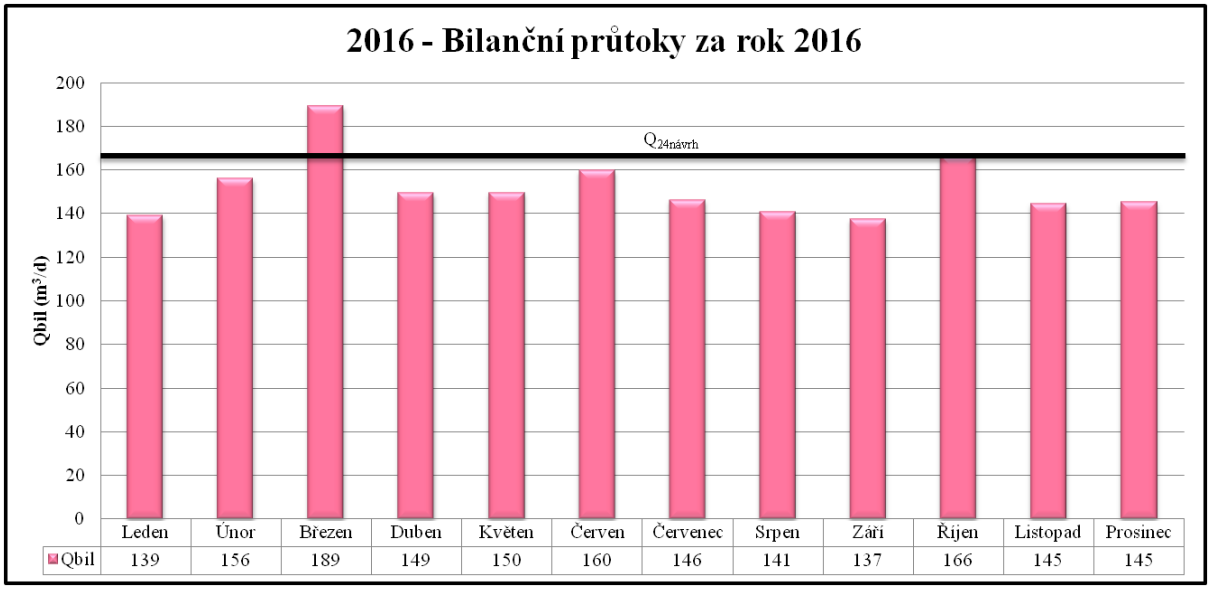
V předchozí tabulce jsou uvedeny naměřené hodnoty průtoků v jednotlivých měsících na odtoku a z nich následně dopočteny hodnoty roční a denní. Ze získaných dat dále vyplývá, že vzorky se z čistírny ČOV Královice odebírají v pravidelném intervalu jedenkrát měsíčně.

Tab. 4.3 – Vzorky vybraných parametrů odebrané z ČOV Královice za rok 2016 [16]

Vzorky odebrané z PČOV Královice v roce 2016				
Dny	BSK_5 (mg/l)	$CHSK_{Cr}$ (mg/l)	NL (mg/l)	$N\text{-}NH_4^+$ (mg/l)
~~11.01.2016~~	~~31.0~~	~~68~~	~~29~~	~~0.12~~
20.01.2016	2.3	31	15	0.12
08.02.2016	13.5	45	15	0.37
14.03.2016	5.5	41	6	0.12
11.04.2016	7.8	38	15	0.30
09.05.2016	3.9	39	9	0.56
13.06.2016	3.0	36	8	0.12
18.07.2016	3.0	39	8	0.12
08.08.2016	4.2	36	19	0.12
12.09.2016	2.9	46	14	0.24
10.10.2016	2.7	32	9	0.12
07.11.2016	3.8	39	11	0.50
05.12.2016	4.2	37	11	0.61
V roce 2016 překročen p-limit NL. Vzorek zařazen do technologických, provedena opatření, opakovaný odběr vzorku				

