



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD PRO OBEC NERATOV

CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND FOR NERATOV VILLAGE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Kanta

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Martin Kanta
<b>Název</b>	Přírodní čistírna odpadních vod pro obec Neratov
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2020
<b>Datum odevzdání</b>	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT



## **PODKLADY A LITERATURA**

- 1) ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel
- 2) Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení 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
- 3) DWA-A 262: Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers (November 2017)
- 4) ÖNORM B 2505 – Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)
- 5) Územní plán obce Neratov
- 6) Výpis z katastru nemovitostí
- 7) Plán rozvoje vodovodu a kanalizací

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Práce bude koncipována ze dvou dílčích částí - první část v teoretické rovině a navazovat bude praktická část, zaměřující se na uplatnění získaných poznatků na konkrétním příkladu. Teoretická část má za úkol seznámení se s novou technickou oblastí - přírodními způsoby čištění vod, dimenzování objektů, technickými detaily, návrhovými parametry. Praktická část, zahrnující konkrétní výpočty a zjednodušenou výkresovou dokumentaci, se bude zaměřovat na obec Neratov, která aktuálně řeší problém s nakládáním s odpadními vodami. Práce poslouží jako podklad pro budoucí zpracování projektové dokumentace čistírny odpadních vod.

## **STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Michal Kriška, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Obec Neratov řeší aktuálně nakládání s odpadními vodami, což zahrnuje návrh nové kanalizační sítě a čistírny odpadních vod. V obci je v současné době projektována tlaková kanalizační síť a čistírna odpadních vod, jejíž návrh je součástí bakalářské práce. S posledním vývojem situace obec uvažuje o rezervě pro větší počet připojených obyvatel s výhledem do budoucna, proto i celá práce je navržena z dnešního pohledu jako částečně předdimenzovaný objekt ČOV. Úvodní část bakalářské práce se zabývá popisem možných znečišťujících látek přitékajících na čistírnu a jejich limity pro vypouštění, možnostmi dopravy odpadní vody na čistírnu, typy mechanicko-biologických čistíren a zejména přírodními čistírnami, kde jsou popsány objekty předčištění, hlavní stupně čištění a možnosti nakládání s kalem.

V druhé části se práce zabývá konkrétním návrhem technologického uspořádání přírodní čistírny odpadních vod. Součástí praktické části je popis zájmového území, charakter obce Neratov, návrh jednotlivých stupňů čištění s podrobným popisem objektů na čistírně. Součástí dokumentace jsou i vzorové výkresy, půdorysné pohledy a řezy. Navržené řešení vyžaduje pro svůj provoz minimum elektrické energie, jedná se o kompaktní řešení osazené nad úrovní stávajícího terénu. Součástí návrhu je i vlastní kalové hospodářství, zajišťující minimální možné provozní náklady.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Přírodní čistírna odpadních vod, odpadní voda, anaerobní separátor, vertikální filtr, horizontální filtr, reed-bed kalové pole.

## **ABSTRACT**

The municipality of Neratov is currently dealing with wastewater management, which includes the design of a new sewerage network and wastewater treatment plant. A pressure sewerage network and a wastewater treatment plant are currently being designed in the village, the design of which is the theme of the bachelor's thesis. With the latest development of the situation, the municipality is considering a reserve for a larger number of connected inhabitants as a way forward, so the whole work is designed from today's perspective as a partially oversized WWTP building. The introductory part of the bachelor thesis deals with the description of possible pollutants flowing into the treatment plant and their limits for discharge, the possibility of transporting wastewater to the treatment plant, types of mechanical-biological treatment plants and especially natural treatment plants, where the objects of pre-treatment, main stages of treatment.

The second part deals with a specific design of the technological arrangement of a natural wastewater treatment plant. The practical part includes a description of the area of interest, the character of the village Neratov, the design of individual stages of treatment with a detailed description of the facilities at the treatment plant. The documentation also includes sample drawings, floor plans and sections. The proposed solution requires a minimum of electricity for its operation, it is a compact solution installed above the level of the existing terrain. The design also includes its own sludge management, ensuring the minimum possible operating costs.

**KEYWORDS**

treatment wetland, wastewater, anaerobic septic tank, vertical subsurface flow, horizontal subsurface flow, sludge treatment reed beds

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Martin Kanta *Přírodní čistírna odpadních vod pro obec Neratov*. Brno, 2021. 64 s., 11 s. příl.  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního  
hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Přírodní čistírna odpadních vod pro obec Neratov* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28.5. 2021

---

Martin Kanta  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Přírodní čistírna odpadních vod pro obec Neratov* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 28.5. 2021

---

Martin Kanta  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji zejména svému vedoucímu práce doc. Ing. Michalu Kriškovi-Dunajskému, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady, připomínky a zejména za čas který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat firmě ConWe s.r.o která mi poskytla nezbytné podklady pro vypracování návrhu čistírny v obci Neratov. Mé rodině, která mi nechávala prostor pro zpracovávání mé práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé morální podpoře Markétě Blatecké, se kterou jsem měl tu čest sdílet každodenní utrpení.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>ODPADNÍ VODA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1</b>	<b>UKAZATELE ZNEČIŠTĚNÍ</b> .....	<b>13</b>
2.1.1	Nerozpuštěné látky (NL) .....	13
2.1.2	Biochemická spotřeba kyslíku (BSK <sub>5</sub> ) .....	14
2.1.3	Chemická spotřeba kyslíku (CHSK <sub>Cr</sub> ) .....	14
2.1.4	Dusík (N <sub>celk</sub> ) a fosfor (P <sub>celk</sub> ).....	14
2.1.5	Amoniakální dusík (N-NH <sub>4</sub> ).....	15
<b>2.2</b>	<b>VYPOUŠTĚNÍ ODPADNÍ VODY</b> .....	<b>15</b>
2.2.1	Emisní limity .....	15
<b>3</b>	<b>KANALIZAČNÍ SYSTÉMY</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>TYPY STOKOVÝCH SOUSTAV</b> .....	<b>17</b>
3.1.1	Jednotná stoková soustava .....	17
3.1.2	Oddílná stoková soustava .....	18
3.1.3	Modifikovaná stoková soustava.....	18
<b>3.2</b>	<b>SYSTÉMY USPOŘÁDÁNÍ STOKOVÝCH SÍTÍ</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>ZPŮSOBY DOPRAVY ODPADNÍ VODY</b> .....	<b>20</b>
3.3.1	Tradiční způsob odvádění .....	20
3.3.2	Alternativní způsoby odvádění .....	20
<b>4</b>	<b>ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1</b>	<b>MECHANICKO-BIOLOGICKÉ ČISTÍRNÝ</b> .....	<b>23</b>
4.1.1	Předčištění a mechanické čištění .....	23
4.1.2	Technologické varianty biologického čištění .....	23
<b>4.2</b>	<b>PŘÍRODNÍ ČISTÍRNÝ</b> .....	<b>25</b>
4.2.1	Mechanické předčištění .....	25
4.2.2	Hlavní stupeň čištění.....	30
4.2.3	Dočištění .....	33
4.2.4	Kalové hospodářství .....	34
4.2.5	Provoz čistíren s podpovrchovým průtokem .....	35

