

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ**



**VYHODNOCENÍ PROVOZU ČOV HAVLÍČKŮV BROD**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**LUKÁŠ TOMAN**

**Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marcela Synáčková, CSc.**

**Květen 2017**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Toman** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **410857**  
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 Havlíčkův Brod**

Název bakalářské práce anglicky:

**Evaluation of the WWTP operation Havlíčkův Brod**

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 Slavičková, K. - Slaviček, M.: Vodní hospodářství obcí 1 úprava a čištění vody. Praha: ČVUT, 2013. , 2001, ISBN 80-86020-30-4

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

## **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 05.05.2017

.....  
Lukáš Toman

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucí své bakalářské práce, Ing. Marcele Synáčkové, Csc., za odborné vedení, cenné rady a připomínky k této bakalářské práci. Dále bych chtěl poděkovat panu Vratislavu Propílkovi za umožnění vzniku této práce o havlíčkobrodské čistírně odpadních vod a panu Ing. Zdeňku Zelenému za poskytnutá data a podklady, přiblížení problematiky čistíren odpadních vod, odborné konzultace, a hlavně za jeho trpělivost a čas, který mi věnoval.

## SUMMARY

The subject of this bachelor thesis is the issue of wastewater treatment, specifically in Havlíčkův Brod. The aim of the work is to evaluate measured data at this waste water treatment plant (*WWTP*) and their comparison with current law regulations, i.e. Government Decree No. 401/2015 Coll. and other relevant laws of Czech Republic as amended.

The first part is theoretical. It deals with the waste water, the substances contained in it and the way of its cleaning.

The second part uses specific data from the WWTP Havlíčkův Brod. At the treatment plant there was reconstruction of the aeration elements in the activation tanks and the tanks themselves. The work evaluates data before and after reconstruction and calculates treatment efficiency. The results are compared with the limits for the pollution indicators given by the Government Decree and the permission for WWTP Havlíčkův Brod. Subsequently, the results before and after the reconstruction are compared with each other and the effect of this reconstruction on the waste water treatment plant function is evaluated.

**KEY WORDS:** wastewater treatment, treatment efficiency, WWTP Havlíčkův Brod

# ANOTACE

Předmětem této bakalářské práce je problematika čištění odpadních vod, konkrétně na ČOV Havlíčkův Brod. Cílem práce je vyhodnocení naměřených dat na této čistírně a jejich porovnání s nařízením vlády č. 401/2015 Sb. a vodoprávním povolením pro tuto čistírnu.

První část je teoretická. Pojednává o odpadních vodách, látkách v nich obsažených a způsobu jejich čištění.

V druhé části jsou použita konkrétní data z ČOV Havlíčkův Brod. Na čistírně proběhla rekonstrukce aeračních elementů v aktivačních nádržích i nádrží samotných. V práci jsou vyhodnocena data před a po rekonstrukci a vypočítána účinnost čištění. Výsledky jsou porovnány s limity pro ukazatele znečištění danými nařízením vlády a vodoprávním povolením. Následně jsou také výsledky před a po rekonstrukci porovnány mezi sebou a je zhodnocen vliv této rekonstrukce na funkci čistírny.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** čištění odpadních vod, účinnost čištění, ČOV Havlíčkův Brod

# OBSAH

1. ÚVOD.....	9
2. CÍLE PRÁCE .....	10
3. ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	11
3.1. ODPADNÍ VODA .....	11
3.1.1. DRUHY ODPADNÍCH VOD.....	11
3.2. ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....	13
3.2.1. ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY .....	13
3.2.2. STANOVENÍ ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....	14
3.3. ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	17
3.3.1. ZÁKLADNÍ SCHÉMA ČOV .....	17
3.3.2. PŘEDČIŠTĚNÍ A MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ.....	19
3.3.3. BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ .....	29
3.3.4. KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ .....	35
4. SOUVISEJÍCÍ LEGISLATIVA .....	38
4.1. ZÁKONY.....	38
4.2. OSTATNÍ LEGISLATIVA .....	38
5. ČOV HAVLÍČKŮV BROD.....	39
5.1. POPIS ODVODŇOVANÉ OBLASTI .....	39
5.2. CHARAKTERISTIKA ČOV HAVLÍČKŮV BROD.....	40
5.2.1. HISTORIE HAVLÍČKOBRODSKÉ ČOV .....	40
5.2.2. SOUČASNÝ STAV ČOV HAVLÍČKŮV BROD.....	42
5.2.3. OBJEKTY HAVLÍČKOBRODSKÉ ČOV .....	43
5.2.4. REKONSTRUKCE 2016 .....	52
5.3. VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI ČOV HAVLÍČKŮV BROD .....	54
5.3.1. ODBĚR VZORKŮ .....	54

5.3.2.	EMISNÍ STANDARTY A LIMITY PRO ČOV .....	55
5.3.3.	PRŮTOKY ODPADNÍ VODY .....	56
5.3.4.	CHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU CHSK <sub>Cr</sub> .....	57
5.3.5.	BIOCHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU BSK <sub>5</sub> .....	59
5.3.6.	NEROZPUŠTĚNÉ LÁTKY NL .....	61
5.3.7.	CELKOVÝ DUSÍK N <sub>C</sub> .....	63
5.3.8.	CELKOVÝ FOSFOR P <sub>C</sub> .....	64
6.	DISKUZE VÝSLEDKŮ .....	66
7.	ZÁVĚR .....	68
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	70
9.	SEZNAM PŘÍLOH .....	73



# 1. ÚVOD

Voda je jednou ze základních podmínek pro život. Lidé zakládaly osady a vesnice blízko vodních zdrojů, ať už z důvodu využití vody jako suroviny nebo pro využití vodní energie. S nárůstem lidské populace se zvýšily nároky na zdroje vody a úměrně s tím i na její čištění. Množství odpadních vod, produkované znečištění a znečištění vypouštěné odpadními vodami do vod povrchových přímo ovlivňuje jejich kvalitu, a tím i ekosystémy vázané na vodní prostředí. [11] Úroveň odvádění a čištění odpadních vod mnohé vypovídá o vyspělosti dané společnosti. Snaha člověka o co nejvyšší možnou účinnost čištění odpadní vody a její navrácení do přírody je cestou k trvale udržitelnému rozvoji a zachování kvalitního životního prostředí.

V této bakalářské práci *Vyhodnocení provozu ČOV Havlíčkův Brod* se budu zabývat problematikou čištění odpadních vod. Česká republika se zavázala k výstavbě a rekonstrukci stokových sítí a čistíren odpadních vod podle *Směrnice Rady č. 91/271/EHS, o čištění městských odpadních vod*. Jejím cílem je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštěných odpadních vod z městských aglomerací. [28]

Tato práce je rozdělena na 2 části. První teoretická část se zabývá odpadními vodami, látkami, které odpadní vody obsahují a způsoby jejich čištění. Druhá praktická část se zabývá provozem ČOV v Havlíčkově Brodě, způsobem a účinností tamního čištění s použitím konkrétních dat.

## 2. CÍLE PRÁCE

Čistírna odpadních vod v Havlíčkově Brodě prošla rekonstrukcí biologického stupně čištění. Došlo zde k výměně aeračních elementů v aktivačních nádržích a opravě samotných nádrží. Cílem této práce je vyhodnocení účinnosti čištění na této ČOV z naměřených dat poskytnutých provozovatelem čistírny, firmou Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a.s. Jednotlivé parametry jsou BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Cr</sub>, NL a koncentrace celkového fosforu a dusíku.

Cílem této práce je porovnat dosažené výsledky s *Narižením vlády 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 č. 401/2015 Sb.* a s vodoprávním povolením. Dále porovnáním výsledků účinnosti čištění před a po rekonstrukci zhodnotit vliv této rekonstrukce na funkci ČOV.

## 3. ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

### 3.1. ODPADNÍ VODA

Odpadní voda je definována jako voda, která byla použita mimo vodní zdroj a její vlastnosti byly vlivem lidské činnosti změněny. Tato změna znemožňuje její další použití, a proto musí být vyčištěna před jejím vypuštěním do recipientu. Odpadní vody vznikají lidskou činností, pochází např. z domácností, městské vybavenosti, zemědělství nebo průmyslu.

#### 3.1.1. DRUHY ODPADNÍCH VOD

Odpadní vody můžeme podle původu a způsobu čištění rozdělit do následujících skupin:

- splaškové
- průmyslové
- infekční
- městské
- srážkové
- balastní

**Splaškové odpadní vody** jsou vody vypouštěné do splaškové kanalizace z domácností, městské vybavenosti jako jsou restaurace, hotely, školy, úřady apod. Jejich množství závisí na bytové vybavenosti (záchody, sprchy, přívod teplé vody atd.) a je závislé na spotřebě pitné vody. Průměrně se počítá se specifickou produkcí splaškových vod 150 l/os/den. [6]

**Průmyslové odpadní vody** se rozdělují na vody procesní a vody pro zaměstnance. [2] Voda pro zaměstnance se dělí na potřebu pro pití, stravování a mytí. Množství závisí na vybavenosti (bufet, jídelna, ...), počtu pracovníků, směn a typu provozu (čistý, špinavý horký, ...).

Kvalita a množství procesních vod je velmi různorodá, závisí na typu provozu a způsobu použití. Procesní vody pochází z technologických procesů výroby, mytí výrobního zařízení nebo z chlazení. Chladicí vody jsou většinou jen málo znečištěné, a proto je tendence k jejich

opětovnému použití v závodě (recirkulaci). Podle druhu závodu a způsobu použití vody se často odpadní voda předčistí přímo v závodě. Voda se zbaví toxických a pro provoz veřejné kanalizace a čistírny odpadních vod jinak škodlivých látek. [4] Mezi průmyslové odpadní vody se řadí i vody ze zemědělství a zemědělské výroby. [6]

PRŮMYSL	SPOTŘEBA VODY NA JEDNOTKU
výroba papíru	5-30 m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup>
ocel	4-200 m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup>
pivovary	8-13 l.l <sup>-1</sup>
jatka	1-20 m <sup>3</sup> na 1 ks
výroba kvasnic	90-150 m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup>
konzervování	74-88 m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup>

*Tab. 3.1: Množství vody pro vybrané průmyslové odvětví [2]*

**Infekční odpadní vody** jsou vody obsahující choroboplodné zárodky takového druhu a v takovém množství, že vyžadují zvláštní opatření před vypouštěním do kanalizace. [23] Infekční odpadní vody jsou produkovány v tuberkulózních sanatoriích, infekčních oddělení nemocnic, mikrobiologických laboratořích apod.

**Městské odpadní vody** (komunální) jsou většinou směsí splaškových, průmyslových a někdy také balastních odpadních vod. V případě jednotné stokové soustavy i vod srážkových. [6]

**Srážkové odpadní vody** se do čistírny odpadních vod odvádí z intravilánu obce jednotnou stokovou kanalizací. Jejich množství závisí na intenzitě srážek, velikosti odvodňované plochy, jejím sklonu a povrchu. Při vysoké intenzitě srážek množství srážkových vod v kanalizaci výrazně převažuje množství vod splaškových, a proto se jednotná kanalizace dimenzuje na srážkové odpadní vody. [6]

Kvalita srážkových vod je velice proměnlivá. Především první podíl srážek smývá nečistoty z povrchu vozovek a může tak být silně znečištěn. Toto množství znečištění může být i srovnatelné se splaškovými odpadními vodami. Z toho důvodu je snaha o jejich zachycení a vyčištění. [4]

**Balastní odpadní vody** se dostávají do kanalizace vlivem netěsností. Jedná se o vodu podzemní a někdy také povrchovou. Tyto vody do kanalizace nepatří, nejedná se o odpadní vody. [6] Balastní vody jsou většinou málo znečištěné. Ředí odpadní vodu, a to i do takové míry, že z důvodu velkého naředění se sníží koncentrace znečištění ( $BSK_5$  pod  $50 \text{ mg.l}^{-1}$ ), a to způsobuje problémy s čištěním na biologickém stupni čistírny odpadních vod. [4]

## 3.2. ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Znečištění vody můžeme definovat jako změnu fyzikálních, chemických a biologických vlastností vody, která omezuje nebo i znemožňuje její opětovné použití k danému účelu. [1]

### 3.2.1. ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY

Splaškové vody jsou většinou zbarveny šedě až šedohnědě a jsou silně zakaleny. [2] Složení městských odpadních vod odpovídá složení jejich jednotlivých částí. Složení těchto částí a jejich vzájemný poměr je velice proměnlivý, a proto je složení odpadních vod velice různorodé. [6] Znečišťující látky můžeme rozdělit do skupin uvedených v tabulce *Tab. 3.2*.

ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY			PŘÍKLADY
rozpuštěné	organické	biologicky rozložitelné	cukry, mastné kyseliny
		biologicky nerozložitelné	azobarviva
	anorganické		těžké kovy, sulfidy
nerozpuštěné	organické	biologicky rozložitelné	škrob, bakterie
		biologicky nerozložitelné	papír, plasty
		usaditelné	celulosová vlákna
	neusaditelné	koloidní	bakterie
		plovoucí	papír
	anorganické	usaditelné	papír, hlína
neusaditelné		brusný prach	

*Tab. 3.2: Charakter znečišťujících látek v odpadních vodách [1]*

Velikost čistíren odpadních vod a množství přiváděného znečištění se rozděluje podle počtu *ekvivalentních obyvatel (EO)*. Počet ekvivalentních obyvatel se určí jako podíl celkového a specifického znečištění vyjádřených v  $BSK_5$  produkovaných za den. Hodnota specifického

znečištění BSK<sub>5</sub> se uvažuje 60 g na jednoho obyvatele za jeden den. [6] Podle počtu EO jsou na ČOV dle *nařízení vlády č. 401/2015 Sb. ze dne 14. 12. 2015* kladeny různé nároky na způsob čištění, účinnost, odběr vzorků apod. [26]

### 3.2.2. STANOVENÍ ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Koncentrace znečišťujících látek kolísá v závislosti na kolísání průtoku městských odpadních vod. Dále je také závislá na velikosti sídla, režimu dne obyvatelstva apod. K dalším změnám ve složení odpadních vod dochází také během toku kanalizací. Jedná se o změny fyzické (koagulace, adsorpce, ...), chemické (hydrolyza, oxidace, ...) a biologické. Biologické vlivy způsobují ve složení odpadních vod největší změny. Splaškové vody většinou obsahují snadno biologicky rozložitelné látky a již v kanalizaci dochází k biochemickým transformacím organických látek. Podle kyslíkových poměrů může docházet i k nežádoucím anaerobním pochodům, při kterých se tvoří sulfidická síra, způsobují sulfanovou korozi zdíva stok a dochází k pachovým závadám. [3, 6] V tabulce *Tab. 3.3* jsou uvedeny orientační hodnoty složení městských odpadních vod.

UKAZATEL	ROZMEZÍ HODNOT	JEDNOTKY
Hodnota pH	6.5 - 8.5	mg/l
Nerozpuštěné látky	200 - 700	%
- usaditelné	73	%
- neusaditelné	27	mg/l
Rozpuštěné látky	600 - 800	mg/l
BSK <sub>5</sub>	100 - 400	mg/l
CHSK <sub>Cr</sub>	250 - 800	mg/l
TOC (DOC)	cca 250	mg/l
N <sub>celk</sub>	30 - 70	mg/l
N-NH <sub>4</sub>	20 - 45	mg/l
P <sub>celk</sub>	5 - 15	mg/l

**Tab. 3.3:** *Orientační hodnoty složení městských odpadních vod [3]*

Kompletní kvalitativní i kvantitativní analýza jednotlivých sloučenin by byla velmi pracná, nákladná a zdlouhavá a z toho důvodu se neprovádí. Obvykle se používá skupinové stanovení. Jedná se o stanovení skupiny příbuzných látek pomocí jednoho standardu.

Mezi základní stanovení patří metody spočívající ve spotřebování kyslíku na oxidaci všech organických látek ve vzorku. [1]

**Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)** je nejvýznamnější složkou pro posuzování kvality městské odpadní vody. BSK je definováno jako množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy pro rozklad organických látek za aerobních podmínek. Toto množství kyslíku je úměrné koncentraci přítomných biologicky rozložitelných organických látek. Nejčastější používanou metodou je  $BSK_5$ , při které se stanoví biochemická spotřeba kyslíku během pěti dnů. [1, 6]

**Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)** je vedle  $BSK_5$  základním parametrem při posuzování organického znečištění splaškových odpadních vod. Jedná se o koncentraci kyslíku spotřebovaného k oxidaci látek obsažených ve vodě. Dichromanová metoda používá jako činidlo roztok dichromanu draselného  $K_2Cr_2O_7$ , proto metodu označujeme  $CHSK_{Cr}$ . Další variantou činidla je manganistan draselný  $KMnO_4$ . Tato metoda je z důvodu nepatrné oxidace některých látek manganistanem draselným vhodná spíše pro pitnou vodu. [3, 25]

**Stanovení organického uhlíku (TOC – Total Organic Carbon)** je stále častěji využívaný ukazatel organicky vázaného uhlíku. [3] TOC označuje koncentraci uhlíku přítomného v organických látkách v rozpuštěné i nerozpuštěné formě ve vodě. Stanovení je založeno na oxidaci organického uhlíku na  $CO_2$  během spalování. [23, 24] Metodou lze kvantitativně stanovit organický uhlík v odpadních vodách, ale ten není vhodnou mírou organického znečištění. Pro technologické výpočty je nutné znát toto znečištění v kyslíkových jednotkách. Z toho důvodu je nutné znát i hodnotu CHSK. [1]

**Dusík** se ve splaškových odpadních vodách vyskytuje zejména jako *amoniakální dusík*  $N-NH_4$ , močovina a volné a vázané aminokyseliny. Poměr forem dusíku se mění v čase. Při transportu stokovou sítí dochází k hydrolyze močoviny na amoniakální dusík. Udávaný *celkový dusík*  $N_{celk}$  je součet koncentrací dusíku podle Kjeldahla, tedy součet koncentrace organického a anorganického amoniakálního dusíku. [3, 23]

**Fosfor** se většinou udává jako *celkový fosfor*  $P_{celk}$ . Sloučeniny fosforu v odpadních vodách pochází z pracích a čistících prostředků, zemědělských hnojiv, ale nejčastěji však z moči a fekálií. Fosfor lze odstranit koagulačními a sorpčními pochody. Při nadměrné koncentraci fosforu v povrchových vodách dochází k jejich eutrofizaci. [1, 3]

Referenční metoda pro stanovení celkového dusíku a celkového fosforu je molekulární absorpční spektrofotometrie. [28] Jedná se o analytickou metodu měření vlastností vzorku, která využívá skutečnosti, že mnoho látek pohlcuje elektromagnetické záření. Dle koncentrace látky v roztoku se liší množství světla určité vlnové délky, které pohltní. [20]

**Nerozpuštěné látky (NL)** jsou koncentrované tuhé látky v kapalině. Pro jejich stanovení jsou dle *Směrnice rady o čištění městských odpadních vod (91/271/EHS)* dva referenční způsoby. Filtrace reprezentativního vzorku membránovým filtrem 0,45  $\mu\text{m}$  a následné sušení při 105 °C a zvážení nebo odstředění daného vzorku, sušení a zvážení. [23, 28]