4.3.2 Vyhodnocení průtoků ČOV Královice

Z tabulek 4.1 a 4.2 lze usoudit, že jednotlivé limity jsou hluboko pod dovolenými maximálními průtoky stanovenými příslušným vodoprávním úřadem v jednotlivých časových úsecích. Z manipulačního řádu ČOV Královice ovšem plyne, že poslední rekonstrukcí byl návrhový průtok Q_{24} stanoven na 166 m^3/d. V roce 2016 tedy čistírna svým průměrným denním průtokem 152 m^3/d dosáhla přibližně 91,5 % své kapacity. V grafu 1 je pak zřejmé, že například v měsíci březnu dosáhla v průměru dokonce až na 114 % kapacity. V další části se ještě pokusím posoudit, jak tomu bude do budoucna.



Graf 1 – Hodnoty denních průtoků ČOV Královice v jednotlivých měsících [16]

4.3.3 Vyhodnocení koncentračních limitů ČOV Královice

Biochemická spotřeba kyslíku

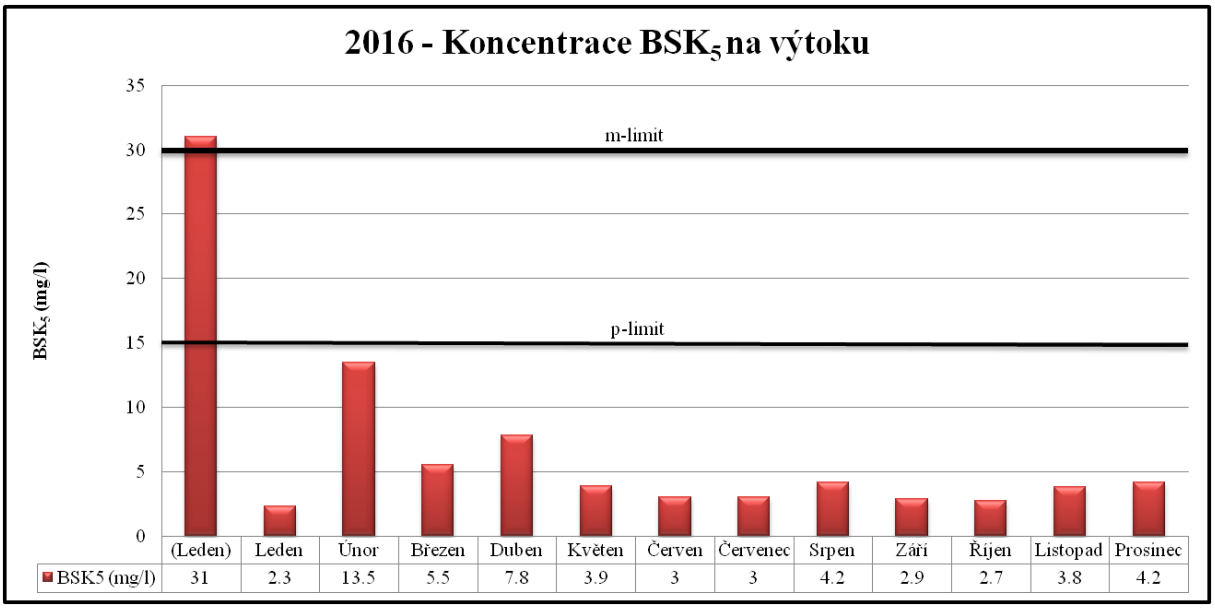
Tento ukazatel patří k nejužívanějším vůbec. Představuje hmotnostní koncentraci kyslíku potřebnou pro oxidaci organických látek ve stanoveném prostředí. Číselný index pak označuje dobu inkubace tohoto jevu. Při interpretaci pak slouží jako koncentrace rozložitelných látek ve vodě. BSK_5 zároveň užíváme ke stanovení navrhovaných ekvivalentních obyvatel (EO) čistírny dle rovnice 5. [20]

$$EO = \frac{BSK_{5,celk}}{PE} \tag{5}$$

Hodnota specifického znečištění na obyvatele v ČR činí PE = 60 g/(EO.den). Z čehož si můžeme pomocí udaných EO obyvatel zjistit produkci BSK_5 konkrétního území a zkontrolovat zařazení mezi malé zdroje znečištění.