<b>5</b>	<b>PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD NERATOV .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1</b>	<b>CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ .....</b>	<b>36</b>
5.1.1	Půdní poměry .....	39
5.1.2	Řešení odkanalizování území .....	39
5.1.3	Umístění čistírny .....	40
5.1.4	Čistění odpadních vod .....	41
5.1.5	Kvalita vypouštěné vody .....	42
<b>5.2</b>	<b>VÝPOČTY PRŮTOKŮ A DIMENZÍ ČISTÍRNY .....</b>	<b>42</b>
5.2.1	Ekvivalentní obyvatelstvo .....	42
5.2.2	Množství přitékající odpadní vody .....	43
5.2.3	Množství přitékajících znečišťujících látek .....	44
5.2.4	Předpokládaná účinnost ČOV .....	45
5.2.5	Anaerobní separátor .....	45
5.2.6	Horizontální filtr .....	45
5.2.7	Distribuční šachta .....	46
5.2.8	Vertikální filtr .....	47
5.2.9	Kalové pole .....	47
<b>5.3</b>	<b>POPIS OBJEKTŮ ČISTÍRNY .....</b>	<b>47</b>
5.3.1	Anaerobní separátor .....	47
5.3.2	Horizontální filtr .....	49
5.3.3	Distribuční šachty .....	50
5.3.4	Vertikální filtr s vegetací .....	51
5.3.5	Měrný objekt .....	52
5.3.6	Čerpací stanice .....	52
5.3.7	Srážení fosforu .....	53
5.3.8	Kalové hospodářství .....	54
5.3.9	Další vybavení čistírny .....	54
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>64</b>



# 1 ÚVOD

V posledních letech se čím dál tím víc řeší problém se suchem v krajině, zvyšující se erozí a stoupajícími teplotami. Proto je v zájmu společnosti se ke krajině chovat co možná nejšetrněji. Jedním z mnoha bodů, kterými bychom se měli zabývat, je otázka vypouštění námi znečištěné vody zpět do recipientu. Z přírody si bereme tu nejkvalitnější vodu, abychom uspokojili své potřeby. Proto bychom se měli snažit o to, vrátet zpět do oběhu vodu co možná nejkvalitnější, abychom naší přírodě ještě více nepřitěžovali.

V dnešní době je stále velké množství obcí, které nemají vyřešené odpadní vody, znečištěné vody pak bez přečištění končí v přírodě. Je až zarážející, že v roce 2020 bylo na kanalizační systém s ČOV v České republice připojeno pouze 83,4 % obyvatel. Většinou se čištění odpadních vod realizuje prostřednictvím mechanicko-biologické čistírny odpadních vod (8,9 mil. obyvatel) [1]. Pro zbývající, nečištěné odpadní vody, se nabízí i jiná alternativa, než běžná mechanicko-biologická čistírna. Řešením mohou být např. přírodní čistírny odpadních vod, vycházející ze zastaralé technologie kořenových čistíren. Čistírny typu „kořenová“ mají v povědomí odborníků špatnou pověst, to zejména proto, že v počátcích přírodních čistíren u nás, se vybuďovala celá řada čistíren, které byly nevhodně navrženy nebo provozované. Často docházelo k rychlému ucpávání filtrů, postupně snižující se účinnosti odstranění znečištění až k úplnému vyřazení z provozu. Špatné pověsti také napomáhalo, že limity pro obce do 500 ekvivalentních obyvatel mají poměrně vysoko stanovené vypouštěcí limity a například  $N-NH_4^+$  se dle NV 401/2015 Sb. vůbec nemusí sledovat. U starších čistíren dochází k paradoxu, že čistírna plní limity vypouštění, nicméně na odtoku z ČOV se vyskytuje zápachající a na první pohled znečištěná voda. Hlavním problémem přírodních čistíren jsou tedy předsudky odborníků, kteří žijí minulostí a neradi přijímají nové technologie, technické detaily, inspiraci ze zahraničí, apod. Moderní čistírny skládající se z více hlavních stupňů čištění mají velmi dobré až výborné výsledky v odstraňování odpadních látek, jejich provozní náklady jsou velmi nízké a obsluha čistírny je nenáročná. Přírodní čistírna je schopna garantovat i lepší hodnoty, než které jsou dosažitelné nejlepší dostupnou technikou (dle NV 401/2015 Sb., příloha č.7).

Obec Neratov ležící severně od Pardubic se rozhodla čistit odpadní vody přírodní cestou, resp. pomocí extenzivní technologie, přírodní čistírnou. V obci bude v nadcházejících letech budována splašková tlaková kanalizace a přírodní čistírna odpadních vod, jejíž návrh je řešen v bakalářské práci.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. První část tvoří literární rešerši, kde se popisují možné typy znečištění přitékající na čistírnu, limity pro vypouštění, kterými je třeba se řídit při návrhu čistírny. Dále jsou popsány kanalizační systémy, typy stokových soustav, uspořádání stokových soustav a typy dopravy odpadní vody. Část literární rešerše je zaměřena na čistírny odpadních vod – zmíněny jsou mechanicko-biologické čistírny, které jsou v dnešní době upřednostňovány před čistírnami přírodními. Stěžejní částí jsou čistírny přírodní, kde jsou popsány objekty předčištění, hlavní filtrační stupně a kalové hospodářství na čistírně.