**Teplota odpadní vody** je její významnou vlastností, která ovlivňuje rychlost biochemických reakcí. Ke změně teploty vody dochází i při průtoku čistírnou. V zimních měsících může teplota vody klesnout téměř k bodu mrazu a působit provozní potíže ČOV. K výraznému chladnutí dochází např. v aktivačních nádržích s dlouhou dobou zdržení. [6]

Vodoprávní úřad v povolení k vypouštění odpadních vod stanoví minimální četnost odběru a typ vzorku pro sledování znečištění. [26]

Toto stanovení sledování znečištění vychází z *Narízením vlády 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 č. 401/2015 Sb.*

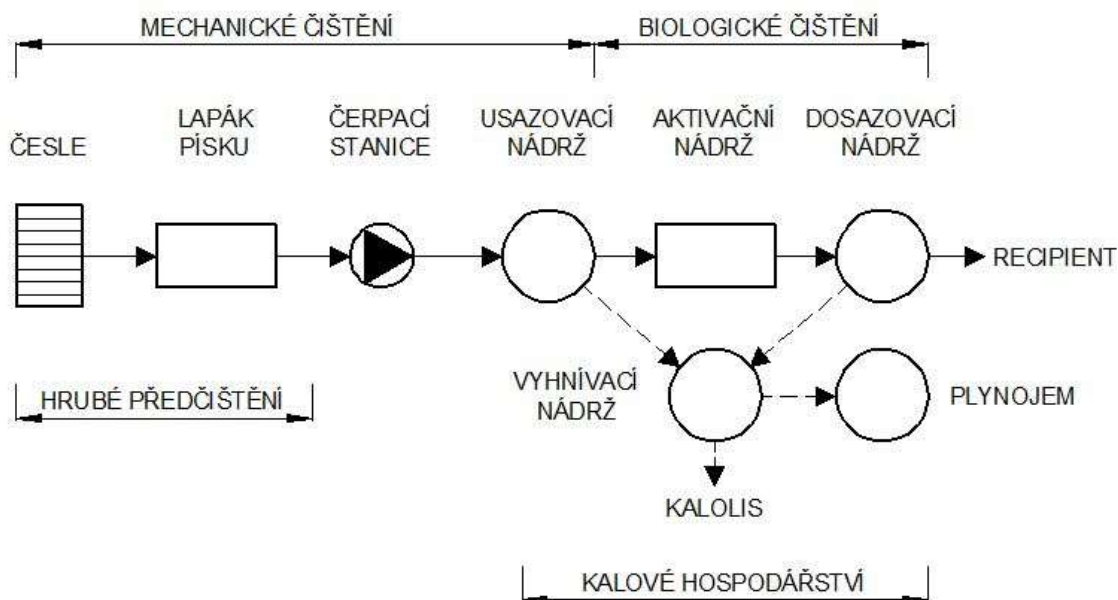


### 3.3. ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

#### 3.3.1. ZÁKLADNÍ SCHÉMA ČOV

Podle obrázku *Obr. 3.1: Základní schéma ČOV* můžeme technologickou linku středních a větších čistíren odpadních vod rozdělit na tři základní bloky:

- MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ
- BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ
- KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ



*Obr. 3.1: Základní schéma ČOV*

V odpadních vodách je obsaženo velké množství různých znečišťujících látek (viz kapitola 3.2.) a z toho důvodu je nutné čistit odpadní vodu více různými procesy. Rozdělení různých typů těchto procesů můžete vidět v tabulce *Tab. 3.4*.

PROCESY	POUŽITÍ	ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY	
<b>MECHANICKÉ</b>	cezení	česle	organické biologicky nerozložitelné, plovoucí
	usazování	usazovací nádrže	nerozpuštěné usaditelné organické i anorganické
	centrifugace	centrifugy	organické biologicky nerozložitelné, anorganické nerozpuštěné usaditelné
	flotace	flotační nádrže	nerozpuštěné usaditelné organické i anorganické
	filtrace	pískové filtry, síta	nerozpuštěné organické i anorganické
<b>CHEMICKÉ A FYZIKÁLNĚ CHEMICKÉ</b>	čiření	koagulace a srážení	rozpuštěné biologicky nerozložitelné, anorganické, nerozpuštěné organické i anorganické
	neutralizace, oxidace a redukce		rozpuštěné organické
	sorpční procesy	aktivní uhlí aj.	rozpuštěné biologicky nerozložitelné, anorganické
	procesy založené na výměně iontů		rozpuštěné organické
	extrakce	např. fenol	rozpuštěné biologicky rozložitelné i nerozložitelné
	odpařování, spalování	silně koncentrované odpadní vody	rozpuštěné biologicky nerozložitelné
	vyvážení	např. NH <sub>3</sub>	rozpuštěné organické
<b>BIOLOGICKÉ PROCESY AEROBNÍ</b>	biologické filtry		rozpuštěné biologicky rozložitelné, anorganické (N), nerozpuštěné organické, biologicky rozložitelné
	aktivační proces		rozpuštěné biologicky rozložitelné, anorganické (N, P), nerozpuštěné organické, biologicky rozložitelné
	stabilizační nádrže a laguny		rozpuštěné biologicky rozložitelné, anorganické (N, P), nerozpuštěné organické, biologicky rozložitelné
<b>BIOLOGICKÉ PROCESY ANAEROBNÍ</b>	metanizace		rozpuštěné biologicky rozložitelné, nerozpuštěné organické, biologicky rozložitelné

Tab. 3.4: Procesy čištění odpadních vod a skupiny znečišťujících látek

### 3.3.2. PŘEDČIŠTĚNÍ A MECHANICKÉ ČIŠTĚNÍ

Předčištění a hrubé čištění jsou prvním stupněm technologické linky čistíren. Při čištění odpadních vod je nutné nejdříve odstranit hrubé, makroskopické látky, které by mohly v dalších stupních čištění způsobit mechanické poškození nebo zanášení objektů a technologických zařízení čistírny.

Z hlediska technologie se jedná o jednoduché způsoby čištění jako například sedimentace (lapáky štěrku a písků), flotace (lapáky tuků a olejů) a cezení (česle, síta). [3, 8]

Procesem mechanického čištění a odstraněním nerozpuštěných látek se organické znečištění vyjádřené jako BSK<sub>5</sub> sníží asi o 30 %. Proto je tento proces významný nejen z hlediska odstranění hrubého znečištění. [6]

#### LAPÁK ŠTĚRKU

Lapák bývá umístěn na začátku čistírny na přivaděči odpadních vod. Slouží k zachycení velkých těžkých předmětů jako jsou dlažební kostky, cihly, štěrk apod. Obvykle se buduje na velkých čistírnách v území s rozsáhlou jednotnou sítí. Lapák štěrku je důležitou součástí ČOV zejména v období přívalových dešťů.

Lapák štěrku je jímka, která je oproti přívodnímu kanálu rozšířena a prohloubena. Díky tomu dochází ke snížení rychlosti odpadní vody a sedimentaci těžkých částic. Součástí lapáku bývá zařízení na těžení usazených částic, tzv. *drapák*. Další nezbytnou součástí je kontejner na vytěžený materiál. [1, 6]



Obr. 3.2: Zařízení na těžení štěrku

## ČESLE

Česle slouží k odstranění hrubých a plovoucích nečistot cezením. Česle mají různé konstrukce a velikosti průlin. Tato velikost určuje velikost zachycených předmětů (kuchyňské odpadky, hadry, papír, zbytky obalů apod.). Nejjednodušší konstrukcí je mříž tvořená rámem a česlicemi. Česle jsou ukloněny ve směru toku pod úhlem 30°- 60°. Podle velikosti průlin mezi česlicemi je můžeme rozdělit na:

- HRUBÉ ČESLE
- STŘEDNÍ ČESLE
- JEMNÉ ČESLE

**Hrubé česle** bývají umístěny na začátku technologické linky čistírny a slouží jako ochrana čerpadel před mechanickým poškozením. Velikost průlin bývá 5–20 cm. Množství zachyceného materiálu bývá malé, a proto bývají stírané ručně.

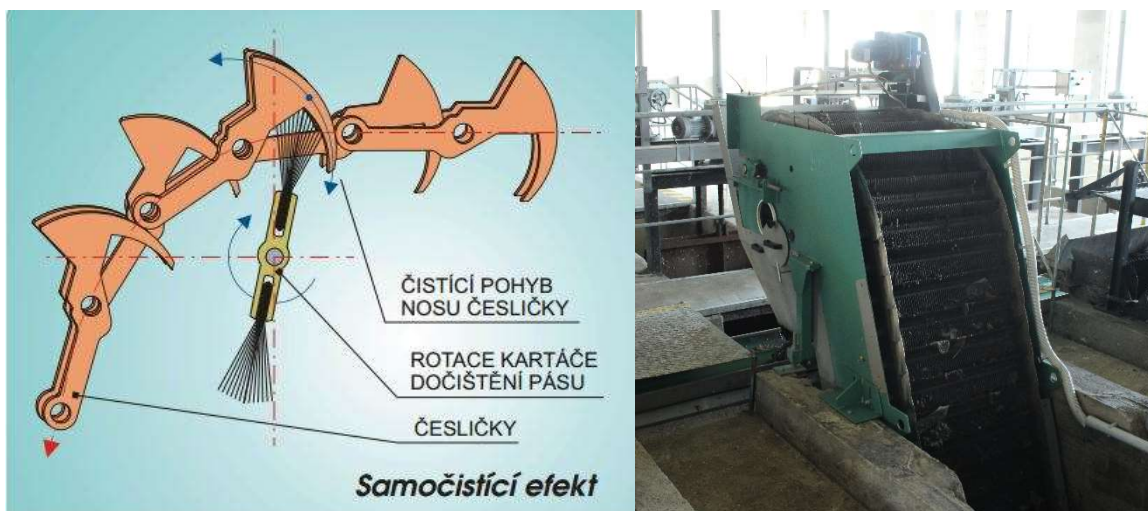


**Obr. 3.3:** Hrubé česle ručně stírané (vlevo) a jemné česle [22]

**Jemné česle** bývají umístěny za hrubými česlemi a za čerpadly. Velikost průlin bývá 10–20 mm. Jemné česle jsou zpravidla strojně stírané. Nejčastěji bývají vyrobeny z oceli. Existuje velké množství různých typů jemných česlí. Klasické česle, krokové česle, samočistící česle, rotační česle atd. [1, 6, 9]

*Krokové česle* (step screen) fungují jako schody eskalátoru. Česle se skládají z lamelových česlic, které tvoří schody a pravidelně se o krok posouvají. Shrabky jsou vyneseny na přeпадovou hranu, kde jsou shrnuty automatickým shrabovákem.

*Samočistící česle* tvoří česlicový pás, který se otáčí a vynáší zachycené shrabky do prostoru výsyvky. Voda protéká mezi česlicemi k dalšímu čistícímu procesu. [3, 6]



**Obr. 3.4:** Princip samočistících česlí (vlevo) [17] a samočistící česle Fontana [29]

Existuje mnoho dalších zařízení jako např. rotační česle, šroubové česle, rotační bubnové česle nebo integrované hrubé předčištění, které už je kombinací samočistících česlí a lapáku písku. To se používá u ČOV s průtoky do 150 l/s. [6]

## SHRABKY

Podle konstrukce česlí jsou buď shrabky přemístěny ručně nebo pomocí dopravníku do kontejneru na shrabky. Shrabky se nechávají odstát a tím se zahustí obsah vody na přibližně 75 %. Jejich stlačením pístovým lisem se obsah vody sníží až na 50 %. S takto odvodněnými shrabky už lze mechanicky manipulovat.

Shrabky jsou hygienicky nebezpečné. Mohou obsahovat zárodky lidských i zvířecích parazitů a patogenní mikroorganismy. Proces jejich likvidace patří k hygienicky nejzávadnějším procesům. Likvidace probíhá buď spalováním při teplotách 680° až 750° nebo hygienickým zabezpečením vápnem na pH okolo 10.

Toto zaručí zničení zárodků parazitů a patogenních mikroorganismů a shrabky je možno skladovat na skládkách pro nebezpečný odpad. [3, 6]



*Obr. 3.5: Dopravník na shrabky (vlevo) [29] a přepad shrabků z česlí na dopravník [22]*

## LAPÁK PÍSKU

Podle typu kanalizační soustavy, jejího stavu, sklonu odkanalizovaného území, druhu vpustí a mnoha dalších vlivů obsahuje odpadní voda nejen zahnívající organické látky, ale také těžký a inertní materiál. Jedná se o velký podíl písku, zejména za dešťů u jednotné stokové soustavy, ale také škváru, popílky, skořápky apod. Lapáky písku mají zajistit odstranění těchto minerálních látek, ale ne organické suspenze. Fungují na základě rozdílu hustot těchto látek. Minerální látky s hustotou přibližně  $2\,700\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  sedimentují a oddělí se od organické suspenze s hustotou přibližně  $1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Písek se musí z lapáku pravidelně těžit. [5, 6]

Tyto látky odstraňujeme také z důvodu ochrany čistírny odpadních vod, konkrétně ochrany pohyblivých částí zařízení, čerpadel před abrazí a snížení ucpávání potrubí. [14]

V lapáku písku dochází ke zpomalení proudu a z toho důvodu lze využít také k odstraňování plovoucích látek (tuků), protože dochází k jejich vzplývání. Hladina je stírána hladinovou lištou do žlabu a odtud je tuk odveden do kalového hospodářství.

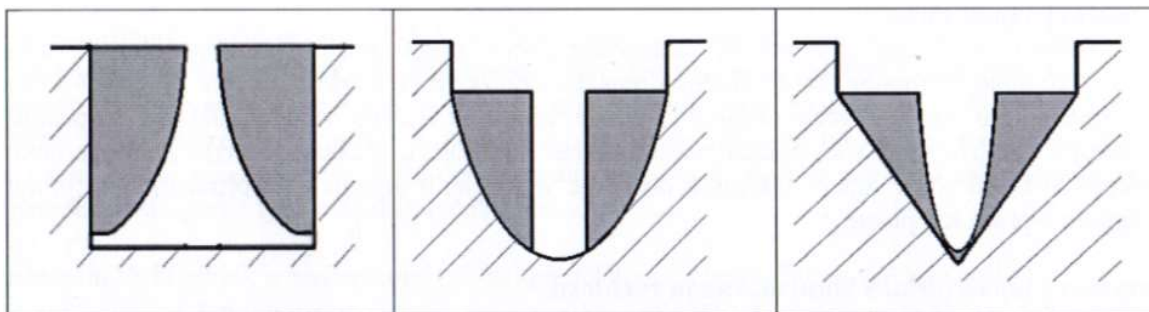
Technologicky i ekonomicky je výhodnější odstraňovat tuky přímo u zdroje znečištění, kde jsou ve vyšší koncentraci a lze je z vody účinněji odstranit. [5]

Podle směru průtoku můžeme lapáky písku rozdělit:

- HORIZONTÁLNÍ
  - ŠTĚRBINOVÝ
  - KOMOROVÝ
  - KOMOROVÝ S KONTROLOVANOU RYCHLOSTÍ
- VERTIKÁLNÍ
- VÍROVÉ
- ODSŤŘEDIVÉ
- S PŘÍČNOU CIRKULACÍ [2]

### KOMOROVÝ LAPÁK PÍSKU

Jedná se o podélný usazovací žlab s obdélníkovým půdorysem, který má akumulční prostor na zachytávání písku. Průtok odpadních vod v čistírnách během dne kolísá, a proto je nutné navrhovat několik paralelních žlabů. Přítok vody je ovládán stavitky. Při maximálních průtocích jsou v provozu všechny komory, při nízkých průtocích za bezdeštného období je v provozu pouze 1 komora. Nevýhodou komorových lapáků písku je kolísání průtočné rychlosti. Z toho důvodu byl vyvinut *komorový lapák písku s kontrolovanou rychlostí*. Ten má na konci žlabu umístěn kontrolní přeliv – clonu. Clona vzdouvá vodu, zvětšuje průtočnou plochu a průtočnou rychlost zůstává konstantní. [1] Nejčastější používané kombinace tvaru clon a žlabů jsou zobrazeny na obrázku *Obr. 3.6*.



**Obr. 3.6:** Nejčastěji používané kombinace tvaru clon a žlabů [6]



*Obr. 3.7: Provzdušňovaný lapák písku [22]*

### **PROVZDUŠŇOVANÝ LAPÁK PÍSKU**

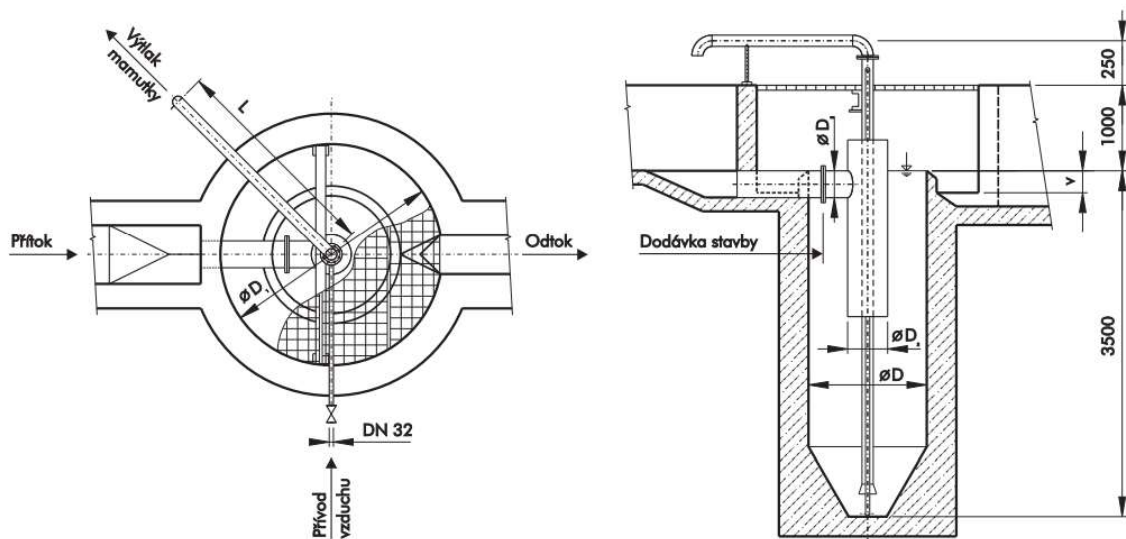
Jedná se o horizontálně protékaný žlab, ve kterém se příčná cirkulace vytváří umělým provzdušněním podél jedné strany žlabu. Cirkulace může být podpořena pomocí norné stěny. Písek je shrabován do jímky a z té je těžen pomocí mamutky. Největší výhodou je nezávislost na kolísání průtoku a předčištění odpadní vody. [3]

### **VERTIKÁLNÍ LAPÁK PÍSKU**

Vertikální lapák písku je šachta, hluboká přibližně 3 m. Za přítokem je vybudována norná stěna, která změní směr proudu směrem ke dnu a za ní již voda stoupá vlastním usazovacím prostorem lapáku. Písek se usazuje do kalového prostoru a je těžen mamutkou. [1]

Další variantou je přivedení odpadní vody ke dnu pomocí vtokového válce. Půdorysný tvar vertikálních lapáků písku bývá kruhový, v některých případech čtvercový. [6]