$$BSK_5 = 637 * 60 = 38\,220 \frac{g}{den} = 38{,}22 \frac{kg}{den} \quad (6)$$

Co se týče koncentrace BSK_5 v odpadní vodě, tak čistírna dle dat z roku 2016 v průměru vyčistí vodu z hodnoty přítoku 266 mg/l na hodnotu 4,7 mg/l při odtoku. V následujícím grafu již je znázorněno rozložení koncentrací, za pomoci reprezentativních měsíčních vzorků, v jednotlivých měsících.

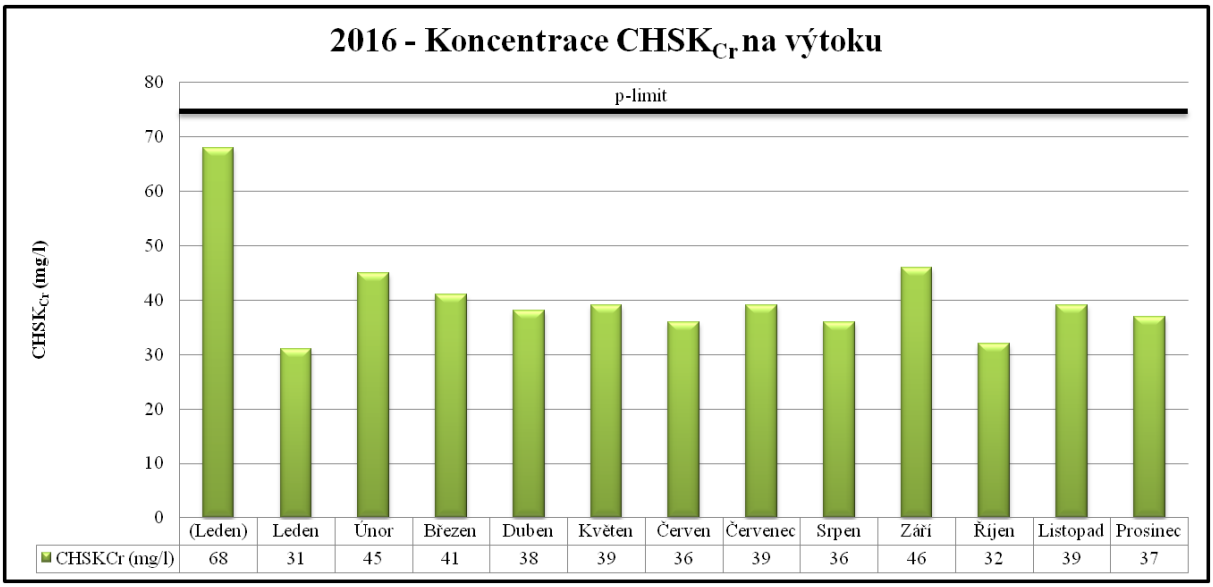


Graf 2 – Naměřené koncentrační hodnoty BSK_5 na výtoku z ČOV v roce 2016 [16]

Z grafu vyplývá, že čistírna udržuje poměrně stabilní hodnoty koncentrací, ale i přes pominutí jednoho nadlimitního vzorku, se jednou opět přiblížila k hranici statisticky formulovaného limitu p BSK_5