Druhá část se zaměřuje na návrh přírodní čistírny v obci Neratov. Popsáno je zájmové území, provedeny výpočty konkrétních objektů a podrobně popsány jednotlivé objekty

vyskytující se na čistírně. Součástí návrhu je zjednodušená projektová dokumentace čistírny včetně výkresové dokumentace.

## 2 ODPADNÍ VODA

Odpadní voda se dá označit za vodu, kterou člověk použil k určitým potřebám a znečistil ji odpadními látkami. Odpadní voda u malých obcí v horším případě končí přímo v recipientu, v lepším případě je znečištěná voda kanalizací odváděna na čistírnu odpadních vod, kde je voda přečištěna a ve stavu který není škodlivý pro přírodu vypuštěna do recipientu. Dle původu a druhu znečištění se odpadní vody rozdělují do následujících skupin: splaškových, průmyslové infekční, ze zemědělství a zemědělské výroby, dešťové povrchové, smíšené odpadní a ostatní odpadní vody [2, s. 9]. Mezi nejběžnější druhy znečištění v komunálních odpadních vodách patří soli, organické znečištění, uhlovodíky včetně farmaceutických přípravků a výrobků pro osobní péči, suspendované látky, některé těžké kovy a koliformní bakterie [3].



**Obr. 1 Znečištěná voda vypouštěná do potoka (www. inodpady.cz)**

### 2.1 UKAZATELE ZNEČIŠTĚNÍ

Ukazatele charakterizují možné dopady vypouštěných odpadních vod na vody povrchové či podzemní [4]. Mezi sledované ukazatele znečištění patří:  $CHSK_{Cr}$ ,  $BSK_5$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $N_{celk}$ ,  $P_{celk}$  – Množství vypouštěných odpadních látek se řídí dle nařízení vlády NV 401/2015 [5].

#### 2.1.1 Nerozpuštěné látky (NL)

Nerozpuštěné látky jsou pevné látky v odpadní vodě, které se dělí na usaditelné a neusaditelné. Mohou být organického či anorganického původu. Nerozpuštěné látky se dají z vody odstranit většinou mechanickou cestou, a to za pomoci filtrace [4]. Na přírodních čistírnách je velmi žádoucí, aby byly NL odstraněny ještě na mechanické stupni, pokud by bylo mechanické předčištění špatně navrženo a NL by se dostávaly v podobě kalu na filtrační stupeň, mohlo by dojít k zanášení jemného šterkového materiálu. Proto je nutné, aby mechanické předčištění bylo správně navrženo a plnilo správně svoji funkci [5].

### 2.1.2 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub>)

Hodnota BSK<sub>5</sub> určuje množství, nebo koncentraci znečištění, odbouratelného pomocí mikroorganismů [5] [4]. Biologicky rozložitelné znečištění může narušovat rovnováhu kyslíku ve vodách. Dostává se do vody především vypouštěním splašků, nebo může vznikat přírodní cestou, především rozkladem rostlin, živočichů, výkaly ryb a ptáků. Mikroorganismy mají problém s odbouráváním např. celulózy a dalších polysacharidů, těmito sloučeninami se zabývá CHSK<sub>Cr</sub>. Přírodní čistírny většinou nemívají problém s odstraňováním BSK<sub>5</sub>, jejich účinnost při použití horizontálních filtrů je obvykle nad 80 % [5] [4], současně ale není již možné navrhovat pouze jednostupňové horizontální uspořádání. U dvoustupňové sestavy horizontální-vertikální filtr lze uvažovat s účinnostmi 90–95 %, u dvoustupňových sestav vertikální-vertikální filtr jsou účinnosti nad 98 %. [6]

### 2.1.3 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK<sub>Cr</sub>)

Chemická spotřeba kyslíku je definována jako množství kyslíku potřebného pro oxidaci všech látek ve vodě. Pokud je koncentrace CHSK<sub>Cr</sub> na výtoku z čistírny vyšší, znamená to, že čistírna nebyla schopna dodat do odpadní vody dostatek kyslíku, pak tato nekvalitně přečištěná voda může způsobit (zejména ve stojatých vodách) narušení rovnováhy. Kyslík, který je obsažený ve vodě, do které byla nekvalitně přečištěná voda vypuštěna, se začne spotřebovávat na odbourání zbytkové koncentrace CHSK. Přírodní čistírny s odbouráváním CHSK také (jako je tomu u BSK<sub>5</sub>) většinou nemívají problém. Většina znečištění se odstraní již u přítoku filtrací, přebytečné znečištění se odbourá na filtračním poli, podle typu filtračního pole za přístupu kyslíku, nebo bez přístupu kyslíku. Účinnost přírodních čistíren při odstraňování CHSK<sub>Cr</sub> bývá často nad 85 % [5], odtokové koncentrace se při správném návrhu pohybují i v případě připojení na splaškovou kanalizaci v rozmezí hodnot 25 – 30 mg/l. [6]

### 2.1.4 Dusík (N<sub>celk</sub>) a fosfor (P<sub>celk</sub>)

Tyto látky jsou označovány za živiny (nutrienty). Dusík s fosforem napomáhají biochemickým procesům, tvorbě buněčné hmoty, množení mikroorganismů, řas a sinic [4]. Pokud je ve stojaté vodě v krajině zvýšený podíl nutričních, může dojít k přemnožení sinic a řas. Nežádoucím efektem tohoto jevu je, že řasy a sinice klesají ke dnu, kde dochází k jejich rozkladu a vzniká sekundární znečištění. K rozkladu tohoto znečištění je pak zapotřebí další kyslík. Hodnota BSK<sub>5</sub> se může silně navýšit. Fosfor se na přírodních čistírnách odstraňuje v rámci mechanického předčištění, přebytečný fosfor lze dále odstraňovat i na filtračním poli, kde ho částečně odebírají rostliny. Fosfor lze na přírodních čistírnách odstraňovat i chemickou cestou, resp. srážením obdobně jako u klasických mechanicko-biologických čistíren odpadních vod. Obvykle čistírny, díky zapojení více technologických zařízení zvládají odstraňovat P<sub>celk</sub> v takové míře, že je na výtoku z čistírny podíl fosforu v rozmezí 2–3 mg/l bez technologie pro srážení fosforu [5]. V případě, že je nutné dosažení nižší koncentrace, je nutné doplnění této technologie – většinou před stupeň mechanického předčištění.