**Obr. 3.8:** Vertikální lapák písku KUNST [21]

## USAZOVACÍ NÁDRŽE

Usazovací nádrže slouží ke gravitační separaci suspendovaných látek obsažených v odpadních vodách. [3] Usazovací nádrže můžeme rozdělit:

dle zařazení v technologické lince:

- PRIMÁRNÍ – separace suspendovaných částic z odpadní vody (mechanické čištění)
- SEKUNDÁRNÍ – separace kalu při biologickém čištění (dosazovací nádrže)

dle tvaru a průtoku v nádrži:

- pravoúhlé s horizontálním průtokem
- kruhové s horizontálním průtokem
- kruhové s vertikálním průtokem
- štěrbinové
- lamelové
- etážové

Dále můžeme usazovací nádrže rozdělit na průtočné a dekantační (s přerušovaným provozem) [1]

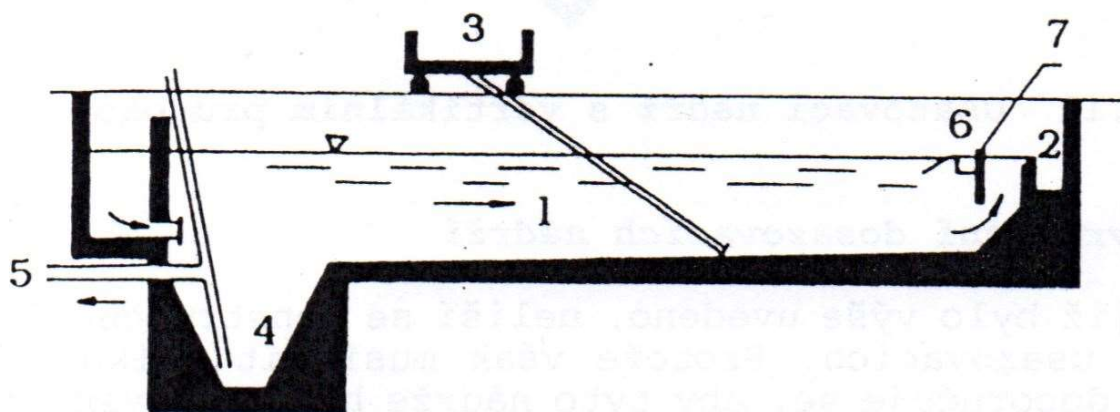
## PRIMÁRNÍ USAZOVACÍ NÁDRŽE

Primární usazovací nádrže bývají v technologické lince čistírny za lapákem písku, jako poslední a nejdůležitější článek primárního mechanického čištění. Slouží k zachycení dobře usaditelných nerozpuštěných látek před dalšími stupni čištění. Dochází zde k odstranění největší části nerozpuštěných a suspendovaných látek a redukci BSK<sub>5</sub> o 25 až 40 %. [6]

## SEKUNDÁRNÍ DOSAZOVACÍ NÁDRŽE

Dosazovací nádrže bývají posledním článkem čistírenské linky před vypouštěním vyčištěné vody do recipientu. Používají se k separaci usaditelných vloček biologického kalu, vzniklého při procesu biologického čištění. Dále mohou sloužit k zachycení usaditelných látek, které jsou produktem terciálního čištění. Hlavní funkcí je tedy oddělení vyčištěné vody od vloček aktivovaného kalu a shromáždění a zahuštění odděleného kalu, aby mohl být recirkulován do aktivačních nádrží. [6]

*Pravoúhlé usazovací nádrže s horizontálním průtokem* mají obdélníkový půdorys. Odpadní voda je přivedena do vtokového objektu a po délce protéká nádrží k odtokovému objektu na druhém konci nádrže. Na obou koncích bývá umístěna norná stěna. Součástí je stírací zařízení, které stírá usazený kal do jímky u vtokového objektu. Pravoúhlá usazovací nádrže se nejčastěji používají v primární sedimentaci. [14]



**Obr. 3.9:** Schéma pravoúhlé usazovací nádrže s horizontálním průtokem [1]

1 - usazovací prostor, 2 - odtokový žlab, 3 - shrabovací zařízení, 4 - kalová jímka, 5 - odvod kalu, 6 - žlab, 7 - norná stěna



**Obr. 3.10:** Pravoúhlé usazovací nádrže [22, 29]

**Kruhové usazovací nádrže s horizontálním průtokem** jsou ploché nádrže kruhového půdorysu. Nazývají se také radiální a navrhují se jako usazovací i dosazovací. Přítok odpadní vody je ve středu nádrže uklidňovacím válcem, odkud radiálně odtéká přes usazovací prostor k přepadovému žlabu. Výhodou kruhových usazovacích nádrží je dlouhá přepadová hrana a jednoduchý stírací mechanismus. [3] Ten je uložen na středovém pilíři nádrže a jejím okraji. Postupně jezdí kolem celé nádrže a stírá kal do středové kalové jímky.



**Obr. 3.11:** Usazovací nádrž ČOV Praha [29]

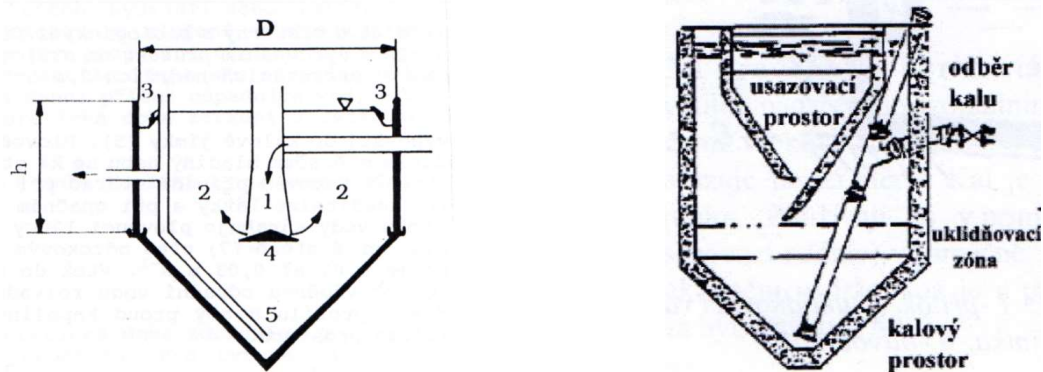


**Obr. 3.12:** Radiální dosazovací nádrž a přepadová hrana [29]

**Kruhové usazovací nádrže s vertikálním průtokem** jsou vhodné pro menší čistírny, protože nepotřebují nákladné strojní zařízení pro odstraňování kalu. [6] Ten je řešen čerpáním. Voda se přivádí do středu nádrže přes vtokový válec. Ten usměrňuje průtok vody ode dna směrem k hladině do sběrných žlabů. Nádrže nejsou vybaveny stíracím zařízením z důvodu sklonu stěn, po kterých kal klouže směrem do středu nádrže. Odtud je odváděn čerpáním nebo působením hydrostatického přetlaku. [3, 14]

**Štěrbínové usazovací nádrže** jsou zvláštním typem usazovacích nádrží. Objekty jsou hluboko založeny a výškově rozděleny mezidnem se štěrbinou. Usazování probíhá v horní části objektu a kal propadá štěrbinou do kalového prostoru. Ten funguje jako vyhnívací prostor a dochází zde k anaerobní stabilizaci kalu. Kal se několikrát ročně vyváží. [3]

Štěrbínové usazovací nádrže byly navrhovány jako samostatné objekty pro mechanické čištění odpadních vod z malých zdrojů v kombinaci s aerobními kolonami používanými jako biologický stupeň čištění. [6]



**Obr. 3.13:** Vertikální usazovací nádrž (vlevo) [1] a štěrbinová usazovací nádrž [6]

### 3.3.3. BIOLOGICKÉ ČIŠTĚNÍ

Principem biologického čištění odpadních vod je napodobení a urychlení přírodních procesů. Biologicky lze čistit téměř všechny odpadní vody. Cílem je koagulace a rozklad neusaditelných koloidních látek. Při biologickém čištění se využívají mikroorganismy, především bakterie, pro které je organická hmota substrátem. Mikroorganismy metabolickými procesy rozkládají substrát, a tím z něj získávají energii a látky potřebné pro svůj růst (syntézu své biomasy). [6, 7]

Všechny biologické čistírenské procesy fungují na principu biochemických oxidačně redukčních reakcí. Rozhodujícím faktorem pro rozdělení těchto reakcí je konečný akceptor elektronů a s tím související hladiny oxidačně-redukčních potenciálů. [3]

Rozdělení biologických čistírenských procesů:

- **OXICKÁ OBLAST** (kyslíkatá): konečným akceptorem elektronů je rozpuštěný kyslík, probíhají v ní oxidace organických látek, nitrifikace
- **ANOXICKÁ OBLAST** (bezokyslíkatá): bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku, dusitanový a dusičnanový dusík slouží jako konečný akceptor elektronů, denitrifikace
- **ANAEROBNÍ OBLAST**: konečným akceptorem elektronů je vlastní organická látka, část molekuly se oxiduje a část redukuje, probíhá anaerobní acidogeneze [3]

#### AEROBNÍ BIOLOGICKÉ POCHODY

Při aerobních podmínkách biologického čištění se uplatňují biochemické procesy, podmíněné činností aerobních mikroorganismů. Působením svých enzymů rozkládají aerobní mikroorganismy organické látky obsažené ve vodě oxidačními procesy za přítomnosti molekulárního kyslíku. Jedná se o složitý proces, jehož konečnými produkty jsou  $CO_2$ ,  $H_2O$  a v případě substrátu obsahujícího dusík také amoniak. Mikroorganismy potřebují k syntéze své buněčné hmoty biogenní prvky (C, H, O, N, P, S, aj.), které získávají z vnějšího prostředí i z rozloženého organického substrátu. [4]

UMĚLÉ	BIOMASA VE VZNOSU	AKTIVACE
	BIOMASA PŘISEDLÁ	ZKRÁPĚNÉ BIOLOGICKÉ KOLONY
		ROTAČNÍ DISKOVÉ REAKTORY
PŘIROZENÉ	KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD	

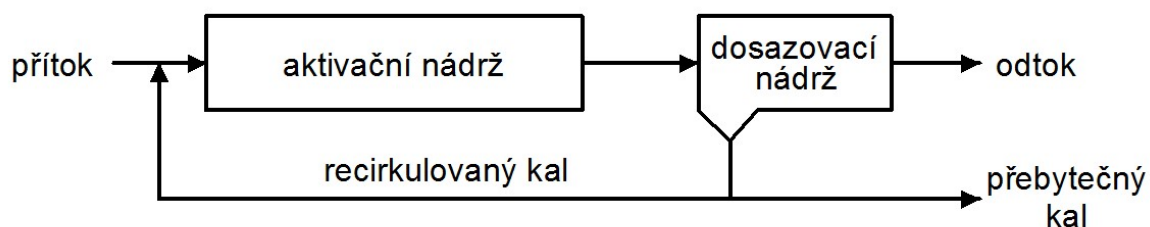
*Tab. 3.5: Základní rozdělení aerobního čištění*

Rozdělení aerobních způsobů biologického čištění je uvedeno v tabulce *Tab. 3.5. Umělé způsoby* probíhají v reaktorech, *přirozené* simulují přírodní podmínky čištění. [3]

Základním kritériem hodnocení koncentrace organických látek při aerobním čištění je BSK<sub>5</sub>. Dále se sleduje i koncentrace CHSK, nerozpuštěných látek, dusíku, fosforu a dalších látek podle charakteru čištěné odpadní vody. [4]

## AKTIVACE

Biologické čištění aktivací spočívá ve vytvoření aktivního kalu v provzdušňované aktivační nádrži. Aktivovaný kal je shluk mikroorganismů, většinou bakterií, agregovaných tzv. bioflokulací. Pokud odpadní voda obsahuje aerobní bakterie a je provzdušňována, dochází k bioflokulaci. Aktivovaný kal je směsnou bakteriální kulturou. Obsahuje také například houby, plísně, kvasinky, prvoky, ale také z vody adsorbované suspendované a koloidní látky. [3]



*Obr. 3.14: Schéma aktivačního procesu*

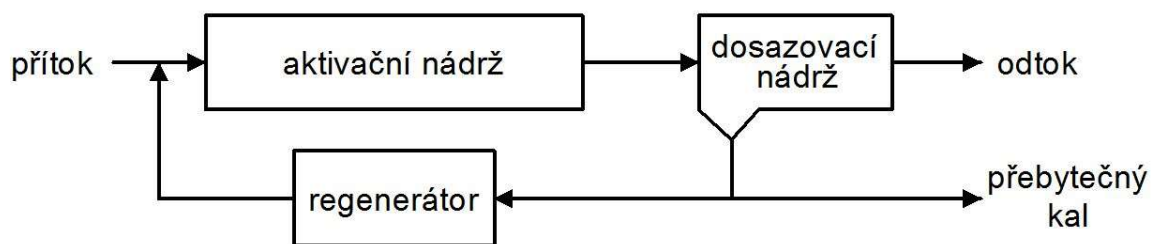
„Aktivace je dnes nejpoužívanějším způsobem biologického čištění odpadních vod.“ [4] Schéma klasické aktivace zobrazuje Obr. 3.14. Skládá se z vlastní biologické jednotky – *aktivační nádrže* a jednotky separační – *dosazovací nádrže*. Surová odpadní voda přitéká do aktivační nádrže, kde se mísí s recirkulovaným kalem. Tato směs se provzdušňuje tlakovým vzduchem nebo mechanickými aerátory, projde aktivační nádrží do dosazovací nádrže, kde se aktivovaný kal separuje od vyčištěné vody. Voda odtéká do recipientu nebo k terciálnímu stupni technologické linky. Zahuštěný kal recirkuluje zpět na začátek aktivační nádrže. Během aktivačního procesu se kontinuálně tvoří nová biomasa, která se musí ze systému odstraňovat ve formě přebytečného kalu. [3, 5]



**Obr. 3.15:** Aktivační nádrže ČOV Havlíčkův Brod [22]

## AKTIVACE S ODDĚLENOU REGENERACÍ KALU

Jedná se o modifikaci, která vznikla díky poznatku, že organické látky se odstraňují především adsorbci. Výzkumy ukázaly [5], že k odstranění znečištění z městské odpadní vody stačí pouze krátká doba zdržení (obvykle do 1 hodiny). Odpadní voda je tuto dobu s aktivovaným kalem provzdušňována v aktivační nádrži a odtéká do dosazovací nádrže. Odtud se vratný kal vede do regenerační nádrže, kde se 2 až 4 hodiny provzdušňuje. V kalu jsou zachycené látky, které jsou oxidovány, dochází k vyčerpání zásobních látek a obnovení adsorpční schopnosti kalu a jeho akumulací kapacita. Takto regenerovaný („vyhladovělý“) kal se přivádí do aktivační nádrže. [3, 5]



**Obr. 3.16:** Aktivace s oddělenou regenerací kalu

Kromě uvedených modifikací existuje řada dalších technologických variant procesu, např.:

- směšovací aktivace
- odstupňovaná aktivace
- postupně zatěžovaná aktivace
- oběhová (karuselová) aktivace
- šachtová aktivace, atd. [3]

## BIOLOGICKÉ ODSTRAŇOVÁNÍ DUSÍKU A FOSFORU

Přísun dusíku a fosforu do přírodních vod vodami odpadními je nežádoucí z důvodů:

- amoniakální dusík má vysokou spotřebu kyslíku na biochemickou oxidaci
- amoniak působí toxicky na vodní organismy
- způsobují eutrofizaci povrchových vod
- vyšší koncentrace dusičnanů v pitné vodě jsou zvláště pro kojence nebezpečné, dusitany jsou toxické [5, 6]

**Dusík** se odstraňuje biologicky (nitrifikace a denitrifikace) nebo fyzikálně chemickým principem (stripování vzduchem, chlorace, membránové procesy, ...).

**Fosfor** se také odstraňuje biologicky nebo fyzikálně chemickým principem (chemické srážení solemi kovů nebo vápnem). [6]



## NITRIFIKACE A DENITRIFIKACE

„**Nitrifikace** je biochemická oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a dále na dusičnany“ [4] Dusičnany lze dále odstranit *denitrifikací*. [6]

Nitrifikace probíhá snadno v oxických podmínkách zejména prostřednictvím chemolitotrofních organismů – *nitrifikačních bakterií*, které jako zdroj uhlíku využívají CO<sub>2</sub> a energii získávají oxidací amoniakálního dusíku na dusitany. To je prvním stupněm nitrifikace, na kterém se podílejí nitrifikační bakterie rodu Nitrosomonas. Druhým stupněm je oxidace dusitanů na dusičnany a podílejí se na něm bakterie rodu Nitrobacter. [3]

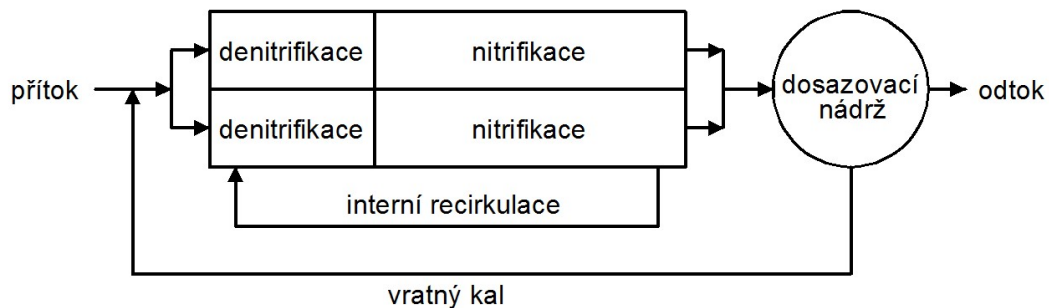
„**Denitrifikace** je biochemická redukce dusičnanů na oxidy dusíku a dále na elementární dusík, který je odvětráván do ovzduší, a tedy z vody odstraňován.“ [4]

Schéma průběhu reakcí:  $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$

Denitrifikace by měla navazovat na nitrifikaci z důvodu odbourání jejího konečného produktu – dusičnanů. Pokud je v technologické lince zařazena pouze nitrifikace, dojde jen ke změně formy dusíku z amoniakální na dusičnany, ale celkový dusík na odtoku zůstane téměř stejný jako na přítoku a dále by působil problémy při čištění. Denitrifikace probíhá snadno v anoxických podmínkách (je přítomný pouze kyslík vázaný v dusičnanech). [3]

Pro odstraňování dusíku se používá uspořádání aktivace s nitrifikační a denitrifikační částí, například **Aktivační systémy s predenitrifikací (D-N)**. Schéma je zobrazeno na *Obr. 3.17*. Interní recirkulace aktivační směsi z konce nitrifikační nádrže a vratný aktivovaný kal je mísen s odpadní vodou za anoxických podmínek. To umožňuje využít organické látky z odpadní vody jako substrát pro denitrifikaci. Dusičnany vznikají až v následujícím nitrifikačním stupni, a proto je nutné je vracet do předřazené denitrifikační zóny interní recirkulací. Denitrifikační nádrž je vybavena míchadlem, v nitrifikační je aerační systém. [6]

*D-N* uspořádání aktivace vykazuje některé nedostatky, jako je například vysoká spotřeba energie na čerpání z důvodu vysoké míry interní recirkulace. Z toho důvodu existují další různá uspořádání, např. systémy s predenitrifikací a regenerací vratného kalu *R-D-N*. [6]



**Obr. 3.17:** Schéma aktivace s predenitrifikační D-N

## AERAČNÍ SYSTÉMY

Mezi vybavení aktivačních nádrží patří také aerační systémy, které mají dvě hlavní funkce. Dodat aerobním mikroorganismům potřebné množství kyslíku a zabezpečit homogenizaci obsahu nádrže, aby mikroorganismy aktivovaného kalu byly v dostatečném styku s odpadní vodou a dodávaným kyslíkem. [3]

Způsoby provzdušňování obsahu nádrží:

- stlačeným vzduchem – pneumatická aerace
- mechanickými aerátory – mechanická aerace
- ejektory a injektory – hydropneumatická aerace
- kombinací několika zařízení

*Pneumatická aerace* probíhá pomocí kompresorů, turbodmychadel nebo ventilátorů. Aerační elementy mohou být např. děrované trubky, porézní materiály z plastů nebo keramiky, aj. Podle průměru vzduchových bublin rozdělujeme jemnobublinou (1-4 mm), středobublinou a hrubobublinou ( $d > 10$  mm) aeraci. [3]



**Obr. 3.18:** Aerační elementy v aktivační nádrži (vlevo) a dmychadla (vpravo) [22, 29]

### 3.3.4. KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ

Čistírenský kal je produktem čištění odpadních vod. Pochází z primárního, sekundárního i terciálního stupně čištění a musí být dále upravován. Na každé čistírně odpadních vod je nutné řešení problematiky kalového hospodářství. Bez úpravy kaly zapáchají a obsahují toxické látky a patogenní zárodky (bakterie, viry, červy apod.). Nakládání s kaly je řešeno legislativními normami, např. jejich transport, použití v zemědělství, skládkování atd.[4, 14]

Hlavní cíle kalového hospodářství jsou:

- redukce objemu kalu a obsahu vody
- zničení zápachu a patogenních zárodků v kalu
- minimalizace nákladů na skládkování a transport kalu
- vyhovění požadavkům na kvalitu životního prostředí
- výroba energie (ne vždy) [14]

#### TYPY ČISTÍRENSKÝCH KALŮ

Kal je směsí vody a pevných látek a z odpadní vody je oddělován různými způsoby. Tvoří přibližně 1-2 % objemu čištěných vod, ale obsahuje 50-80 % původního znečištění. Kal můžeme rozdělit podle toho, odkud je ze systému odebírán. [3]

**Primární kal** se odděluje od surové odpadní vody v objektech primární sedimentace, tedy v usazovacích nádržích nebo dalších separačních zařízeních a je odtud odebírán. Obsahuje 2-5 % sušiny.