Chemická spotřeba kyslíku

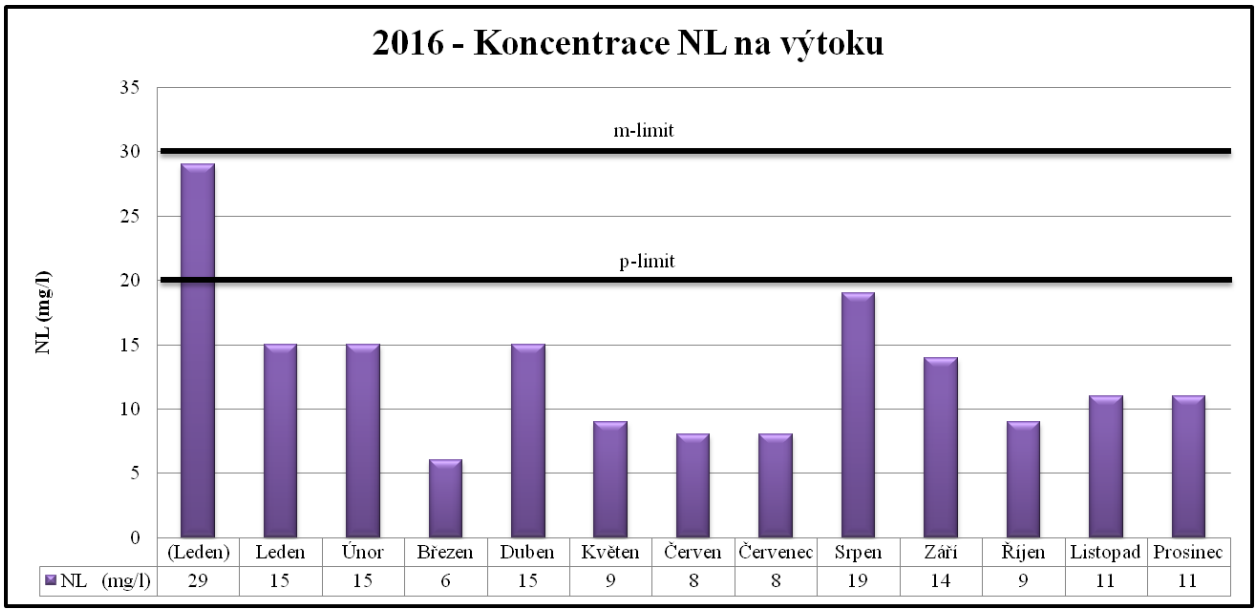
Často zkracována na $CHSK_{Cr}$. Vyjadřuje množství oxidačního činidla v kyslíkových ekvivalentech, které odstraní dané znečištění. Indexem je zde konkretizováno dané oxidační činidlo (v našem případě tedy nejobvyklejší dichroman draselný). Rozdílem od biologické spotřeby kyslíku je fakt, že pomocí tohoto ukazatele měříme nejen organické látky biologicky rozložitelné, ale i nerozložitelné. Z grafu 3 názorně vyplývá, že i přes výskyt nadlimitního vzorku hodnotami BSK_5 zůstávají hodnoty u parametru chemické spotřeby kyslíku v přípustné oblasti.



Graf 3 – Naměřené koncentrační hodnoty CHSKCr na výtoku z ČOV Královice v roce 2016 [16]