## 2.1.5 Amoniakální dusík (N-NH<sub>4</sub>)

Amoniakální dusík vzniká rozkladem močoviny ve stokové síti. Jeho koncentrace může narůstat v čistírenském procesu ještě před filtračním polem, kvůli rozkladu usazené organické hmoty bez přístupu kyslíku v usazovací nádrži, septiku, anaerobním separátoru. Pro odstranění N-NH<sub>4</sub> je zapotřebí velkého množství kyslíku (přibližně 4,5 g kyslíku na 1 g amoniakálního dusíku) a zároveň optimálního nastavení prostředí pro bakterie rozkládající amoniakální dusík. Pokud se dostanou vysoké koncentrace N-NH<sub>4</sub> do recipientu, zejména do stojaté vody, může dojít podle výše pH k přechodu na toxickou formu NH<sub>3</sub>, tato forma může zapříčinit úhyn vodních živočichů. Pokud je předpoklad přítoku zvýšených koncentrací na čistírnu nad 20 mg/l (většina kanalizačních systémů bez balastních vod), je zapotřebí přistoupit k řešení v podobě pulzně skrápěných vertikálních filtrů coby součásti přírodní čistírny [5].

## 2.2 VYPOUŠTĚNÍ ODPADNÍ VODY

Odpadní voda, která je přečištěna v čistírně, je následně vypouštěna do recipientu. Přečištěná voda musí splňovat stanovené limity určené vodoprávním úřadem. Jedná se zejména o emisní limity.

### 2.2.1 Emisní limity

Při návrhu kořenové čistírny odpadních vod je třeba znát emisní limity které stanovuje nařízení vlády NV 401/2015 Sb. „*Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod*“. Tyto limity stanovuje vodoprávní úřad na základě následujících podmínek:

- Ukazatel vyjadřující stav povrchové vody
- Ukazatel a hodnoty přípustného možného znečištění
- Normami enviromentální kvality
- Ovlivňování lososových či kaprových vod
- Ovlivňování vodárenských nádrží, nebo jiných zdrojů povrchových vod
- Užívání vod ke koupání

**Emisní limity jsou dvojího typu a to „m“ a „p“. Limity s označením „m“ jsou limity maximálními, které nelze za žádných okolností překračovat. Limity typu „p“ jsou limity které jsou splněny, pokud míra jejich překročení v průměru nepřesáhne hodnoty v**

Tab. 1. Obecně platí že čím větší čistírna tím přísnější limity. Nejprísnejší limity které může vodoprávní úřad stanovit jsou určeny na základě nejlepší dostupné technologie [6].

**Tab. 1 – Tabulka emisních standardů přípustného znečištění [6]**

Kategorie ČOV (EO) <sup>1) 7)</sup> nebo velikost aglomerace	CHSK <sub>Cr</sub>		BSK <sub>5</sub>		NL		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> *		N <sub>celk</sub> <sup>2), 8)</sup> *		P <sub>celk</sub>	
	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	p <sup>3)</sup>	m <sup>4)</sup>	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4), 6)</sup>	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4), 6)</sup>	průměr <sup>5)</sup>	m <sup>4)</sup>
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2 001 – 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 001 – 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

**Tab. 2 – Nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování odpadních vod [6].**

Kategorie ČOV [EO]	Nejlepší dostupná technologie	CHSK <sub>Cr</sub>			BSK <sub>5</sub>			NL		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			N <sub>celk</sub>			P <sub>celk</sub>		
		koncentrace		účinnost [%]	koncentrace		účinnost [%]	koncentrace		koncentrace		účinnost [%]	koncentrace		účinnost [%]	koncentrace		účinnost [%]
		p mg/l	m mg/l		p mg/l	m mg/l		p mg/l	m mg/l	prům mg/l	m mg/l		prům mg/l	m mg/l		prům mg/l	m mg/l	
< 500	Nizko až středně zatěžovaná aktivace nebo biofilmové reaktory	110	170	75	30	50	85	40	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	Nizko zatěžovaná aktivace se stabilní nitrifikací	75	140	75	22	30	85	25	30	12	20	75	-	-	-	-	-	-
2001 - 10 000	Nizko zatěžovaná aktivace se stabilní nitrifikací a se simultánním srážením fosforu + mikrosíta či jiná filtrace	70	120	80	18	25	90	20	30	8	15	80	-	-	-	2	5	75
10 001 - 100 000	Nizko zatěžovaná aktivace s odstraňováním nutričních + terciárními stupni včetně srážení fosforu eventuelně dávkování externího substrátu	60	100	80	14	20	90	18	25	-	-	-	14	25	70	1,5	3	80
> 100 000	Nizko zatěžovaná aktivace s odstraňováním nutričních + terciárními stupni včetně srážení fosforu, dávkování externího substrátu	55	90	85	10	15	95	14	20	-	-	-	10	16	75	0,7	2	85

### 3 KANALIZAČNÍ SYSTÉMY

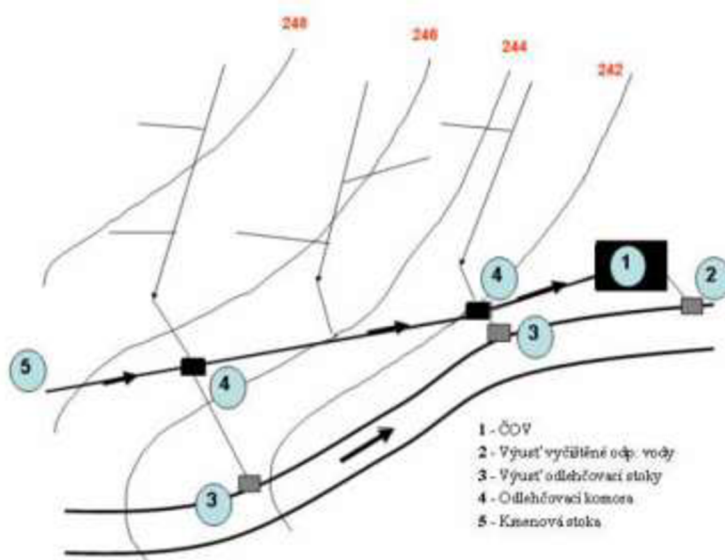
Kanalizační systém má za cíl odvést splaškové či dešťové vody na čistírnu, případně do recipientu. Jednotlivých typů kanalizačních systémů je celá řada, návrh nové kanalizační sítě zohledňuje morfologii, typ a množství vypouštěných odpadních vod a stav stávající kanalizace. Každá obec je pro návrh specifická a při jejím návrhu je dobré zohlednit více systémů odvádění.