**Sekundární kal**, který se často označuje jako přebytečný aktivovaný kal je oddělován z aktivačního systému biologického stupně čištění v dosazovacích nádržích. Obsahuje 0,5-1,5 % sušiny.

**Terciální kal**, označovaný jako chemický kal vzniká během chemického srážení (např. fosforu). Další variantou je vznik během dočišťování odtoku (terciální stupeň čištění). [4, 6]

## OBEČNÝ POSTUP ZPRACOVÁNÍ KALU

*odebírání kalu ze systému → zahušťování kalu → (předúprava kalu) → stabilizace, případně hygienizace kalu → odvodňování kalu → finální likvidace kalu [3]*

**Zahušťování kalu** je mezi procesy zpracování kalu mimořádně důležité, protože výrazně snižuje investiční a provozní náklady zpracování kalu a na jeho likvidaci. Účelem je snížení objemového množství kalové suspenze tím, že se z kalu odstraní část volné vody. Obsah sušiny po zahuštění je ideálně 5-6 %, kal má stále tekutou konzistenci a lze ho čerpat. Metody zahušťování kalu jsou *gravitační* (zahušťovací nádrže), *flotační* (tlaková flotace) a *strojní* (odstředivky, sítopásové lisy). [6]

**Stabilizace kalu** je přeměna lehce biologicky rozložitelných organických látek na minerální nebo těžce biologicky rozložitelné látky. [6] Stupeň stabilizace kalu znamená míru jeho určitých vlastností, které vyjadřují jeho vhodnost pro daný způsob využití. Neexistuje žádné univerzální kritérium pro posouzení stability. Ve stabilizovaném kalu nedochází k intenzivním biologickým pochodům, které by způsobovaly sensorické a hygienické problémy. *Stabilizovaný kal* je hygienicky nezávadný, nepáchnoucí a lze ho snadno odvodnit. U anaerobní stabilizace je získáván energeticky cenný bioplyn. [4]

*Anaerobní stabilizace* (vyhňívání) probíhá ve vyhňívacích nádržích – vodotěsných a plynotěsných reaktorech. Probíhá v anaerobních podmínkách prostřednictvím mikroorganismů, většinou ve dvou stupních. První je vyhřívání a míchaný anaerobní reaktor. Druhým je uskladňovací nádrž, ve které stále probíhají některé metanizační (vyhňívací) pohody a dochází k oddělení kalové vody, která je vracena do technologické linky před aktivaci. Stabilizovaný kal je poté odvodňován a finálně zpracován. [4, 6]



**Obr. 3.19:** Zleva: zahušťovací nádrže, plynojem a vyhňívací nádrže [22]

**Odvodňování kalu** následuje za stabilizací. Výsledkem je kal s obsahem sušiny 20-50 %. Konzistence bývá pevná a lze s ním mechanicky zacházet jako se zeminou. Odvodňování může být *přirozené*, které se provádí na kalových polích a lagunách nebo *strojní*, pomocí pásových lisů, kalolisů, dekantčních odstředivek nebo termicky. Mechanické způsoby odstraňování vody jsou energeticky řádově výhodnější než termické odvodňování. Odvodněný kal bývá před finálním zpracováním akumulován v kontejnerech. [3, 12]



**Obr. 3.20:** Dekantační odstředivka a kontejner na akumulaci odvodněného kalu

**Konečné zpracování kalu** je buď jeho další využití nebo likvidace. To záleží na jeho vlastnostech a místních podmínkách. Odvodněný a stabilizovaný kal je na konci čistírenského procesu nutné odstranit z čistírny. Nejlepším řešením je pro čistírny následné využití kalu, nejčastěji v zemědělství jako hnojivo. Kal nesmí obsahovat některé nepřipustné látky (těžké kovy, patogenní mikroorganismy), jejichž obsah je přísně limitován. Dále se kal využívá pro kompostování nebo v omezeném množství do stavebních materiálů.

Likvidace kalu probíhá buď spalováním nebo skládkováním. Spalování je nejúčinnější hygienizací materiálu. Objem kalu se výrazně zmenší a popel bývá skládkován. Skládkovat lze pouze stabilizovaný a odvodněný kal. Skládkovat lze kal např. na skládkách komunálního odpadu, pokud kal vyhovuje všem legislativním požadavkům. [3, 6]

## **4. SOUVISEJÍCÍ LEGISLATIVA**

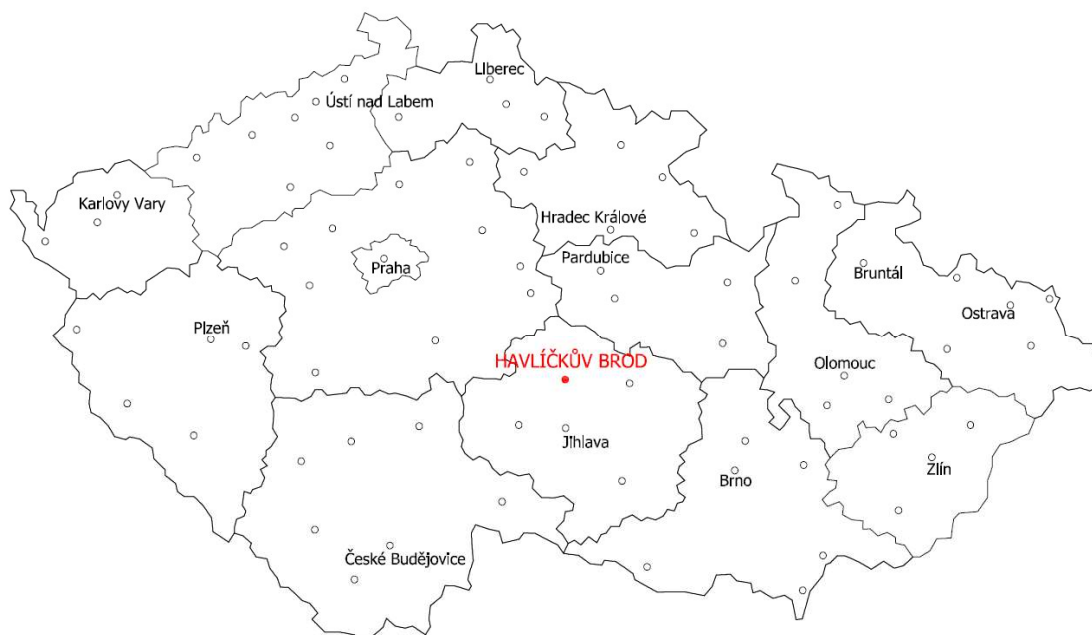
### **4.1. ZÁKONY**

- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

### **4.2. OSTATNÍ LEGISLATIVA**

- 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
- Směrnice Rady č. 86/278/EHS o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství
- Směrnice Rady č. 91/271/EHS, o čištění městských odpadních vod
- Vyhláška č. 123/2012 Sb., o poplatcích za vypouštění odpadních vod do vod povrchových
- Povolení Krajského úřadu Kraje Vysočina k vypouštění předčištěných městských odpadních vod ze stávající čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod

## 5. ČOV HAVLÍČKŮV BROD



*Obr. 5.1: Mapa České republiky*

### 5.1. POPIS ODVODŇOVANÉ OBLASTI

Město Havlíčkův Brod leží v kraji Vysočina, okrese Havlíčkův Brod. První zmínka o městě je z roku 1256. Původní název města byl Smilův Brod, později Německý Brod a od roku 1945 nese město název Havlíčkův Brod. Město o rozloze 6 494 ha s nadmořskou výškou 422-488 m n. m. má přibližně 23 400 obyvatel (k 1. 1. 2016). Havlíčkovým Brodem protéká řeka Sázava, do které jsou v říčním km 159,29 vypouštěny vyčištěné vody z Havlíčkobrodské čistírny odpadních vod. [18, 27]

Do čistírny jsou přiváděny odpadní vody od obyvatelstva, městského vybavení a vody průmyslové, například ze škrobárenského průmyslu (společnost *Naturamyl a.s.*) vody plavicí, prací, hlízové a technologické, které jsou předčištěny ve škrobárně. Odpadní vody z pšeničné škrobárny, výroby sirupu a lepidel (společnost *Amylon a.s.*).

Dalším připojeným subjektem je *Měšťanský pivovar Havlíčkův Brod a.s.* se zákazem vypouštění kvasnic a mláta do kanalizace. Průmyslové odpadní vody ze společnosti *Pleas a.s.*, které jsou před vypuštěním do průmyslové kanalizace homogenizovány ve vyrovnávací nádrži společnosti. A odpadní vody ze strojírenského průmyslu (společnost *Zetor Havlíčkův Brod a.s.*). [13]

## 5.2. CHARAKTERISTIKA ČOV HAVLÍČKŮV BROD



*Obr. 5.2: Letecký pohled ČOV Havlíčkův Brod [22]*

### 5.2.1. HISTORIE HAVLÍČKOBRODSKÉ ČOV

Havlíčkovu Brodu chyběla dlouhá léta čistírna odpadních vod. Při každoroční škrobárenské kampani hynula řeka Sázava pod náporom pěny. Stavba ČOV byla zahájena až v roce 1985 v městské části Perknov. Čtyři roky od zahájení stavby začala mechanicko-biologická čistírna se selektorovou aktivací čistit vody od obyvatelstva i průmyslových podniků.



V té době moderní čistírna vybavena mechanickým předčištěním a následnou středobublinnou aerací, dokázala čistit i obtížně čistitelné škrobárenské vody.

V roce 1993 byla upravena aktivační část čistírny. Na přítoku do aktivace byly vybudovány neprovzdušňované zóny s míchadly. Díky tomuto uspořádání bylo možné biologické odstraňování fosforu.

Následná intenzifikace čistírny, které proběhla v roce 2001 byla zaměřena na odbourávání dusíkatých látek a zhospodárnění provozu. Byla provedena rekonstrukce aktivace a dmychárny. Navíc byla osazena kogenerační jednotka TEDOM, která dokáže ze vzniklého bioplynu vyrobit až 140 kW elektrické energie a 200 kW energie tepelné. Od konce roku 2006 je v provozu i druhá kogenerační jednotka a dohromady nyní vyrobí až 300 kW elektrické energie a 420 kW energie tepelné. Dále byly nainstalovány fotovoltaické panely na střechy objektů a přilehlé pozemky. Dnes je ČOV v tomto ohledu téměř soběstačná. [13, 16, 22]



**Obr. 5.3:** Výstavba ČOV HB, dosazovací nádrž, aktivace a vyhnivací nádrž [22]

## 5.2.2. SOUČASNÝ STAV ČOV HAVLÍČKŮV BROD

Čistírnu odpadních vod provozuje společnost Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a. s., která byla založena v roce 1993. Většinovým vlastníkem společnosti jsou města a obce z regionu, které drží více než 80 % akcií. Kromě ČOV v Havlíčkově Brodě provozuje společnost dalších 8 čistíren odpadních vod, například v Chotěboři a Světlé nad Sázavou. [19]

Čistírna byla navrhována pro 250 000 ekvivalentních obyvatel (EO), po intenzifikaci v roce 2001 pro 125 000 EO a průměrný denní přítok  $Q_{24} = 9\,000\text{ m}^3\cdot\text{den}^{-1}$ . Projektové parametry ČOV jsou uvedeny v tabulce *Tab. 5.1.* [22]

<b>Množství odpadních vod</b>			
<b>Název</b>	<b>Značení</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
průměrný denní přítok	$Q_{24}$	$\text{m}^3\cdot\text{den}^{-1}$	9 000
		$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	104
denní (výpočtový) přítok	$Q_d$	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	562
		$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	156
maximální přítok do AN	$Q_{\text{max, b}}$	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	1 100
		$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	306
<b>Znečištění odpadních vod</b>			
<b>Název</b>	<b>Značení</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Hodnota</b>
minimální organické znečištění	$\text{BSK}_5$	$\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$	3 500
průměrné organické znečištění	$\text{BSK}_5$	$\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$	4 500
maximální organické znečištění	$\text{BSK}_5$	$\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$	7 500
nerozpuštěné látky	NL	$\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$	1 300
nitrifikovatelný dusík pr.	SNH	$\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$	450
provozní koncentrace kalu	X	$\text{kg}\cdot\text{m}^3$	3-4

*Tab. 5.1: Kapacita čistírny [13]*

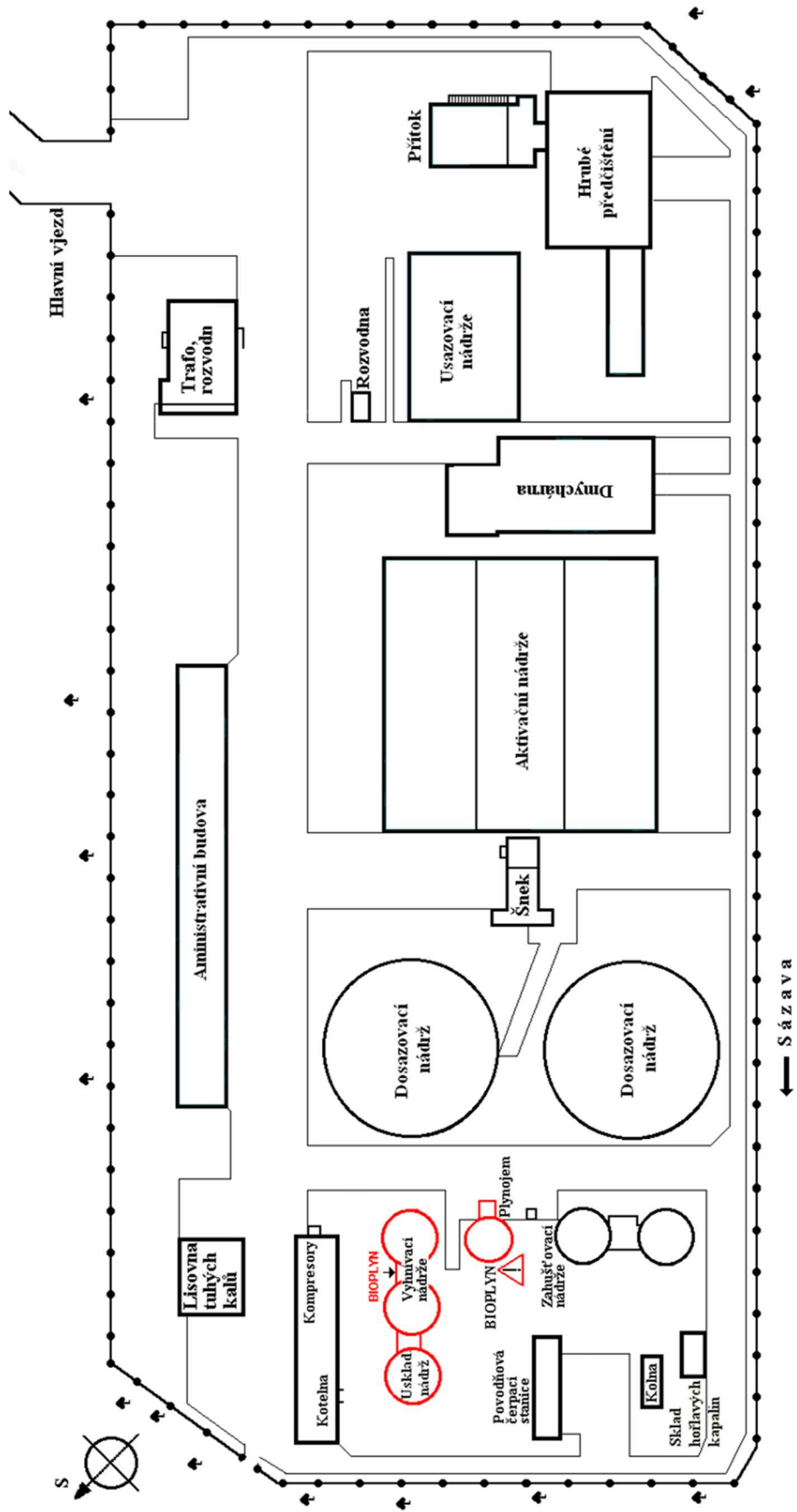
Během posledních let došlo k odpojení významných zdrojů znečištění, např. průmyslových odpadní vody ze škrobárenského průmyslu (*Naturamyl a.s.*), strojírenského průmyslu (*Zetor Havlíčkův Brod a.s.*) a dalších z důvodu útlumu činnosti nebo zrušení těchto firem. V současné době je čistírna provozována na hodnotu 91 500 připojených ekvivalentních obyvatel, a spadá tak do kategorie ČOV 10 001-100 000 EO. [27]