Nerozpuštěné látky

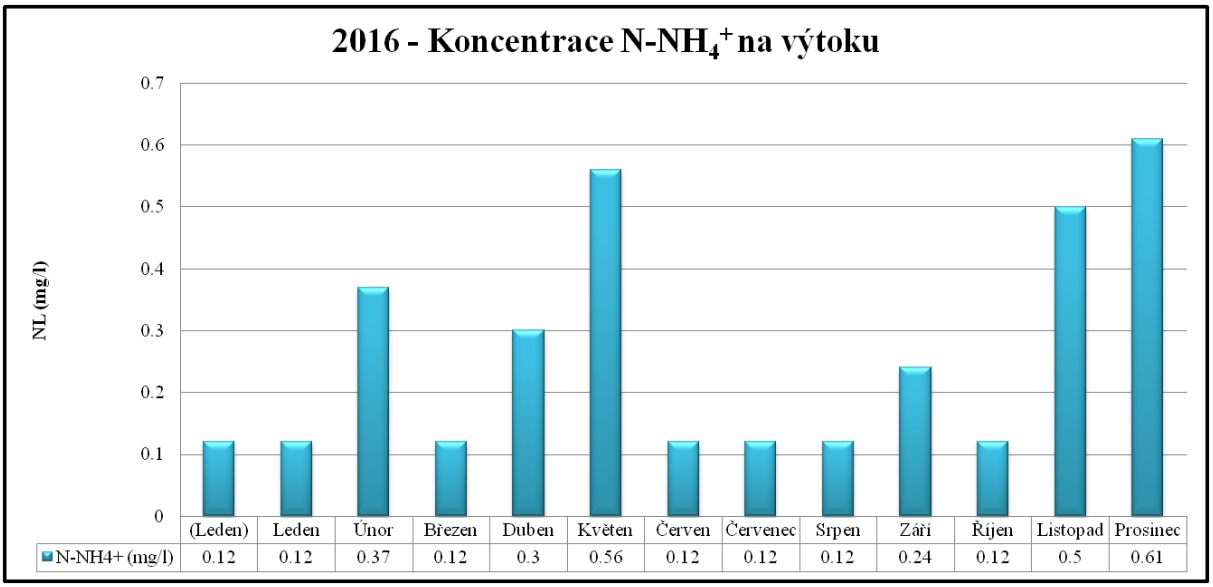
Jak je patrné z následujícího grafu 4, stejně jako ukazatel BSK5 dosahují nerozpuštěné látky často až limitních hodnot. Navíc v případě prvního vyřazeného vzorku opět dochází téměř k dosažení limitu m.



Graf 4 – Naměřené koncentrační hodnoty NL na výtoku z ČOV Královice v roce 2016 [16]

Amoniakální dusík

U ukazatele N-NH_4^+ čili amoniakálního dusíku v odpadní vodě dochází k zajímavému jevu velmi podlimitních hodnot na vypouštění. Z toho lze dojít k závěru, že většina daného ukazatele je přeměněna na N-NO_3. U něj naopak dochází k razantnímu zvýšení z relativní nuly na 19.8 mg/l ve výtoku v průměru za rok.



Graf 5 – Naměřené koncentrační hodnoty $N\text{-}NH_4^+$ na výtoku z ČOV Královice v roce 2016 [16]

Posouzení limitních účinností čištění

V následující tabulce 4.4 jsem porovnal vypočtenou účinnost čištění z ročních průměrných koncentrací na výtoku a odtoku s koncentrací stanovenou vyhláškou č. 401/2015 sb. [13]

Tab. 4.4 – Porovnání účinností čištění se zákonnými limity

Posouzenní účinnosti čištění přítok/výtok				
Ukazatel	Přítok (mg/l)	Výtok (mg/l)	Vyčištěno (%)	Limit (%)
$CHSK_{Cr}$	648.0	38.3	94.1	75.0
BSK_5	266.0	4.7	98.2	85.0
NL	212.0	11.7	94.5	-
NH4+	59.6	0.3	99.5	75.0

Z tabulky jasně vyplývá, že čistírna čistí velmi nadprůměrně, co se do úměrnosti k přitékanému zatížení týče.

Závěr z naměřených hodnot

Z průběhů grafů a tabulek je patrná zvýšená hodnota především BSK_5 a nerozpuštěných látek. To velmi často poukazuje na nedostatečnou činnost dosazovacích nádrží a nedokonalé kalové hospodářství. [5]

4.4 Územní rozvoj oblasti

Jak jsem zjistil v předchozích kapitolách, jedním z velkých problémů současného stavu čistírny Královice se stávají rozrůstající se místní části Praha-Hájek a Praha-Královice. V jednotlivých částech žije 350 a 580 obyvatel. Mnohem důležitějším údajem je ale již po delší dobu kladný přírůstek obyvatel a především vysoká míra salda migrace. Z následujících tabulek 4.5, 4.6 a 4.7 jasně vyplývá trend nárůst počtu obyvatel v zájmové oblasti v minulých letech. V tabulce 4.5 se jedná o městskou část Praha-Královice, v tabulce 4.6 je to městská část Praha 22 a v tabulce 4.7 samotné katastrální území Hájek u Uhříněvsi. Součástí Prahy 22 jsou tři obce a právě jednou z nich je lokalita Hájek. [12]