#### 3.1 TYPY STOKOVÝCH SOUSTAV

Stoková soustava je chápána jako celkový systém určen pro sběr, shromažďování, dopravu a čištění odpadních vod. Dle způsobu odvádění se stokové soustavy dělí na tři základní typy viz podkapitoly 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3. Stokovou soustavu tvoří uliční stoky, sběrače, kmenové stoky a čistírna odpadních vod [7].

##### 3.1.1 Jednotná stoková soustava

Jednotná soustava má pouze jednu stoku navrženou pro odvod veškerých odpadních vod (dešťové, splaškové) společně na čistírnu. Jednotná síť byla v minulosti upřednostňována z důvodu nižších pořizovacích nákladů a snadnějších technických řešení. Při deštích voda dešťová mnohonásobně převyšuje vodu splaškovou, tato směs vody často končí v recipientu, jelikož není možné větší množství odpadních vod zadržovat a dočišťovat, to s sebou nese ekologická a hygienická rizika [7]. Pokud je jednotnou stokovou sítí přiváděna odpadní voda na přírodní čistírnu, je velmi důležité mít vhodně navrženou odlehčovací komoru. Pokud na přírodní čistírnu přitéká větší množství odpadní vody, než na jaké množství byla čistírna navržena, může docházet k ucupávání filtračních materiálů, povrchově protékající vodě, zápachu a nedostatečné účinnosti čistírny [5].

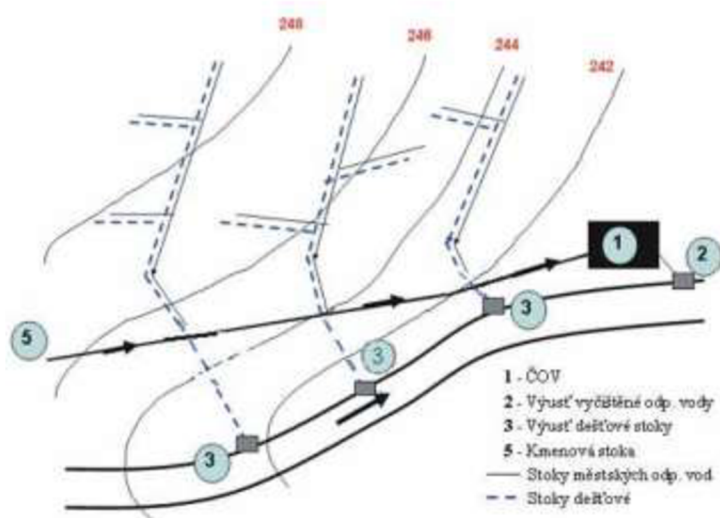


Obr. 2 Jednotná stoková síť [7]



### 3.1.2 Oddílná stoková soustava

Oddílná soustava má více samostatných tras pro různé odpadní vody. Většinou se jedná o dvě trasy, jedna pro vody odpadní, které jsou odváděny na čistírnu a druhá soustava pro vody dešťové vyústěných většinou v recipientu. Systém oddílné stokové soustavy také není nejideálnější z hlediska ekologie a hygienického rizika pro přírodu. Dešťové vody mohou být znečištěny splachy minerální i organické povahy, úkapy pohonných hmot a možná je i přítomnost fekálního znečištění [7]. V případě oddílné soustavy je třeba u přírodních čistíren navrhnout vícestupňovou filtraci z důvodu vyšších koncentrací znečištění [5].

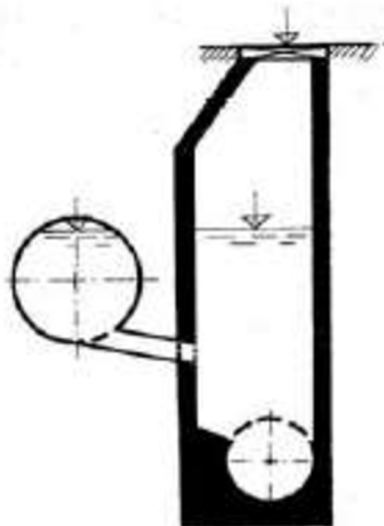


Obr. 3 Oddílná stoková síť [7]

### 3.1.3 Modifikovaná stoková soustava

Modifikovaná stoková soustava může být například kombinací soustavy jednotné a oddílné. Principem je, že jsou dvě potrubí, hluboce uložené splaškové a mělce uložené dešťové. Jakmile začne pršet, první a také nejhorší splachy jsou odvedeny splaškovou kanalizací. Jak se potrubí plní, tak přepouštěcí potrubí přestává stíhat odvádět veškerou dešťovou vodu do splaškové kanalizace a voda končí v recipientu [7]. Modifikovaná stoková soustava je u nás minimálně používána.





**Obr. 4 Modifikovaná stoková soustava [7]**

### **3.2 SYSTÉMY USPOŘÁDÁNÍ STOKOVÝCH SÍTÍ**

Koncepce uspořádání stokových sítí je předurčena zejména morfologií území, urbanistického řešení zástavby a vzájemné polohy odvodňovaného území a recipientu. Základními systémy odvodnění jsou radiální, větvenné, pásmové a úchytné. Ve většině případů je systém uspořádání řešen kombinací těchto systémů [7].

#### ***Radiální systém***

Odpadní vody jsou shromážděny v nejnižším místě, odkud jsou přečerpávány na místo odkud již mohou gravitačně odtékat. Systém je využíván v kotlinách bez vhodného spojení s recipientem, případně s ČOV [7].

#### ***Větvenný systém***

Navrhuje se na členitém území s nepravidelnou zástavbou, vedlejší stoky jsou v nejkratším možném směru napojovány na stoku hlavní, kterou je odpadní voda odváděna [7].

#### ***Úchytný systém***

Navrhuje se v plochých říčních údolích s mírným sklonem odvodňovaného území. Sběrače vedou směrem k toku a jsou napojeny do kmenové stoky, která je vedena podél toku. Na kmenové stoce bývají odlehčovací komory, které nařaděnou dešťovou vodu vypouštějí do recipientu [7].