### 5.2.3. OBJEKTY HAVLÍČKOBRODSKÉ ČOV

Čistírna je mechanicko-biologická, aktivace je sestavena jako klasický R-D-N systém, do kterého je začleněna anaerobní zóna. V kalovém a plynovém hospodářství jsou osazeny kogenerační jednotky na výrobu elektrické a tepelné energie. [13]

Čistírna je sestavena z následujících objektů a provozních souborů:

- vypínací objekt na přítoku ČOV
- ručně stírané česle
- lapák štěrku
- vstupní čerpací stanice
- hrubé předčištění – strojně stírané česle
- provzdušňovaný lapák písku – 2 komorový
- usazovací nádrže 2x
- aktivační nádrže
- dmychárna
- dosazovací nádrže (2x)
- šneková čerpací stanice vratného kalu
- povodňová čerpací stanice na odtoku ČOV
- AT stanice provozní vody
- čerpací stanice surového kalu
- zahušťovací nádrž surového kalu s čerpací stanicí zahuštěného kalu
- vyhnívací nádrže 2x s výstupní věží
- uskladňovací nádrž vyhnílého kalu
- plynojem s armaturní komorou
- strojovna kalového hospodářství s kotelnou, strojovnou a plynovou kompresorovnou
- kogenerační jednotky
- odvodňovací stanice kalu s dekantací a zahušťovací odstředivkou
- trafostanice
- sdružený objekt s velínem, laboratořemi, dílnami, garážemi a sklady [13]



Obr. 5.4: Schéma ČOV Havlíčkův Brod [22]

V současné době protéká havlíčkobrodskou čistírnou odpadních vod přibližně 7 000 m<sup>3</sup> odpadní vody za den. Voda vtéká do *vypínací šachty* čistírny, která má dvojici hradítek. Jedno pouští vodu do čistírny, druhé v případě havarijního stavu umožňuje odtok do řeky Sázavy odlehčovací stokou DN 1200. Následují ručně stírané *hrubé česle* a *lapák štěrku* s průtočnou plochou 1,64 m<sup>2</sup>. Součástí je *jeřáb s drapákem*, kterým se těží všechny zachycené předměty do přistaveného kontejneru, který je poté vyvezen na skládku. [13, 22]



**Obr. 5.5:** Vypínací šachta a česle s lapákem štěrku a drapákem [22, 29]

Následuje *vstupní šneková čerpací stanice* se třemi šnekovými čerpadly ( $Q = 685 \text{ l.s}^{-1}$ ) navržených pro čerpání splaškových odpadních vod a dvěma šnekovými čerpadly ( $Q = 300 \text{ l.s}^{-1}$ ) pro čerpání průmyslových odpadních vod. V současné době se splaškové i průmyslové odpadní vody čerpají jedním čerpadlem. Za bezdeštného období menším, během deště větším šnekovým čerpadlem. Voda je přečerpávána do objektu hrubého předčištění na *strojně stírané jemné česle* Fontana nebo Hydropress, případně na záložní ručně stírané česle. Projektované parametry jsou 234 kg shrabků za den,  $0,36 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$  z množství odpadních vod  $9\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ . Shrabky jsou pomocí dopravníku přesouvány do kontejneru, který je po naplnění odvážen na skládku. [13, 22]



**Obr. 5.6:** Šneková čerpací stanice a česle Fontana

Další součástí technologické linky čistírny je dvoukomorový *provzdušňovaný lapák písku* typu LPP 360 s celkovým užitným objemem 582,8 m<sup>3</sup> a užitným povrchem 194,2 m<sup>2</sup> a dobou zdržení 1340 sekund při  $Q_{24} = 217,22 \text{ l.s}^{-1}$ . Při bezdeštném průtoku je v provozu jen 1 komora lapáku. Vzduch zajišťovaly dvě turbodmychadla, každé o výkonu 16 000 m<sup>3</sup> vzduchu za hodinu, která bylo v roce 2001 z důvodu úspory elektrické energie demontována. Nyní jsou v dmychárně osazena objemová dmychadla s frekvenčními měniči, každé o výkonu 5 300 m<sup>3</sup> vzduchu za hodinu. Dmychárna také dodává vzduch do aktivačních nádrží. Písek je z lapáku těžen mamutkou a odvážen na skládku.

Posledním objektem mechanické části čistírny jsou *usazovací nádrže*. ČOV Havlíčkův Brod má dvě podélné usazovací nádrže o půdorysných rozměrech 12 x 36 m. Objem usazovacích nádrží je 2 508 m<sup>3</sup>. Doba zdržení při průtoku  $Q_{24}$  je 1,35 hod. Za usazovacími nádržemi je odlehčovací komora s odlehčovaným množstvím 644 l.s<sup>-1</sup>.



**Obr. 5.7:** Lapák písku a usazovací nádrž [29]

Z části mechanického čištění ČOV přitéká voda k biologické části čistírny do *aktivačních nádrží*. Aktivace je selektorová s oddělenou regenerací kalu. Jedná se o klasický R-D-N systém, do kterého je začleněna anaerobní zóna. Vybrané parametry aktivace:

- zatížení aktivace  $BSK_5 = 4\,500 \text{ kg.d}^{-1}$
- zatížení aktivace  $CHSK = 9\,000 \text{ kg.d}^{-1}$
- hydraulické zatížení  $9\,000 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$
- objem aktivace  $9\,565 \text{ m}^3$

Schéma aktivace je zobrazeno na obrázku **Obr. 5.8**.



S1, S2, S3 – nitrifikace

D – denitrifikace

R – regenerátor

F – nádrž na fugát

ZL – záložní linka

→ průtok technologickou linkou za běžného stavu

→ vnitřní recykl

→ vratný kal

→ průtok záložní technologickou linkou (během rekonstrukce)

**Obr. 5.8:** Schéma průtoku aktivací ČOV Havlíčkův Brod [22]



**Obr. 5.9:** Celkový pohled na aktivaci, nitrifikace a denitrifikace [22]

Čistírna odpadních vod v Havlíčkově Brodě byla vybudována na umělém ostrově mezi řekou Sázavou a náhonem na bývalý mlýn. [16] Umělý ostrov byl vybudován právě kvůli stavbě čistírny, navážka místy dosahuje až šesti metrů. [15] Při prázdnění nádrží se začnou projevovat vztlkové účinky spodní vody. V okolí aktivačních nádrží jsou vybudovány čtyři čerpací studny pro snížení hladiny spodní vody. Podle konstrukčního posouzení nádrží byly stanoveny maximální hladiny spodní vody pro aktivační, usazovací a dosazovací nádrže. Z toho důvodu zůstává záložní linka aktivace stále částečně napuštěna.

K odstranění fosforu se dříve používal síran železitý. Dávkování se skládalo z dvouplášťové PP nádrže o objemu 10 m<sup>3</sup>, dávkovacího čerpadla PROMINENT a řídicí jednotky. V současné době se místo síranu železitého používá chlorid železitý 40%.



Po aktivaci následují dvě kruhové monolitické *dosazovací nádrže* o průměru 40 m, které jsou posledním stupněm čištění. Shrabování kalu do jímky je zajištěno shrabovacím mostovým zařízením a je dále odveden potrubím DN 400 mm do čerpací stanice vratného kalu. Vyčištěná voda odtéká přes přelivnou hranu a měrný objekt do řeky Sázavy.



**Obr. 5.10:** *Dasazovací nádrž a meteorologická stanice [22, 29]*

V havlíckobrodské čistírně je *meteorologická stanice*, která je využívána zejména z důvodu měření teploty vzduchu a množství srážek. [13, 22]

Další součástí ČOV je kalové hospodářství. Zahuštění kalu probíhá ve dvou *zahušťovacích nádržích* o průměru 12 m. V kalovém hospodářství čistírny jsou dále dvě *vyhnilovací nádrže*. Jedná se o kruhové železobetonové nádrže s plochým dnem a vrchlíkem z ocelového plechu síly 8 mm. Nádrže mají průměr 12,5 m a výšku 16,8 m. *Uskladňovací nádrž*, která slouží pro uskladnění a zahuštění vyhnilého kalu je železobetonová, otevřená nádrž válcového tvaru. Míchání se provádí vzduchem. Nádrž je vybavena třemi odběrovými horizonty kalové vody.

Další součástí je *plynojem s armaturní komorou*. Jedná se o šroubový ocelový plynojem, který je osazen v železobetonové nádrži napuštěné vodou (vodní uzávěra). Provozní tlak je 145 m v. sl. Činný objem plynojemu je 300 m<sup>3</sup>, což je zhruba desetina denní produkce plynu.

V *odvodňovací stanici kalu* je dekantační odstředivka NX 4500 firmy ALFA LAVAL a zahušťovací odstředivka od stejné firmy. Tyto nahradily 3 pásové lisy CENED 1500. Odvodněný kal je pomocí dopravníku přesouván do kontejneru a dále je odvážen

na kompostárnu v Neškaredicích, kde probíhá jeho hygienizace a následně je používán v zemědělství [13, 15]



**Obr. 5.11:** Zahušťovací nádrže, plynojem a vyhnívací nádrže ČOV Havlíčkův Brod [22]



**Obr. 5.12:** Dekantační odstředivka a lisovna tuhých kalů s kontejnerem na kal [22, 29]

V roce 2001 byla na ČOV osazena první kogenerační jednotka a v roce 2006 byla přidána druhá. Jedná se o kogenerační jednotky TEDOM, které slouží k výrobě energie pro ČOV. Dohromady vyrobí  $300 \text{ kW}\cdot\text{hod}^{-1}$  elektrické energie a  $420 \text{ kW}\cdot\text{hod}^{-1}$  energie tepelné. Odpadní teplo, které vzniká provozem motorů kogeneračních jednotek je využíváno pro vyhřívání vyhnívacích nádrží a provozních budov čistírny. Dalším alternativním zdrojem energie jsou fotovoltaické panely, které jsou osazeny na střeších budov a okolních pozemcích čistírny. Od roku 2000, kdy byl odběr elektrické energie ze sítě  $3\,334 \text{ MWh}$  za rok se tato hodnota výrazně snížila a v roce 2013 už byla pouze  $287 \text{ MWh}$  elektrické energie za rok viz tabulka *Tab. 5.2*.

Rok	Odběr el. energie ČEZ [MWh/rok]	Výroba v kogeneračních jednotkách [MWh/rok]		Provozní spotřeba ČOV [MWh/rok]
		KJ 1	KJ 2	
2000	3 334	—	—	3 334
2003	1 732	638	—	2 370
2004	1 461	904	—	2 365
2005	1 684	1 188	—	2 872
2006	1 464	1 115	173	2 752
2007	676	1 072	1 418	3 166
2008	310	1 029	1 315	2 654
2009	344	1 034	1 304	2 682
2013	287	1 014	1 173	2 259

*Tab. 5.2: Výroba a provozní spotřeba elektrické energie [22]*



*Obr. 5.13: Kogenerační jednotka a fotovoltaické panely [29]*

## 5.2.4. REKONSTRUKCE 2016

Od dubna do června roku 2016 proběhla na havlíčkobrodské čistírně odpadních vod rekonstrukce. Z důvodu nevyhovujícího stavu aktivačních nádrží a jejich vybavení proběhla jejich *rekonstrukce a dovybavení*. Rozsah této akce se skládal ze tří částí:

1. Výměna aeračních elementů, včetně příslušenství – objímek, vsuvek a odvodnění. Dále pak doplnění vybavení pro dávkování kyseliny do rozvodů tlakového vzduchu.
2. Úpravy nádrží biologické linky pro možnost odstavení nitrifikační nádrže č. 2.
3. Vybavení nitrifikační nádrže č. 2 pro provoz při odstavení z biologické linky. [10]

Výměna aerační elementů proběhla v regeneraci kalu a trojici nitrifikačních nádrží. Byly zde instalovány jemnobublinné aerační elementy, objímky a vsuvky. Vyměněny byly i odvodnění jednotlivých roštů, tzn. potrubí včetně uzavírací armatury. Ponechány byly pouze rošty a přívody vzduchu. Pro čištění provzdušňovacích elementů bude užívána kyselina mravenčí.

Z důvodu možnosti odstavení nitrifikační nádrže č. 2 byl vytvořen propoj mezi nitrifikační nádrží č. 1 a nitrifikační nádrží č. 3 a bylo osazeno vybavení pro uzavření propojů mezi nádržemi č. 1 a č. 2 a nádržemi č. 2 a č. 3. Nový propoj byl vytvořen vybouráním otvoru v dělicí stěně a osazením uzavíracího stavidla. Přístup k ovládání byl zajištěn nově nainstalovanou obslužnou plošinou.

Nitrifikační nádrž číslo 2 byla navíc vybavena ponornými vrtulovými míchadly pro případ provozu bez provzdušňování. [10]



**Obr. 5.14:** Výměna aeračních elementů [22]

Po dobu rekonstrukce hlavní linky aktivace probíhalo biologické čištění v záložní lince viz schéma *obr. 5.8* na straně 47. Záložní linka nedosahuje takové účinnosti čištění, ale pro vydání povolení byly navýšeny emisní limity oproti standartním, které jsou uvedeny v následující kapitole.



*Obr. 5.15: Vybouraný otvor se stavidlem a záložní linka aktivace [22]*

## 5.3. VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI ČOV HAVLÍČKŮV BROD

Čistírna odpadních vod v Havlíčkově Brodě je v současné době provozována pro hodnotu 91 500 připojených ekvivalentních obyvatel, a spadá do kategorie ČOV 10 001-100 000 EO. Podle její velikosti vyplývají pro ČOV různé požadavky na vypouštěné znečištění, účinnost čištění, odběr vzorků a další.

### 5.3.1. ODBĚR VZORKŮ

Dle 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, konkrétně Přílohy č. 4 tohoto nařízení má Havlíčkobrodská ČOV povinnost odebrat minimálně 26 vzorků typu C. Odběry musí být rovnoměrně rozloženy během roku a neměly by být prováděny za neobvyklých situací, např. při přívalových deštích nebo povodních. Typ vzorku C je 24 hodinový směsný vzorek získaný sléváním 12 dílčích vzorků odebíraných v intervalu 2 hodin o objemu úměrném aktuální hodnotě průtoku v době odběru dílčího vzorku. [26]

Dále jsou v Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. uvedeny emisní standardy typu „p“ a typu „m“, podle kterých nařizuje vodoprávní úřad emisní limity v povolení k vypouštění odpadních vod. Tyto emisní limity typu „p“ se považují za dodržené, pokud míra jejich překročení nepřesáhne hodnoty uvedené v příloze č. 5 k tomuto nařízení. Například pro celkový počet vzorků 17-28 jsou přípustné 3 nevyhovující vzorky. [26]

Emisní standardy a emisní limity typu „m“ jsou nepřekročitelnými hodnotami. [26]

Další povinností ČOV Havlíčkův Brod je *rozbor kalů*. Pro ČOV je povinných 6 rozborů za rok, ale běžně se pro vlastní kontrolu provádí 12 rozborů za rok. Kal je dále využíván v zemědělství, případně za nepříznivého počasí z důvodu nesjízdných polních cest se dováží na kompostárnu v Čáslavi. [15]

### 5.3.2. EMISNÍ STANDARTY A LIMITY PRO ČOV

UKAZATEL	EMISNÍ STANDARTY		EMISNÍ LIMITY		
	„p“	„m“	„p“	„m“	množství
	[mg/l]		[mg/l]		[t/rok]
CHSK <sub>Cr</sub>	90	130	70	100	205.8
BSK <sub>5</sub>	20	40	15	30	44.1
NL	25	50	15	30	44.1
N <sub>celk</sub>	15	30	15	30	50.4
P <sub>celk</sub>	2	6	2	5	6.7

**Tab. 5.3:** Emisní standardy a limity [26, 27]

Tabulka Tab. 5.3 vychází z Nařízení vlády 401/2015 Sb. a Rozhodnutí Krajského úřadu Kraje Vysočina, jako věcně příslušného vodoprávního úřadu ze dne 8. 11. 2012. V tomto rozhodnutí povoluje žadateli, společnosti *Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a. s.* vypouštění předčištěných městských odpadních vod ze stávající čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod s počtem napojených ekvivalentních obyvatel 91 500 do vod povrchových, tedy do významného vodního toku Sázava.

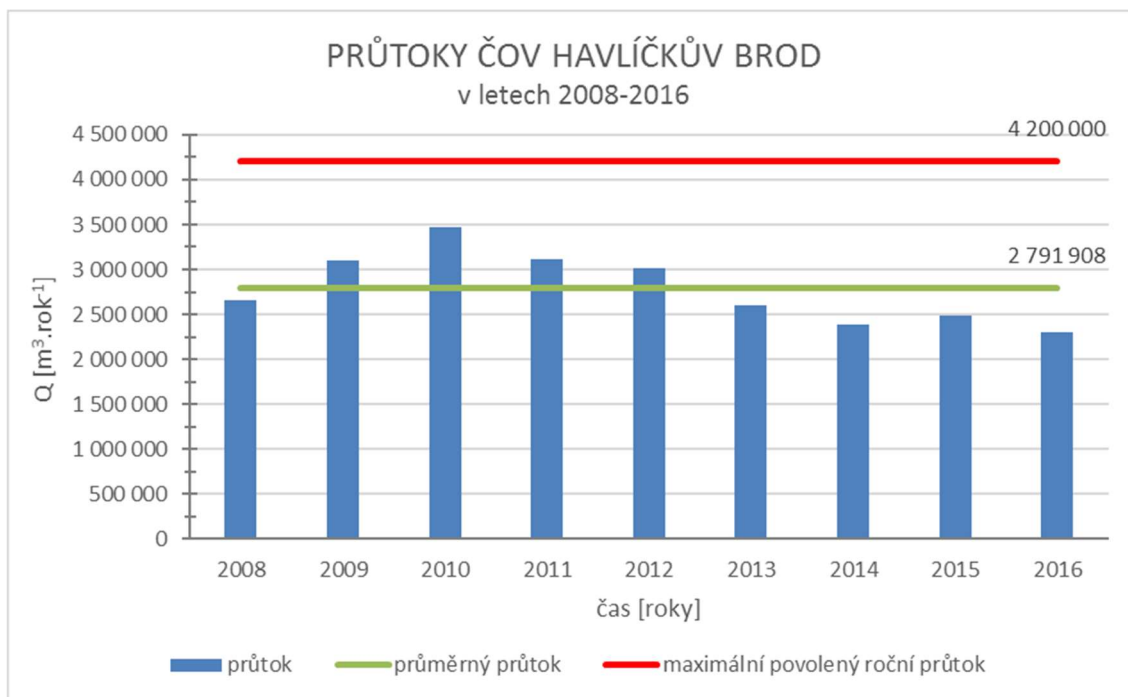
K vypouštění dochází v říčním km 159,29 na pozemku parcelní číslo 752/5, k. ú. Perknov v množství:

$$Q_{\text{prům}} = 133 \text{ l.s}^{-1}, Q_{\text{max}} = 487 \text{ l.s}^{-1}, Q_{\text{max}} = 520 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{měsíc}^{-1}, Q_{\text{max}} = 4\,200 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$$

a jakosti dle tabulky Tab. 5.3. Platnost povolení je 10 let ode dne jeho nabytí právní moci.