Tab. 4.5 – Vybrané statistické údaje městské části Praha-Královice [19]

Počet obyvatel městské části Praha-Královice k 31. 12. daného roku					
Rok	2011	2012	2013	2014	2015
Počet obyvatel	303	308	315	327	350
Saldo migrace	-	5	10	12	21

Tab. 4.6 – Vybrané statistické údaje městské části Praha 22 [19]

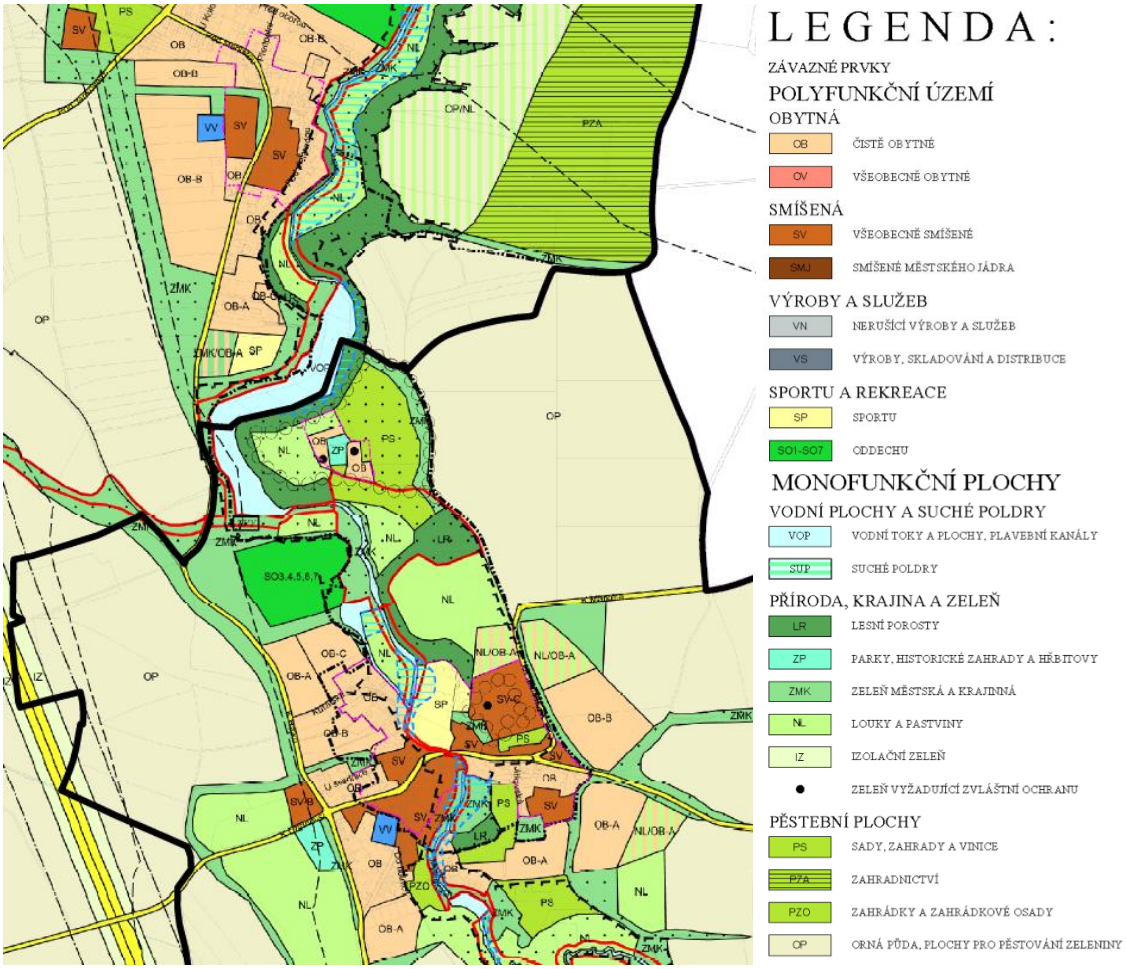
Počet obyvatel městské části Praha 22 k 31. 12. daného roku					
Rok	2011	2012	2013	2014	2015
Počet obyvatel	9025	9462	9838	10219	10549
Saldo migrace	427	308	271	249	224