## ***Pásmový systém***

Pásmový systém se navrhuje na rozsáhlejších územích s většími výškovými rozdíly. Stoková síť je rozdělena na více výškových pásem a poté svedena do pásmových sběračů [7].

### **3.3 ZPŮSOBY DOPRAVY ODPADNÍ VODY**

Volba způsobu dopravy odpadní vody závisí na mnoha faktorech. Nejdůležitějším řešeným bodem u volby způsobu je morfologie odvodňovaného území. Dopravu vody je možno rozdělit na tradiční (gravitační) způsob odvádění a na alternativní způsob odvádění [7].

#### **3.3.1 Tradiční způsob odvádění**

Za tradiční způsob odvádění lze považovat jednotné či oddílné soustavy s gravitačním způsobem dopravy vody. U tradičních způsobů je kladen důraz na jednoduchost a spolehlivost systému. Tlakové řešení kanalizace je v tomto případě řešeno jen za nezbytně nutných podmínek a na krátké úseky.

#### **3.3.2 Alternativní způsoby odvádění**

Tyto způsoby odvádění odpadních vod se neobejdou bez strojního zařízení, které buď vodu tlačí, nebo saje. Alternativní způsoby odvádění se uvažují pokud nelze užít tradičního způsobu odvádění, nebo je jeho užití nevhodné. Okolnostmi pro volbu alternativních způsobů mohou být například:

- Rozptýlená zástavba.
- Konfigurace terénu.
- Zájmové území s více povodími a jednou ČOV.
- Terasovitá zástavba, kde by situace vyžadovala souběh dvou gravitačních stok.
- Oblasti s nepříznivými podmínkami pro zakládání stok.
- Potřeba provedení stok bezvýkopovou metodou.
- A další.

Nevýhodou alternativních způsobů odvodnění je absence dlouhodobých zkušeností, provozní náročnost, vyšší požadavky na energie, vyšší četnost poruch [7].

## ***Tlaková kanalizace***

Tlaková kanalizace je založena na principu přetlaku uvnitř stokové sítě. Trubní síť může být buď větvenatá nebo okružová. Čerpadla umístěna v čerpacích jímkách dodávají do systému odpadní vody požadovaný přetlak, který se pohybuje v rozmezí cca 20–50 m v.s. (vodního sloupce). Čerpací jímky jsou umístěny v blízkosti odvodňovaného objektu, do čerpací jímky jsou splaškové vody dopravovány zpravidla gravitačně. Systém je doporučován zejména pro plochá či mírně zvlněná území [7].



**Obr. 5 Čerpací jímka tlakové kanalizace ([www.cerpacijimky.cz](http://www.cerpacijimky.cz))**

### ***Podtlaková kanalizace (vakuová)***

System je založen na podtlaku ve stokové síti, kdy je odpadní voda v podobě kapiček unášena potrubím do podtlakových nádob podtlakové stanice, ze kterých je voda odčerpávána pomocí konvenčních čerpadel na ČOV. Podtlakové nádoby tvoří v systému podtlak o hodnotě 0,6-0,7 baru. Unášecí rychlost kapiček dosahuje rychlosti 6–8 m.s<sup>-1</sup> [7].



**Obr. 6 Podtlaková kanalizace ([www.miper.gr](http://www.miper.gr))**

## 4 ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Znečištěné odpadní vody je třeba čistit. Mohou obsahovat znečišťující látky které jsou škodlivé pro životní prostředí. K čištění odpadních vod jsou využívány čistírny, a to buď mechanicko-biologické, nebo přírodní. Mechanicko-biologické čistírny se používají od malých obcí až po velká města. Základní technologie používané na těchto čistírnách jsou aktivační proces a biofilmové reaktory. Přírodní čistírny fungují zejména na filtraci skrz filtrační lože. Hlavní stupeň přírodních čistíren se dělí na hlavní stupeň s volnou hladinou, hlavní stupeň s vertikálním podpovrchovým průtokem a hlavním stupněm s horizontálním podpovrchovým průtokem. Nejvyšší účinnosti dosahuje čistírna se zařazeným vertikálním filtrem.

Oproti mechanicko-biologickým způsobům čištění odpadních vod jsou přírodní čistírny náročnější na plochu. Zato náklady na provoz a údržbu těchto čistíren jsou oproti mechanicko-biologickým systémům až o 99 % menší. V přírodních čistírnách jsou nulové, nebo velmi malé požadavky na elektrickou energii. Není zde vyžadována neustálá obsluha, kontrola funkčnosti a vyvážení kalu [8]. Na základě informací z výstavby více jak 40 přírodních čistíren bylo zjištěno, že investiční náklady na pořízení přírodní čistírny kolísají v rozmezí 4–46 tisíc Kč/EO. Ve srovnání s mechanicko-biologickými čistírnami se přírodní čistírny do 2000 EO řadí mezi investičně středně nákladné [9]. Přírodní čistírny méně zatěžují životní prostředí. Na 1 m<sup>3</sup> upravené vody v případě kořenové čistírny připadá 1.5 kg CO<sub>2</sub> a u reaktoru 3.7 kg CO<sub>2</sub> [8]. Účinnost odstraňování znečištění je u klasických způsobů vyšší oproti přírodnímu způsobu čištění. Přírodní čistírny se ale obecně lépe vypořádávají s organickými látkami a živinami [8].

### *Souhrn výhod přírodních čistíren*

- nízké náklady na provoz
- při správném navržení velmi dobrá účinnost odstraňování znečišťujících látek
- dlouhá životnost přírodních čistíren bez ztráty účinnosti čištění v průběhu let
- dobré začlenění do okolní krajiny
- žádné nebo velmi nízké nároky na elektrickou energii,
- dobře se vyrovnávají s rozkolísaností přítoku
- menší náchylnost k haváriím vzhledem k robustnosti přírodního systému [9].

### *Souhrn nevýhod přírodních čistíren*

- jsou náročné na plochu
- je třeba pravidelně kosit vegetaci
- delší doba zdržení vody
- menší účinnost některých systémů
- horší předpoklady k řízení procesu čištění

## 4.1 MECHANICKO-BIOLOGICKÉ ČISTÍRNY

Mechanicko-biologické čištění je v dnešní době nejpoužívanějším typem čištění. Základním procesem těchto čistíren jsou biochemické procesy [7].