Většina hodnot emisní limitů je přísnější než emisní standardy. Oproti předchozímu povolení byla zpřísněna hodnota „p“ u ukazatele P<sub>celk</sub>. V průběhu několika let zpět došlo k odpojení několika významných zdrojů průmyslových odpadních vod, ale množství vypouštěných odpadních vod zůstalo oproti předchozímu povolení nezměněno z důvodu možnosti připojení nových lokalit rodinných domů v Havlíčkově Brodě. [27] V současné době je například projektováno výtlačné potrubí odpadních vod z obce Okrouhlice na čistírnu odpadních vod v Havlíčkově Brodě. K napojení by mělo dojít nejpozději v roce 2018. [15]

### 5.3.3. PRŮTOKY ODPADNÍ VODY

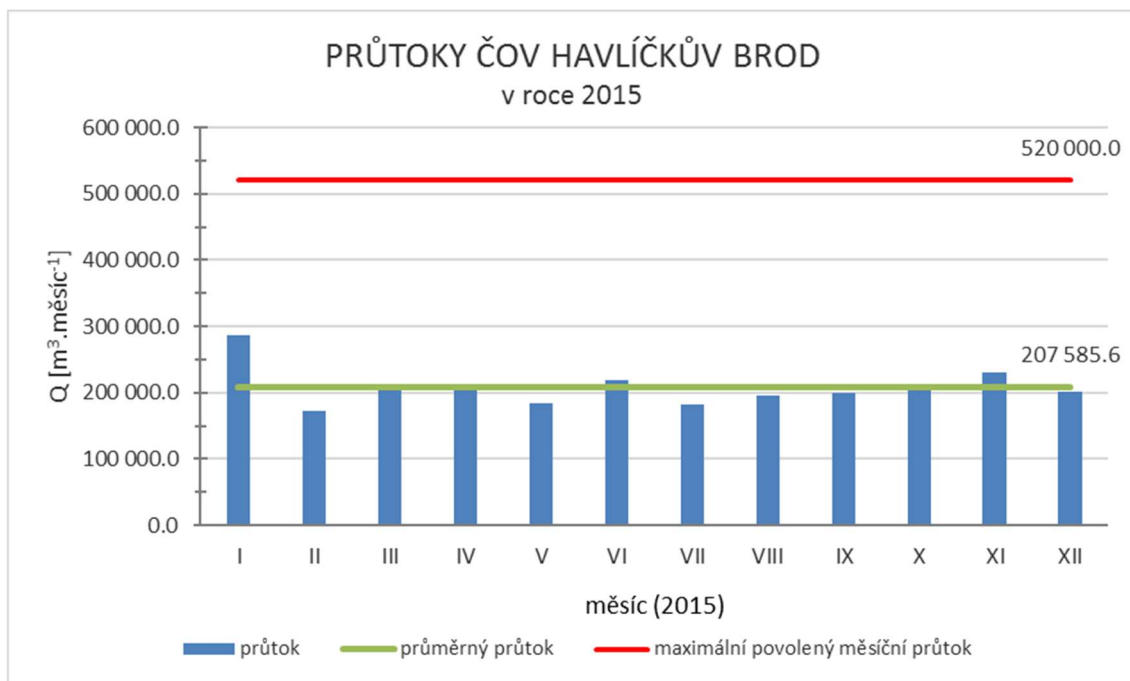


**Graf 5.1:** Průtoky havlíckobrodskou čistírnou v letech 2008-2016

ČOV Havlíčkův Brod může podle vodoprávního povolení vypouštět 4 200 tis. m<sup>3</sup> předčištěné městské odpadní vody za rok. V grafu 5.1 lze vidět, že skutečné množství vypouštěných vod je výrazně nižší. Průměrně v letech 2008 až 2016 vypouštěla ČOV Havlíčkův Brod 2 792 tis. m<sup>3</sup> předčištěné odpadní vody za rok. Graf také dále ukazuje klesající trend množství vypouštěné vody v jednotlivých letech. Příčinou může být nižší spotřeba pitné vody z důvodu zvyšování její ceny, výrobou úspornějších spotřebičů a osvěty obyvatel. Spotřeba vody je přímo svázána s množstvím přitékajících odpadních vod na ČOV. Druhým důvodem je také odpojení některých významných zdrojů průmyslové odpadní vody v Havlíčkově Brodě. Dále také díky snaze podnikatelů využívat srážkové vody v provozu, například na chlazení, wc nebo zalévání. Tím pádem nemusí platit poplatky za vypouštění těchto vod do jednotné kanalizace, a navíc je to v souladu s koncepcí udržitelného využívání srážkových vod a jejich zadržení v krajině. [15]

Průměrný měsíční průtok ČOV Havlíčkův Brod v roce 2015 byl 208 tis. m<sup>3</sup> odpadní vody a byl tedy více než dvakrát nižší než povolené množství 520 tis. m<sup>3</sup>. Jednotlivé měsíční průtoky v roce 2015 lze vidět v grafu 5.2.



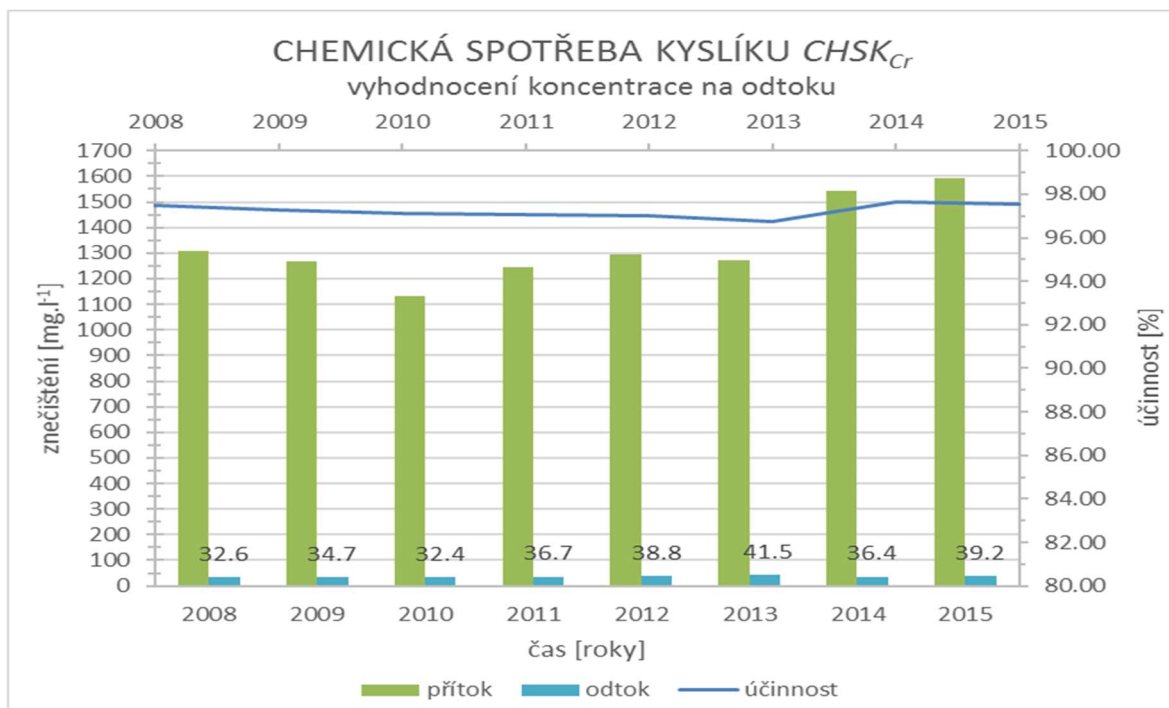


**Graf 5.2:** Průtoky v roce 2015

Průtoky po rekonstrukci v roce 2016 jsou zobrazeny v grafu č. 1 v příloze č. 1 této bakalářské práce. Lze vidět další snížení množství odpadní vody, průměrný měsíční průtok byl 184 tis. m<sup>3</sup>. Velký rozdíl oproti povolenému množství je rezervou pro připojení domů z nově vznikajících lokalit v Havlíčkově Brodě. [27]

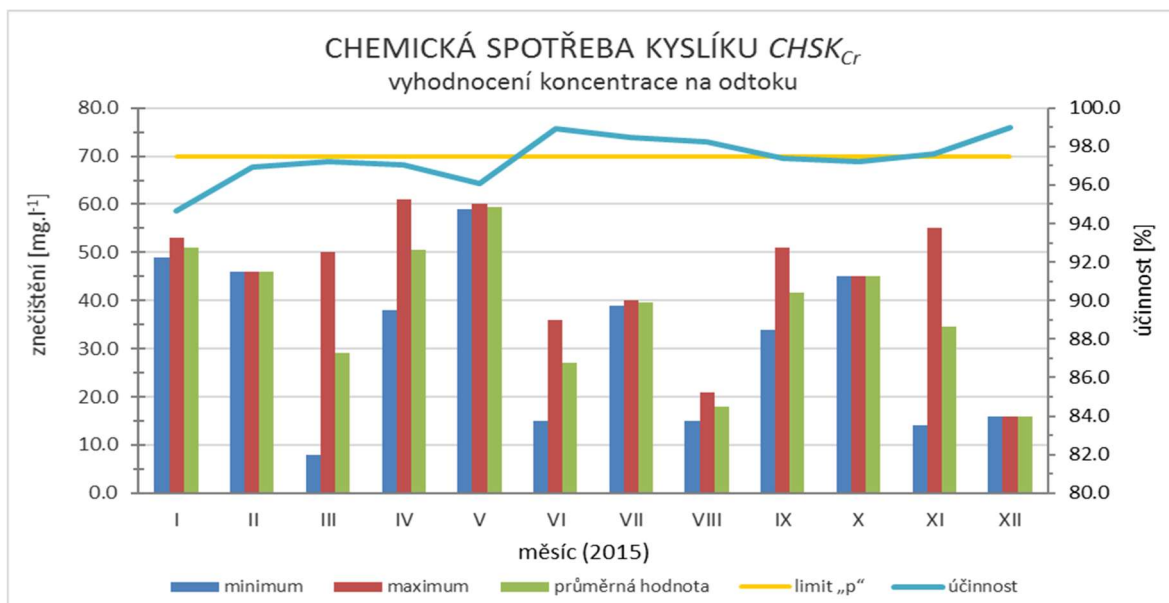
#### 5.3.4. CHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU $CHSK_{Cr}$

Emisní limit „p“ pro ukazatel znečištění  $CHSK_{Cr}$  je dle vodoprávního povolení 70 mg.l<sup>-1</sup>. Průměrné roční hodnoty v letech 2008-2015 se pohybují od 32,4 do 41,5 mg.l<sup>-1</sup> s průměrnou dlouhodobou účinností čištění 97,2 %. Minimální přípustná účinnost čištění pro ukazatel  $CHSK_{Cr}$  a kategorii ČOV 10 0001-100 000 je 75 %, tedy ČOV Havlíčkův Brod dosahuje výrazně vyšší účinnosti čištění, než je minimální přípustná. Jednotlivé znečištění na přítoku a odtoku v daných letech a účinnost čištění jsou zobrazeny v grafu 5.3.



**Graf 5.3:** Znečištění  $CHSK_{Cr}$  a účinnost čištění v letech 2008-2015

V grafu 5.4 je zobrazeno znečištění na odtoku a účinnost čištění v jednotlivých měsících roku 2015. Je zde zobrazeno minimální, maximální naměřená koncentrace znečištění a průměrné znečištění v daném měsíci. Nejnižší účinnost 94,7 % byla v lednu, nejvyšší v prosinci, kdy dosáhla 99 %. Průměrná hodnota účinnosti za rok 2015 byla 97,4 % a výrazně překračuje minimální přípustnou účinnost danou nařízením vlády 401/2015 Sb.



**Graf 5.4:** Znečištění  $CHSK_{Cr}$  a účinnost čištění v měsících roku 2015

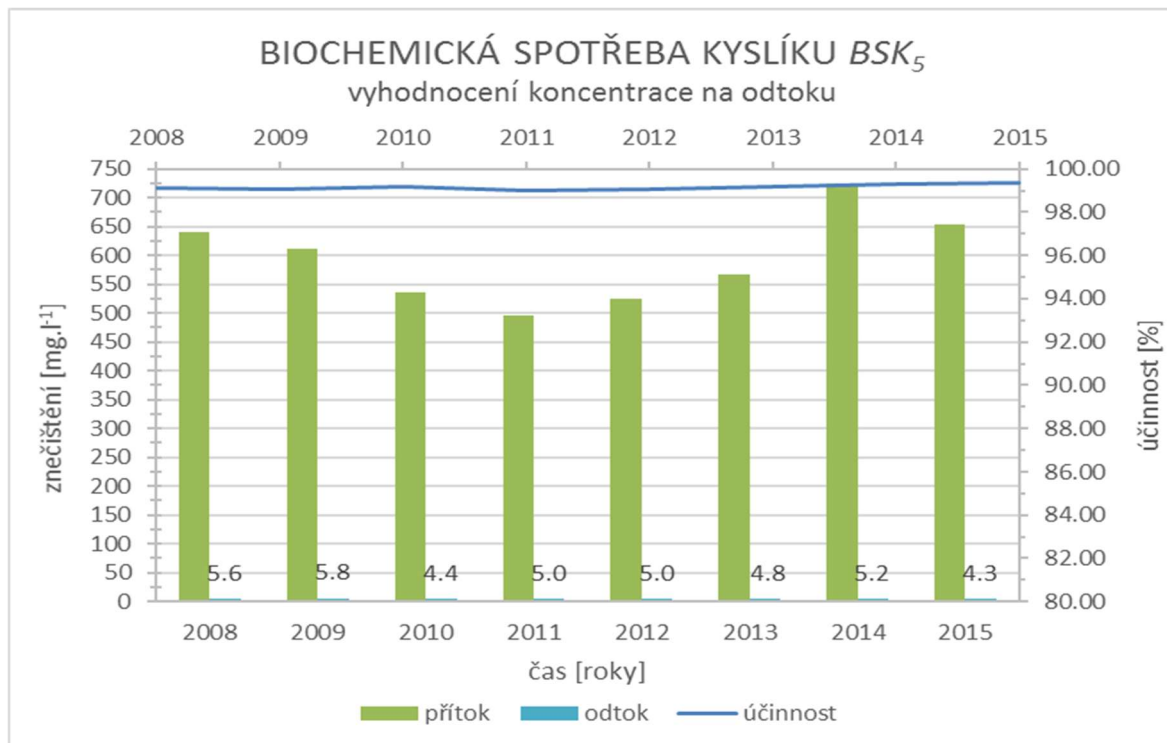
Míra znečištění na odtoku byla po rekonstrukci v roce 2016 mezi 13,4 a 53 mg.l<sup>-1</sup>. Průměrná účinnost se zvýšila na 98,3 % a je tedy vyšší oproti roku 2015 i dlouhodobému průměru. Žádná z naměřených hodnot v roce 2015 ani 2016 nepřekročila emisní limit „p“.

Graf *Znečištění CHSK<sub>Cr</sub> a účinnost čištění po rekonstrukci v roce 2016* je grafem č. 2 v příloze č. 1 této bakalářské práce.

### 5.3.5. BIOCHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU BSK<sub>5</sub>

V případě biochemické spotřeby kyslíku BSK<sub>5</sub> je emisní limit „p“ 15 mg.l<sup>-1</sup> a minimální přípustná účinnost čištění 85 %. V průběhu let 2008-2015 se průměrné roční hodnoty koncentrace znečištění na odtoku pohybovaly v rozmezí 4,3-5,8 mg.l<sup>-1</sup> a dlouhodobá průměrná účinnost čištění byla 99,15 %. Účinnost čištění je v jednotlivých letech téměř konstantní a hodnota 99,15 % výrazně převyšuje minimální přípustnou účinnost 85 %.

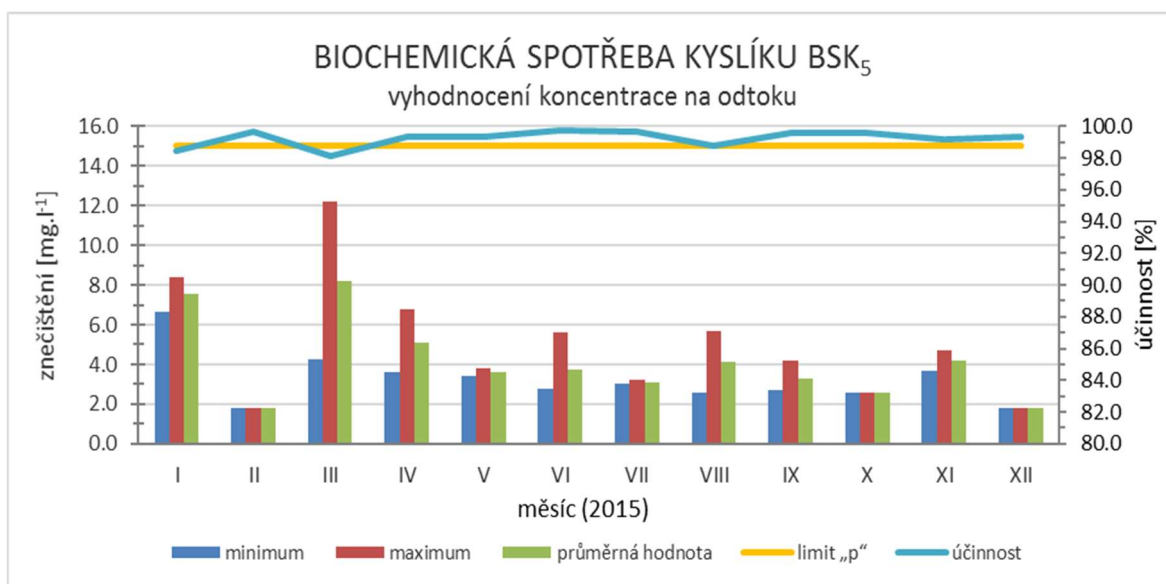
Všechny hodnoty jsou zobrazeny v grafu 5.5.



**Graf 5.5:** Znečištění BSK<sub>5</sub> a účinnost čištění v letech 2008-2015

V grafu 5.6 je zobrazeno znečištění na odtoku a účinnost čištění v jednotlivých měsících roku 2015. Účinnost nevykazuje, podobně jako v jednotlivých letech, velké výkyvy. Nejnižší účinnost byla v měsíci lednu, a to 98,5 %. Nejvyšší účinnost s hodnotou 99,7 % byla vypočtena z naměřených dat shodně v měsících únor, červen a červenec. Nejnižší lednová účinnost koresponduje i s nejnižší účinností u ukazatele  $CHSK_Cr$  také v měsíci lednu. To může být například způsobeno vyšší koncentrací znečištění na přítoku v tento měsíc, technologickým výpadkem nebo vlivem nízkých teplot v zimních měsících. Teplota odpadní vody a také okolí má velký vliv na účinnost čištění. U aktivovaného kalu při teplotách nižších než 12 °C výrazně klesá jeho aktivita a tím i účinnost čištění. Při teplotách odpadní vody vyšších než 25 °C se účinnost rovněž snižuje a při teplotách přesahujících 30 °C již biologické čištění téměř ztrácí účinnost. Následným řešením může být chemické srážení a sedimentace vzniklých vloček. [15]

Účinnost je nižší pouze ve srovnání s účinností průměrnou. V porovnání s minimální přípustnou účinností 85 % pro ukazatel  $BSK_5$  je lednová účinnost 98,5 % stále velice dobrým výsledkem výrazně převyšující minimální limit.