Tab. 4.7 - Vybrané statistické údaje katastrálního území Hájek u Uhříněvsi [19]

Počet obyvatel katastrálního území Hájek u Uhříněvsi 31. 12. daného roku					
Rok	2012	2013	2014	2015	2016
Počet obyvatel	451	517	556	593	618

Tyto ukazatele jednoznačně nenahrávají současnému stavu čistírny. Již nynější stav přesahuje možnosti hydraulické kapacity, tudíž je zároveň zaveden stop-stav nového napojování. [7] Zde se jedná o velký nesoulad s plánovaným územním rozvojem v minulých i budoucích letech, na což poukazuje současný stav územního plánu na obrázku 4.6.

Z uvedených podkladů plyne, že v lokalitě dramaticky vzrůstá počet obyvatel, což vede ke zvyšování koncentrací znečištění a průtoků v kanalizaci. S tímto trendem se také bude zvětšovat procento zpevněných ploch v okolí staveb, a tím i objem znečištěných dešťových vod odváděných do ČOV Královice. Již v současné době je z územních plánů patrné zvětšování ploch určených k trvalému obývání na úkor přírodních ploch s možností přirozeného vsakování.



Obr. 4.6 - Územní plán k 8. 1. 2013 s vybranými částmi legendy [10]

5 Závěr

Hlavním problémem čistírny je zcela jistě její nepostačující současná kapacita. V jednotlivých metodách jsem v chronologickém sledu došel k dalším poznatkům, jejichž shrnutí je následující.

Osobní prohlídkou objektu, technologické části a okolí jsem zjistil několik nedostatků, které jsou nepříznivé či přímo ohrožují plynulý provoz. Prvním z nich je očividně nedostatečné zabezpečení jednotlivých částí procesu čištění, a tím i jeho náchylnost k vnějším vlivům jak přírodním, tak například vandalské činnosti lidí. Dalším nevyhovujícím faktem je technologické osazení. I přes poměrně nedávnou rekonstrukci je vidět mnoho detailů, jež by se neměly při řádném stavu objevit. Jedná se především o tmavá, špatně osvětlená místa, chybné provedení aeračního systému, nedostatečné zázemí pro obsluhu či celkově nevhodné stavební řešení.

Ze statistických veličin jsem zjistil, že čistírna sice trvale nepřekračuje limity dané příslušnými právními předpisy, nicméně je zde vidět zvýšený stav vybraných ukazatelů a jeden vyřazený technologický vzorek. Ukazatele BSK_5 a NL poukazují na nevhodný návrh biologické linky a především dosazovacích nádrží. Hlavním problémem, jak již bylo řečeno, je ale současný stav zatížení vzhledem k aktuálnímu návrhu čistírny. Denní průtoky dosahují 100 % návrhového Q_{24} a místy i více. Proto je v současnosti zaveden stop-stav dalšího připojování.

Statistické veličiny a plánovaný územní rozvoj pak poukázaly na neustále se zvyšující potřebu odkanalizování oblasti. Při současném stop-stavu a trendu populačního vývoje se pak jedná o místo s vysokou prioritou a nutností zásahu.