### 4.1.1 Předčištění a mechanické čištění

U biologických čistíren je třeba odstranit zejména hrubé a makroskopické látky které by mohly vést v dalších stupních čistírny k mechanickým závadám a zanášení objektů. Základem každé čistírny jsou česle. Hrubé česle mají velikost průlin mezi 5 až 20 cm, slouží především jako ochrana čerpadla. Jemné česle mají průliny v rozmezí 10 až 20 mm a jsou většinou strojně stírané. Po česlích přichází na řadu lapáky písku. Ty slouží k zachycování částic do velikosti zrn 0.2 až 0.25 mm. Jedná se zejména o minerální látky a písek. Dle velikosti čistírny lze zařadit i lapáky tuků. Dalším stupněm předčištění je usazování. K tomu slouží usazovací nádrže, ve kterých dochází k separaci suspendovaných látek obsažených v odpadní vodě, které klesají ke dnu [7].



Obr. 7 Ručně stírané česle ([www.asio.cz](http://www.asio.cz))

### 4.1.2 Technologické varianty biologického čištění

Po mechanickém předčištění následuje hlavní stupeň čištění. Na hlavním stupni se uplatňují biochemické procesy. Za přítomnosti kyslíku aerobní mikroorganismy rozkládají organické látky obsažené v čištěné vodě. Nejčastěji používané varianty biologického čištění jsou aktivační systém, biofilmové reaktory a stabilizační nádrže [7].

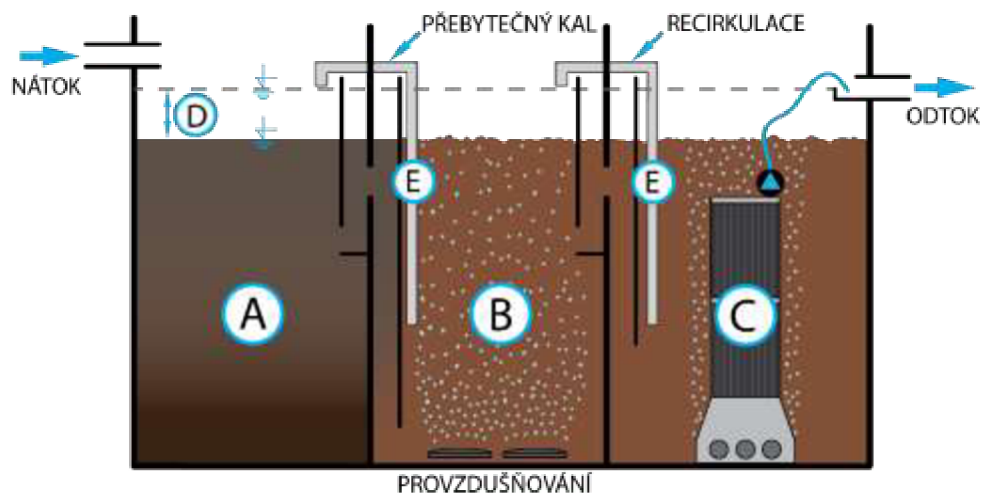
#### *Aktivační proces*

Aktivace je nejpoužívanější proces na čistírnách odpadních vod. Skládá se z biologické jednotky (aktivační nádrž) a separační jednotky (dosazovací nádrž). Odpadní voda přitéká do aktivační nádrže, kde se promísí s vratným kalem a je provzdušňována, zde se

vytvoří takzvaný aktivovaný kal. Následně se aktivovaný kal separuje od vyčištěné vody v separační nádrži, poté je separovaný kal vracen do aktivační nádrže, nebo jako přebytečný kal putuje na kalové hospodářství. Mezi faktory ovlivňující účinek aktivace patří pH, nutrienty (minerální živiny pro mikroorganismy), doba zdržení, koncentrace a kvalita aktivovaného kalu, teplota a koncentrace org. znečištění [7].

### Základní typy aktivačního procesu:

- Aktivace s postupným tokem
- Směšovací aktivace
- Odstupňovaná aktivace
- Postupně zatěžovaná aktivace
- Aktivace s oddělenou regenerací kalu
- Aktivace se zkrácenou dobou zdržení
- Rychloaktivace
- Dlouhodobá aktivace
- Aktivace s cirkulací aktivační směsi
- Oběhová aktivace
- Atd [7]

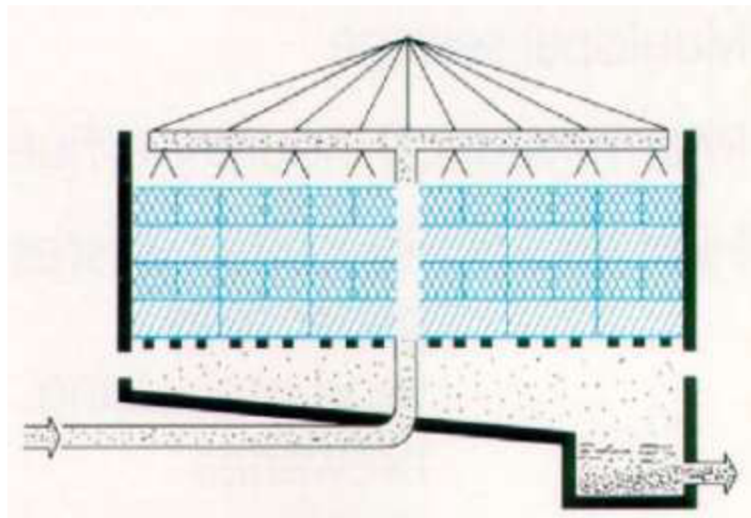


Obr. 8 Aktivační proces malých čistíren (www.asio.cz)

### *Biofilmové reaktory*

Biofilmové reaktory nejsou provzdušňovány jako aktivační nádrže, fungují na principu přisedlé biomasy na pevném nosiči, na kterém vytváří biologickou blánu (biofilm). Nejčastějšími typy reaktorů jsou skrápěné biologické kolony, ty jsou tvořeny kruhovým rámem a vrstvou materiálů přisedlých na roštovém dně. Voda je vypouštěna na povrchu a filtrována skrz náplň kolony odshora dolů, kde dochází ve styku s biofilmem k jejímu čištění. Následně odtéká do dosazovací nádrže. Druhým typem jsou ponořené biologické kolony, ty mají na rozdíl od skrápěných kolon průtok čištěné vody od zdola nahoru s nucenou areací. Náplň kolony je buď ve vzosu nebo pevně přisedlá. Dalším typem jsou rotační

biokontakty. Ty jsou tvořeny rotačními disky částečně ponořenými, které se pomalu otáčejí a na jejich členité ploše se tvoří biofilm. Přebytečný biofilm z rotačních disků postupně odpadá a odtéká s přečištěnou vodou do dosazovací nádrže, kde se sedimentuje [7].