**Graf 5.6:** Znečištění  $BSK_5$  a účinnost čištění v měsících roku 2015

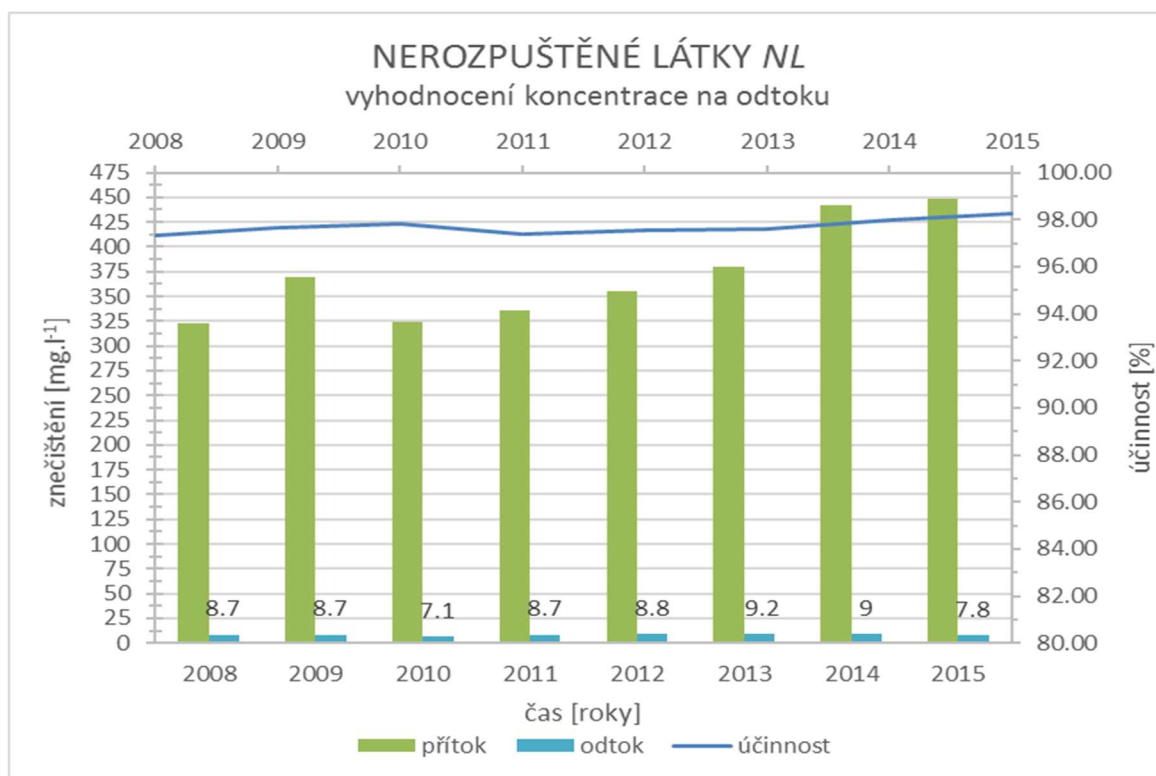
Míra znečištění na odtoku po rekonstrukci v roce 2016 byla naměřena v rozmezí 3,9 až 14 mg.l<sup>-1</sup>. Tyto výkyvy v koncentraci znečištění na odtoku mohou být způsobeny tím, že se jedná o měření z měsíců následujících ihned po zahájení provozu zrekonstruovaných

aktivačních nádrží. Při porovnání s daty z roku 2015 můžeme vidět, že se jedná o výkyvy v běžné míře, a že i v roce 2015 se hodnoty koncentrace znečištění na odtoku pohybovaly v podobném rozpětí. Průměrná účinnost čištění po rekonstrukci byla 98,9 %.

U jediného ukazatele  $BSK_5$  byla zjištěna nižší účinnost po rekonstrukci oproti roku 2015 a dlouhodobému průměru. S přihlédnutím k tomu, že jsou dostupná data pouze z šesti měsíců po rekonstrukci se jedná o statisticky nereprezentativní vzorek a pro vyhodnocení by bylo potřebné větší množství dat za delší časové období. Účinnost čištění se pravděpodobně zvýší, minimálně na stejnou hodnotu jako před rekonstrukcí. Je možné očekávat i zvýšení účinnosti čištění nad dlouhodobý průměr, z důvodu výměny starých aeračních elementů v biologické lince čistírny za nové jemnobublinné elementy.

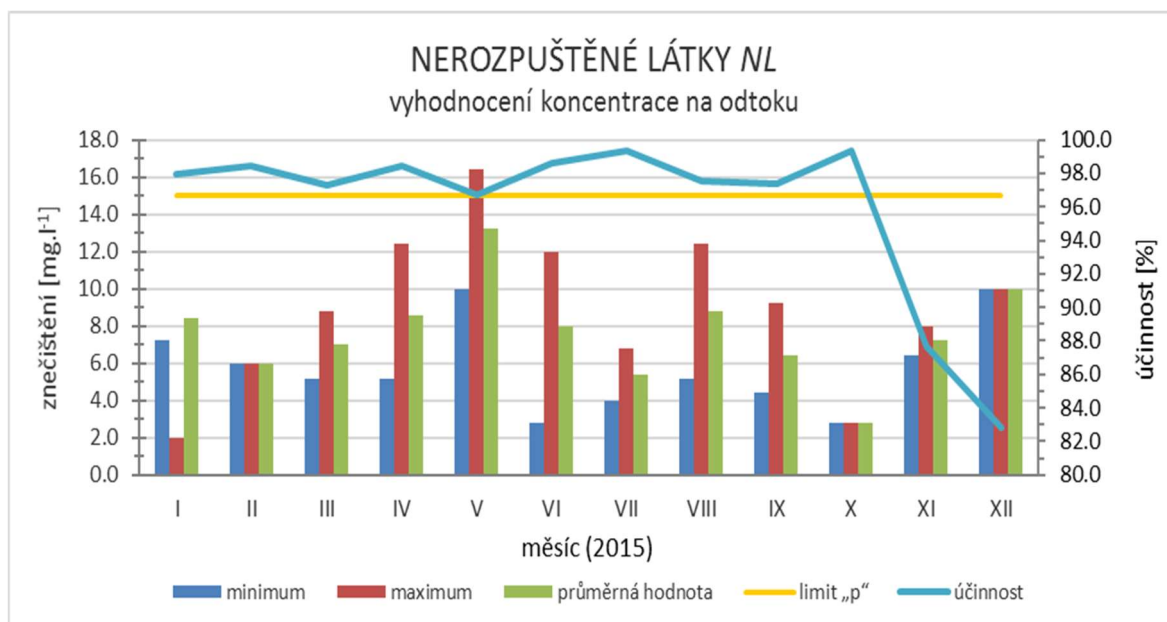
Graf Znečištění  $BSK_5$  a účinnost čištění po rekonstrukci v roce 2016 je grafem č. 3 v příloze č. 1 této bakalářské práce.

### 5.3.6. NEROZPUŠTĚNÉ LÁTKY NL



Graf 5.7: Znečištění NL a účinnost čištění v letech 2008-2015

Ukazatel znečištění *NL* má stanovený emisní limit „p“ 15 mg.l<sup>-1</sup>. Z naměřených dat během let 2008-2015 byly vypočítány průměrné koncentrace na odtoku od 7,1 do 9,2 mg.l<sup>-1</sup> a emisní limit „p“ byl ve všech letech dodržen. *Nerozpuštěné látky* nemají stanovenou minimální účinnost čištění, ale dlouhodobá průměrná účinnost v ČOV Havlíčkův Brod je 97,7 %.



**Graf 5.8:** Znečištění *NL* a účinnost čištění v měsících roku 2015

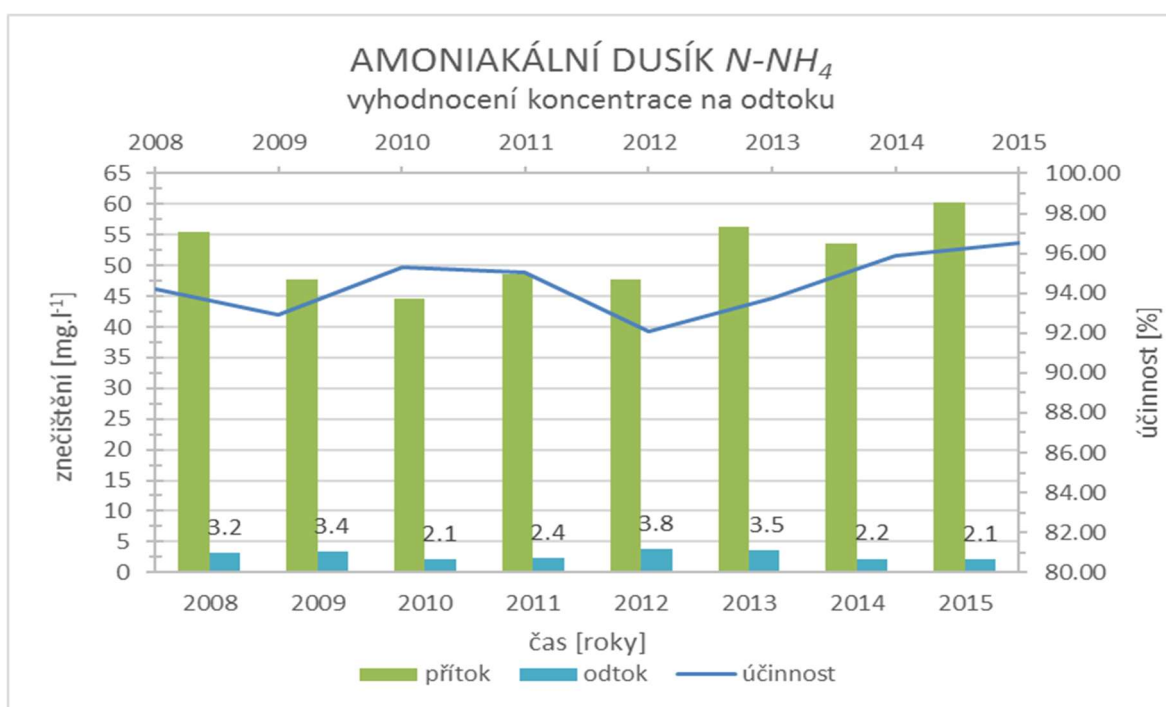
V grafu 5.8 je zobrazeno znečištění na odtoku a účinnost čištění v jednotlivých měsících roku 2015. V měsíci květnu došlo k překročení emisního limitu „p“ = 15 mg.l<sup>-1</sup>, naměřena byla hodnota 16,2 mg.l<sup>-1</sup>. Jedná se však pouze o jediný výskyt překročení tohoto emisního limitu, a proto je dle Přílohy č. 5, Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. tento limit dodržen. Koncentrace znečištění na přítoku byla tento den 404,0 mg.l<sup>-1</sup>, tedy přibližně průměrná hodnota, proto je pravděpodobné, že došlo k technologickému výpadku.

V grafu lze vidět pokles účinnosti čištění v měsících listopadu a prosinci. Oproti průměrným 96 % klesla účinnost na 87,6 % a poté na 82,8 %. Příčinou bude pravděpodobně nízká koncentrace znečištění na přítoku, a to v listopadu 58,2 mg.l<sup>-1</sup> a v prosinci 58,3 mg.l<sup>-1</sup>. Obě tyto hodnoty jsou výrazně nižší než průměrná hodnota 440,8 mg.l<sup>-1</sup> ve zbývajících měsících.

Data naměřená po rekonstrukci v roce 2016 jsou zobrazena v grafu č. 4 v příloze č. 1 této bakalářské práce. Naměřená data jsou v rozmezí 6 až 12 mg.l<sup>-1</sup>, emisní limit „p“ nebyl překročen. Účinnost 98 % je mírně vyšší než dlouhodobá průměrná účinnost.

### 5.3.7. CELKOVÝ DUSÍK $N_c$

Emisní limit „p“ pro ukazatel znečištění  $N_c$  je dle vodoprávního povolení 15 mg.l<sup>-1</sup>. Minimální přípustná účinnost čištění je 70 %. Dříve byl sledovaným ukazatelem amoniakální dusík  $N-NH_4$ , z toho důvodu je u dlouhodobého vyhodnocení z let 2008-2015 vyhodnocen tento ukazatel. V grafu 5.9 jsou zobrazeny koncentrace na přítoku a odtoku z ČOV a účinnost čištění amoniakálního dusíku. Ta se během daných let pohybovala v rozmezí 92,1-96,52 %. průměrná dlouhodobá účinnost byla 94,47 %.



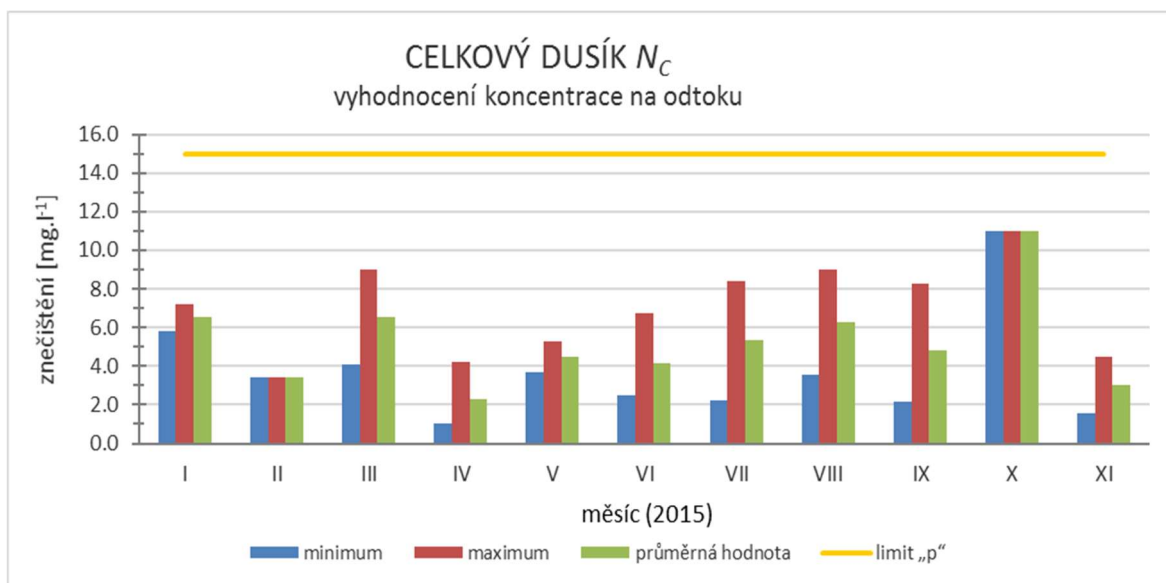
**Graf 5.9:** Znečištění  $N-NH_4$  a účinnost čištění v letech 2008-2015

Data koncentrace celkového dusíku  $N_c$  jsou zobrazena v grafu 5.10. Minimální naměřené množství na odtoku z čistírny bylo v měsíci dubnu, a to 1,0 mg.l<sup>-1</sup>, maximální množství 11,0 mg.l<sup>-1</sup> bylo naměřeno v říjnu. Žádná z hodnot nepřekročila emisní limit „p“.

Po rekonstrukci bylo rozpětí naměřených hodnot na odtoku 3,8-14,7 mg.l<sup>-1</sup>. Příčinnou vyšších hodnot z rozpětí mohou být data, naměřena ihned po zahájení provozu zrekonstruované biologické linky. K překročení emisního limitu „p“ také nedošlo.

Z důvodu neposkytnutí dat o koncentraci celkového dusíku na přítoku do čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod nebylo možné vypočítat účinnost čištění v případě tohoto ukazatele znečištění. Koncentrace celkového dusíku na přítoku se v havlíčkobrodské čistírně dopočítává z jednotlivých dílčích forem dusíku, měří se pouze v případě problémů nebo podezření na nelegální vypouštění do stokové sítě. [15]

Graf *Znečištění  $N_c$  po rekonstrukci v roce 2016* je grafem č. 5 v příloze č. 1 této bakalářské práce.

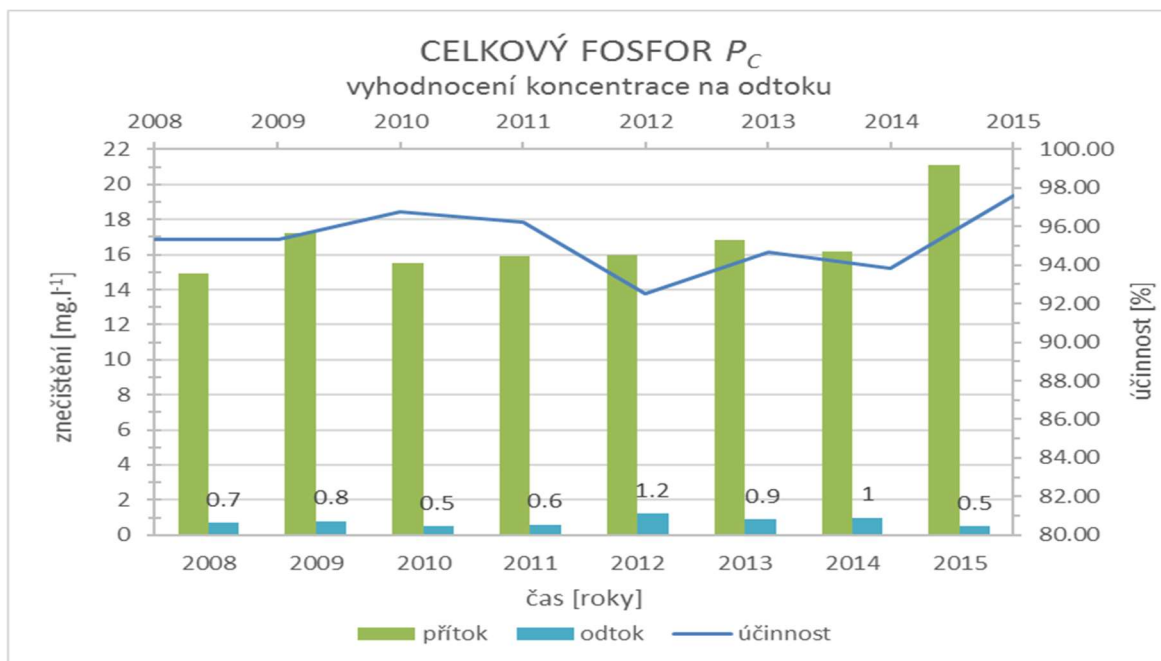


**Graf 5.10:** Znečištění  $N_c$  v měsících roku 2015

### 5.3.8. CELKOVÝ FOSFOR $P_c$

Pro celkový fosfor je vodoprávním úřadem stanoven emisní limit „p“ = 2 mg.l<sup>-1</sup> a minimální přípustná účinnost čištění 80 %. Mezi lety 2008 až 2015 dosáhla havlíčkobrodská čistírna průměrné účinnosti 95,3 %. Nejnižší účinnost za toto období byla v roce 2012, a to 92,5 %. Tato hodnota je však stále výrazně vyšší než požadované minimum. Hodnoty koncentrace znečištění na odtoku se pohybovaly od 0,5 do 1,2 mg.l<sup>-1</sup>, limit „p“ tedy také nebyl překročen. Na přítoku byla zvýšená koncentrace 21,1 mg.l<sup>-1</sup> v roce 2015 oproti dlouhodobé průměrné koncentraci 16,1 mg.l<sup>-1</sup> jak lze vidět v grafu 5.11.