Z analýzy tedy vyplývá, že čistírna není ve stavu vyhovujícím pro současné i budoucí požadavky. K nápravě stavu bych navrhoval přestavbu čistírny odpadních vod. Jednalo by se především o úpravu objektu mechanického předčištění a zkapacitnění biologické linky v čele s dosazovacími objekty. Tyto změny by pak dozajista bylo třeba řešit s návazností na přestavbu areálu ČOV. Kromě toho dále navrhuji rekonstrukci kanalizační sítě, která by zohlednila výhledovou potřebu obcí Hájek a Královice a zredukovala přítok balastních vod do čistírny. Otázkou zůstává, zda by tato opatření vyřešila výhledovou situaci. Případně je třeba zvážit napojení na jinou větší čistírnu.

6 Seznam použité literatury a podkladů

[1] AMBROŽOVÁ, Jana. Encyklopedie hydrobiologie. Verze 1.0, 2006. Praha: VŠCHT, 2006. ISBN 978-80-7080-634-0. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=S032

[2] ČSN 75 6101. Stokové sítě a kanalizační přípojky. 2012.

[3] DOHÁNYOS, Michal, KOLLER, Jan a Nina STRNADOVÁ. Čištění odpadních vod. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2007. ISBN 80-7080-316-9.

[4] Eddy et al. Wastewater engineering: treatment and reuse [online].4th. New York: McGraw-Hill, 2003. ISBN 0070418780.

[5] HLAVÍNEK, Petr, MIČÍN, Jan a PRAX, Petr. Stokování a čištění odpadních vod. Vyd. 1. Brno: CERM, 2003. 283 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2535-0.

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

[7] Kanalizační řád kanalizace pro veřejnou potřebu území městské části Praha – Královice a místní části Praha – Hájek v povodí čistírny odpadních vod Královice. 2016. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z http://www.pvs.cz/files/pro-zakazniky/COV_Kralovice.pdf

[8] Katastr nemovitostí a katastrální mapa [online]. [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: www.ikatastr.cz

[9] KRÁL, Jiří – mistr ČOV, ústní sdělení, U Úlů 2456 – Praha 9, [cit. 2017-04-07].

[10] Královice: Územní plán sídelního útvaru hl. m. Prahy (stav k 8. 1. 2013) 1 : 10 000. In: *Geoportál Praha* [online]. Praha: Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy (IPR Praha), 2013 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: http://www.geoportalpraha.cz/cs/mapy-mc-ke-stazeni/kralovice#.WP8VsYiLSUl

[11] Mapy.cz [online]. © TopGis, s.r.o. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: https://www.mapy.cz

[12] Městská část Praha 22. *Praha 22* [online]. Praha: Úřad městské části Praha 22, 2016 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: www.praha22.cz

[13] Nařízení vlády 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.

[14] NYPL, Vladimír a Marcela SYNÁČKOVÁ. Zdravotně inženýrské stavby 30: Stokování. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1998. 149 s. ISBN 80-01-01729-X.

[15] Provozní řád ČOV Královice. Pražská vodohospodářská společnost a.s. Praha, 2010.

[16] Provozní data za rok 2016 ČOV Královice. Praha: Pražská vodohospodářská společnost, a. s., 2017.

[17] PYTL, Vladimír a kol. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 1. vyd. Praha: Medim pro SOVAK - Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, 2004. x, 209 s. ISBN 80-239-2528-8.

[18] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody. 2. přeprac. vyd. V Praze: ČVUT, 2013. 199 s. ISBN 978-80-01-05390-4.

[19] Souhrnné informace o 57 městských částech 2004-2015. In: www.czso.cz [online]. Praha: Český statistický úřad Krajská správa v hl. m. Praze, 2016 [cit. 2017-04-25]. Dostupné z: https://www.czso.cz/documents/11236/37543548/casova_rada_MC_2015.xlsx/172d64dc-6b0c-4b3e-a029-10968a0db4c3?version=1.5

[20] SÝKORA, Vladimír, Hana KUJALOVÁ a Pavel PITTER. Hydrochemie pro studenty bakalářského studia. Praha: VŠCHT, 2016. ISBN 978-80-7080-949-5.

[21] VESILIND, P. Arne. Wastewater treatment plant design. London: IWA, c2003. ISBN 978-1-84339-024-4.