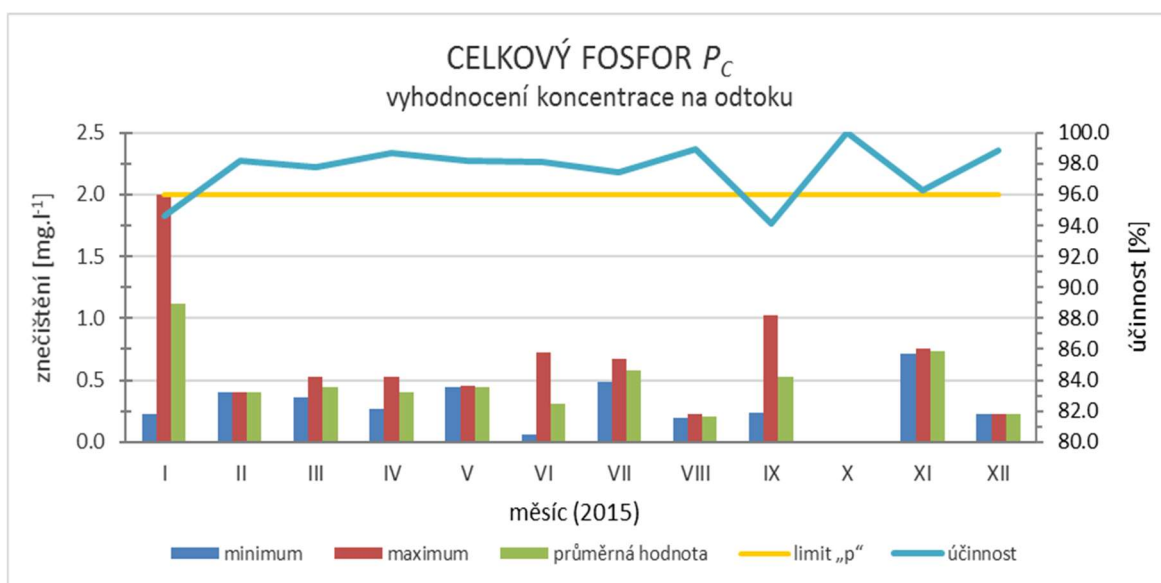




**Graf 5.11:** Znečištění  $P_c$  a účinnost čištění v letech 2008-2015

V lednu roku 2016 pouze jedna naměřená hodnota dosáhla limitu „p“ = 2 mg.l<sup>-1</sup>, ovšem tento limit nepřekročila, tak jako ani žádná jiná hodnota v tomto roce. Průměrná účinnost byla 97,6 % a je vyšší než dlouhodobý průměr.

Po rekonstrukci v roce 2016 stoupla hodnota účinnosti na 97,7 % a byla tak vyšší než v roce 2015. Maximální naměřená hodnota koncentrace na odtoku byla 1,2 mg.l<sup>-1</sup> a emisní limit „p“ nebyl překročen. Data po rekonstrukci jsou zobrazena v grafu č. 6 v příloze č. 1.



**Graf 5.12:** Znečištění  $P_c$  a účinnost čištění v měsících roku 2015

## 6. DISKUZE VÝSLEDKŮ

V přechozí kapitole 5.3. *VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI ČOV HAVLÍČKŮV BROD* byla vyhodnocena data naměřená v čistírně odpadních vod Havlíčkův Brod. Data byla rozdělena do tří kategorií – dlouhodobá za roky 2008-2015, data za rok 2015 a data po rekonstrukci v roce 2016.

V Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. jsou uvedeny emisní standarty, podle kterých byly v povolení k vypouštění předčištěných městských odpadních vod uvedeny přísnější emisní limity pro jednotlivé ukazatele znečištění. Jedná se o limity typu „p“ a nepřekročitelné limity typu „m“. V příloze č. 1 k nařízení vlády č. 401/2015 Sb. jsou dále uvedeny hodnoty minimální přípustné účinnosti čištění pro jednotlivé ukazatele.

*Ukazatel  $CHSK_{Cr}$*  nečiní v havlíčkobrodské čistírně žádné problémy. Přes to, že koncentrace na přítoku je v průběhu času různě vysoká, naměřená koncentrace je na odtoku průměrně  $36,5 \text{ mg.l}^{-1}$  a je tedy téměř poloviční oproti povolenému limitu  $70 \text{ mg.l}^{-1}$ . Žádná z naměřených hodnot v roce 2015 ani 2016 nepřekročila emisní limit „p“. Dlouhodobá průměrná účinnost čištění je 97,2 %, po rekonstrukci v roce 2016 dosahuje dokonce 98,3 %. To je v porovnání s minimální přípustnou účinností pro ukazatel  $CHSK_{Cr}$  o 23,3 % lepší výsledek.

*Biochemická spotřeba kyslíku –  $BSK_5$*  se také dlouhodobě pohybuje pod povoleným maximálním limitem. Žádná z naměřených hodnot v roce 2015 ani 2016 nepřekročila emisní limit „p“ =  $15 \text{ mg.l}^{-1}$ . Dokonce je průměrná naměřená hodnota koncentrace na odtoku  $5 \text{ mg.l}^{-1}$  a je tedy třikrát nižší. Dlouhodobá účinnost čištění dosahuje 99,2 % a je tedy vysoko nad minimální přípustnou účinností rovnající se 85 %. Koncentrace znečištění a účinnost čištění po rekonstrukci v roce 2016 jsou nepatrně horší než v roce 2015. To je pravděpodobně způsobeno tím, že se jedná o data naměřená v měsících ihned po rekonstrukci a po zahájení provozu na nově zrekonstruované biologické lince čistírny. Vliv může mít také nedostatečné množství těchto dat, která jsou z úseku pouze šesti měsíců. Zároveň je  $BSK_5$  jediným parametrem, který nevykazuje po rekonstrukci lepších výsledků než před ní. U všech ostatních ukazatelů byla zjištěna vyšší účinnost čištění.

*Nerozpuštěné látky* sice nemají stanovenou minimální přípustnou účinnost čištění, ale dlouhodobá průměrná účinnost v ČOV Havlíčkův Brod je 97,7 %.

Dlouhodobě nepřekročily koncentrace znečištění na odtoku  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  a emisní limit „p“ =  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  je tedy dodržen. V měsíci květnu roku 2015 došlo k překročení limitu „p“ o  $1,2 \text{ mg.l}^{-1}$ . Jedná se však pouze o jediný výskyt překročení tohoto emisního limitu, v případě ukazatele *NL*, ale i všech ostatních ukazatelů. V den překročení dosahovala koncentrace znečištění na přítoku průměrných hodnot, proto je pravděpodobné, že došlo k technologickému výpadku, a ne k vniknutí extrémně vysokého množství nerozpuštěných látek. U tohoto ukazatele byl také zjištěn pokles účinnosti ve dvou měsících roku 2015 z průměrné účinnosti 96 % na 82,8 %. Z poskytnutých dat bylo vyzorováno, že v daném období byla výrazně nižší koncentrace znečištění na přítoku, ale koncentrace na odtoku se blížila obvyklým hodnotám. Z toho vyplývá, že technologická linka čistírny pravděpodobně není schopná takto malé množství znečištění ještě více zredukovat. Přes to, že se vyjádření formou účinnosti (minimálního procenta úbytku) jeví nižší než obvykle, hodnoty koncentrace znečištění v tomto období nepřekročily  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  a tedy ani limit „p“.

Pro celkový fosfor je vodoprávním úřadem stanoven emisní limit „p“ =  $2 \text{ mg.l}^{-1}$  a minimální přípustná účinnost čištění 80 %. Dlouhodobá průměrná účinnost havlíčkobrodské ČOV je 95,3 %, a tudíž vyhovuje. Z poskytnutých dat pouze jedno měření dosahovalo limitu „p“, ale tuto hodnotu nepřekročilo.

Emisní limit „p“ pro ukazatel znečištění *N<sub>C</sub>* je dle vodoprávního povolení  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  a minimální přípustná účinnost čištění je 70 %. Žádná hodnota z naměřených dat limit „p“ nepřekročila. Z důvodu absence dat koncentrace celkového dusíku na přítoku nebylo možné vypočítat účinnost čištění u tohoto ukazatele. U dlouhodobých dat byla použita data amoniakálního dusíku *N-NH<sub>4</sub>* a vypočítána účinnost jeho čištění 94,5 %.

Porovnání účinností v jednotlivých obdobích u jednotlivých ukazatelů je v tabulce *Tab. 6.1*.

UKAZATEL	ÚČINNOST [%]			
	2008-2014	2015	2016	MIN.
<i>CHSK<sub>Cr</sub></i>	97.23	97.40	98.30	75
<i>BSK<sub>5</sub></i>	99.15	99.20	98.30	85
<i>NL</i>	97.96	96.00	98.00	-
<i>P<sub>celk</sub></i>	95.30	97.60	97.70	80

**Tab. 6.1:** Porovnání účinností čištění

## 7. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou čištění odpadních vod a vyhodnocením provozu čistírny odpadních vod v Havlíčkově Brodě. Cílem práce bylo vyhodnocení naměřených dat na této čistírně a jejich porovnání s *Narižením vlády č. 401/2015 Sb.* a vodoprávním povolením pro tuto čistírnu.

Práce byla rozdělena na dvě části. První část byla teoretická. Byla provedena rešerše literatury k problematice čištění odpadních vod, probrány znečišťující látky v městských odpadních vodách, jejich stanovení a způsoby jejich čištění. Popsána byla technologická linka čistírny, rozdělena na předčištění, mechanické čištění a biologickou část čistírny a dále kalové hospodářství. Na závěr první části byla uvedena legislativa související s touto problematikou.

Druhá část byla zaměřena na čistírnu odpadních vod v Havlíčkově Brodě. Bylo zde popsáno odvodňované území a největší zdroje znečištění, popsána havlíčkobrodská čistírna, její historie, rekonstrukce a její jednotlivé objekty. Stěžejní částí této práce bylo samotné vyhodnocení provozu této čistírny z poskytnutých naměřených dat. Byly vyhodnoceny jednotlivé parametry: průtoky odpadní vody čistírnou,  $BSK_5$ ,  $CHSK_{Cr}$ , nerozpuštěné látky a celkový fosfor a dusík. Vyhodnocená data byla porovnána s vodoprávním povolením a *Narižením vlády č. 401/2015 Sb.*

Vyhodnocení ukázalo současný i dlouhodobý stav čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod. U všech vyhodnocovaných ukazatelů byly zjištěny výrazně lepší výsledky, než jsou požadovány vodoprávním povolením a *Narižením vlády č. 401/2015 Sb.* Ze všech dostupných dat bylo zjištěno pouze jediné překročení emisního limitu „p“ u ukazatele  $NL$ . Jedná se však pouze o ojedinělý výskyt a dle *přílohy č. 5 narižení vlády č. 401/2015 Sb.* je možné limit „p“ považovat za splněný. K překročení limitu „m“ nedošlo v žádném zjištěném případě. Vypočítaná účinnost čištění dosahovala u všech ukazatelů výborné výsledky. Hodnoty byly vysoko nad hodnotami minimální přípustné účinnosti. U ukazatele  $CHSK_{Cr}$  byl dokonce zjištěn o 23,3 % lepší výsledek účinnosti čištění, než je minimální přípustný.

Vyhodnocení provozu čistírny po rekonstrukci v roce 2016 ukázalo lepší výsledky ve všech parametrech kromě ukazatele  $BSK_5$ . Bylo však konstatováno, že se jedná o data naměřena

v období navazujícím přímo na rekonstrukci a pro přesnější výsledky by bylo nutné vyhodnocovat data z delšího časového období.

V platném vodoprávním povolení ze dne 8. 11. 2012 je uvedeno, že důvodem pro nezpřísnění limitů oproti předchozímu povolení je rezerva pro připojení nově vznikajících lokalit rodinných domů v Havlíčkově Brodě a přilehlém okolí.

Dalším kladným zjištěním je osazení dvou kogeneračních jednotek a také fotovoltaických panelů na střechách objektů čistírny a přilehlých pozemcích. Od roku 2001, kdy byla osazena první kogenerační jednotka, do roku 2013 klesl odběr elektrické energie ze sítě z 3 334 MWh za rok na pouhých 287 MWh za rok a zbytek energie si čistírna vyrobila sama. Dalším plánem čistírny odpadních vod ve spolupráci s městem Havlíčkův Brod je výstavba čistící stanice bioplynu a plnicí stanice pro využití bioplynu jako pohonné hmoty autobusů městské hromadné dopravy v Havlíčkově Brodě. [15]

Havlíčkobrodská čistírna odpadních vod dlouhodobě splňuje a výrazně překonává legislativní požadavky na minimální účinnost čištění. Z těchto důvodů lze říci, že čistírna plní svou funkci více než dobře. Díky těmto zjištěním – vysoké kvalitě čištění městských odpadních vod a téměř energetické soběstačnosti z důvodu použití alternativních zdrojů energie se čistírna odpadních vod Havlíčkův Brod podílí na zachování kvalitního životního prostředí a minimalizaci stop lidské činnosti v přírodě.

## 8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### MONOGRAFIE

- [1] DOHÁNYOS, Michal, Jan KOLLER a Nina STRNADOVÁ. *Čištění odpadních vod*. 2. vyd. Praha: VŠCHT, 2007. ISBN 9788070806197.
- [2] HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK. *Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-0-2.
- [3] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN 8086020304.
- [4] HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *Stokování a čištění odpadních vod: Modul 2 - čištění odpadních vod*. Brno, 2006.
- [5] CHUDOBA, Jan, Michal DOHÁNYOS a Jiří WANNER. *Biologické čištění odpadních vod*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1991. Ochrana životního prostředí. ISBN 8003006112.
- [6] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 9788001053904.
- [7] SPELLMAN, Frank R. *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*. Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 2003. ISBN 1566706270.
- [8] TCHOBANOGLOUS, George, Franklin L. BURTON a H. David. STENSEL. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. 4th ed. /. Boston: McGraw-Hill, c2003. ISBN 9780070418783.
- [9] RAMALHO, R. S. *Introduction to wastewater treatment processes*. New York: Academic Press, 1977. ISBN 0125765509.

### ODBORNÉ ČLÁNKY A DOKUMENTY

- [10] HALÁMEK a CIGÁNEK. *ČOV Havlíčkův Brod rekonstrukce a dovybavení aktivačních nádrží*. *Technická zpráva*. 435/15/02-2, D.2.1, Brno: VHZ-DIS, s. r. o., 2015

- [11] KRATINA, J. a KOL. *Zpráva o životním prostředí České republiky v roce 2015* [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-03-06]. ISBN 978-80-87770-10-8. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/cz/zpravy\\_o\\_stavu\\_zivotniho\\_prostredi\\_publicace](http://www.mzp.cz/cz/zpravy_o_stavu_zivotniho_prostredi_publicace)
- [12] KUTIL, Josef a Michal DOHÁNYOS. *Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu-2>
- [13] Provozní řád pro trvalý provoz ČOV Havlíčkův Brod, zpracovaný firmou VHZ – DIS, s. r. o., Brno, 2002
- [14] TEMPLETON, Michael a David BUTLER. *An Introduction to Wastewater Treatment* [online]. bookboon.com, 2011 [cit. 2017-04-05]. ISBN 978-87-7681-843-2. Dostupné z: <https://bookboon.com/cs/introduction-to-wastewater-treatment-ebook>
- [15] ZELENÝ, Zdeněk. [Ústní sdělení]. Havlíčkův Brod: Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a. s., 2016

## ELEKTRONICKÉ DOKUMENTY A WEBOVÉ STRÁNKY

- [16] Čistírna odpadních vod Perknov. *Perknov* [online]. Havlíčkův Brod, 2006 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <http://www.perknov.cz/v01/phprs/view.php?cisloclanku=2004041501>
- [17] *Fontana R, s.r.o.: Samočistící česle - SČČ* [online]. , 2 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobn-program/mechanicke-predcisteni/SCC-CZ.pdf>
- [18] *Městské informační centrum Havlíčkův Brod* [online]. Havlíčkův Brod, 2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://mic.muhb.cz/>
- [19] O nás. *Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a. s.* [online]. Havlíčkův Brod, c2017 [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.vakhb.cz/o-nas>
- [20] Spektrofotometrie. *WikiSkripta* [online]. 2008- [cit. 2017-03-29]. ISSN 18046517. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Spektrofotometrie&oldid=350933>
- [21] Vertikální lapák písku. In: *KUNST, spol. s r. o.* [online]. 2008 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: [http://www.kunst.cz/media/dokumenty/cz/typizace/lpv\\_\(02\\_2008\).pdf](http://www.kunst.cz/media/dokumenty/cz/typizace/lpv_(02_2008).pdf)

[22] Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a. s. *Čistírny odpadních vod Havlíčkovobrodská*. [prezentace powerpoint]. Havlíčkův Brod: Vodovody a kanalizace Havlíčkův Brod, a. s., 2016

## LEGISLATIVA

[23] ČSN 75 0161. Vodní hospodářství - Terminologie v inženýrství odpadních vod. Praha: Český normalizační institut, 2008.

[24] ČSN EN 1484. Jakost vod - Stanovení celkového organického uhlíku (TOC) a rozpuštěného organického uhlíku (DOC). Praha: Český normalizační institut, 1998.

[25] ČSN ISO 6060. Jakost vod - Stanovení chemické spotřeby kyslíku. Praha: Český normalizační institut, 2008.

[26] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., ze dne 14. 12. 2015, 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. Dostupné online z [citace 2017-02-17]: <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=401&r=2015>

[27] Povolení Krajského úřadu Kraje Vysočina, odboru lesního a vodního hospodářství a zemědělství k vypouštění přečištěných městských odpadních vod z čistírny odpadních vod Havlíčkův Brod ze dne 8. 11. 2012

[28] Směrnice Rady č. 91/271/EHS, ze dne 21. května 1991, o čištění městských odpadních vod. Dostupné online z [citace 2017-03-06]: [http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/predpisy-es-eu/Legislativa-EU\\_x1991-2000\\_smernice-1991-271-cisteni-vod.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/predpisy-es-eu/Legislativa-EU_x1991-2000_smernice-1991-271-cisteni-vod.html)

## OSTATNÍ

[29] TOMAN, Lukáš. *Fotodokumentace*. Havlíčkův Brod: Archiv autora, 2017



## 9. SEZNAM PŘÍLOH

### A. Příloha č. 1

GRAFY VYHODNOCENÍ PROVOZU ČOV HAVLÍČKŮV BROD ...3 x A4

### B. Příloha č. 2

SCHÉMA ČOV HAVLÍČKŮV BROD ...1 x A3