**Obr. 9 Biofilmový reaktor skrápěný [7]**

## 4.2 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY

Přírodní čistírna je typ umělého mokřadu, který byl vytvořen s cílem čištění odpadní vody do něj vpouštěné pomocí fyzikálních, chemických a biologických procesů. První zmínky o tomto typu čištění se datují do roku 1953, první přírodní čistírna vznikla v německém Liebenburg -Othfresen v roce 1974. Hlavní stupeň čistírny se dělí na tři základní typy. Hlavní stupeň s volnou hladinou, s horizontálním podpovrchovým průtokem a vertikálním podpovrchovým průtokem. Je žádoucí zařazení více stupňů za sebe [10].

Přírodní čistírny se využívají pro primární a sekundární čištění odpadní vody. Pokud je čistírna dobře navržena a udržována je velmi levná na provoz, s dobrou účinností odstranění znečištění. Základními předpoklady pro dobré fungování přírodní čistírny je teplota, hydraulické zatížení, typ navržené vegetace a médium. Účinnost odstraňování u znečišťujících látek u vhodně navržených přírodních čistíren je u BSK 80–90 %, CHSK 60–85 %, NL 80–95 % [8].

### 4.2.1 Mechanické předčištění

Mechanické předčištění je velmi důležité z důvodu odstranění hrubých nečistot a udržení co možná nejdelšího bezporuchového chodu čistírny. Součástí mechanického předčištění je několik zařízení, kterými znečištěná voda postupně protéká a zbavuje se plovoucích nečistot. Součástí mechanického předčištění je i odlehčovací komora [5].

#### *Česle*

Česle zachycují nejhrubší nečistoty. Česle mohou být buď ručně stírané, nebo vhodnějším řešením jsou automaticky stírané česle s minimálními požadavky na údržbu.



Průliny u česlí by měly být 15–20 mm [9] Četnost údržby ručně stíraných česlí je určena na základě množství ekvivalentního obyvatelstva [11].



**Obr. 10 Ručně stírané česle (Jan Vymazal)**

### ***Odlehčovací komora***

Odlehčovací komora je z pohledu bezpečnosti a udržitelnosti čistírny nepostradatelný prvek. Díky odlehčovací komoře se dá kontrolovat množství přitékající odpadní vody na čistírnu a tím i docílit nepřetěžování usazovací nádrže, nebo septiku. Pokud by docházelo k přetěžování, následkem by mohlo být vyplavování usazeného kalu až postupné zanášení filtrů. Efekt vyplavování je nežádoucí, jelikož může docházet k problémům s odstraňováním  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ ,  $\text{BSK}_5$  a  $\text{N-NH}_4^+$ . Nejdůležitějším údajem u návrhu odlehčovací komory je  $Q_{\text{max}}$  (l/s) [5].





**Obr. 11 Odlehčovací komora (Jan Vymazal)**

### ***Lapák písku***

Lapáky písku slouží k zachytávání suspendovaných látek jako je písek, drobný štěrk, úlomky skla a další látky drobného charakteru. V lapácích by se neměli usazovat látky organického původu z důvodu možného zahnívání. Lapáky písku fungují na principu snížení průtočné rychlosti vody a usazování látek na dně ochranné prohlubně. Množství písku na EO je velmi různorodé a závisí na stavu stokové sítě a podloží, množství písku obvykle bývá mezi 5–12 litry za rok na EO [9].

Nejjednodušším lapákem písku je lapák žlabový, dalšími alternativami jsou štěrbinový lapák a komorový lapák. Je povinností zajistit dobrý přístup techniky a pravidelně lapáky vyvážet [9] Lapáky písku nejsou běžným vybavením, jeho zařazení závisí na místních podmínkách, zvolené technologii a na strojním zařízení čistírny [12].

U podélně protékaného lapáku písku má být maximální rychlost protékající vody do 0,30 m/s. Střední doba zdržení alespoň 30 sekund a hydraulické zatížení hladiny má být pod  $16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ . Návrh vertikálně protékaných filtrů se má řídit následujícími podmínkami. Vzestupná rychlost nemá být větší jak 0,05 m/s střední doba zdržení má být větší jak 30 sekund a hloubka účinného prostoru okolo 3 m. Akumulační prostor na písek má být jak u podélně protékaného tak vertikálně protékaného filtru na 10 až 15 dní [12].



**Obr. 12 Lapák písku (Jan Vymazal)**

### ***Štěrbínová usazovací nádrž***

Používá se jako usazovací nádrž sloužící k zachycení jemných kalových částic. Jde o hloubkovou nádrž, která je rozdělena dnem se štěrbinou. V horní části probíhá usazování, kde usazený kal sklouzává po stěnách žlabu a propadá do níže položeného usazovacího prostoru, kde dochází k anaerobní stabilizaci a odkud je kal odčerpáván obsluhou [9]. Zařazuje se obvykle jako mechanické předčištění před biologickým stupněm, zemním filtrem atd. Do štěrbinových usazovacích nádrží lze vypouštět odpadní vody a kaly ze žump a septiků [12]. Štěrbínová usazovací nádrž funguje jako poddimenzovaný septik. Výhodou usazovací nádrže jsou její levné investiční náklady a úspora prostoru. Nicméně štěrbinová nádrž nefunguje tak dobře jako vícekomorový septik [5]. V České republice se většinou za štěrbinovou usazovací nádrž umísťuje horizontální filtr. Po 10 až 20 letech užívání jsou tyto filtry silně zakolmatované a filtry ztrácí účinnost většinou z důvodu špatně navržené nebo sestrojené usazovací nádrže [13].

Návrh usazovacích prostorů štěrbinové nádrže má vycházet ze střední doby zdržení a hydraulického zatížení podle následující tabulky. Sklon šikmých stěn má být nejméně 1,4 : 1. Šířka štěrbiny alespoň 0,12 m. Poměr šířky ku délce usazovacího žlabu je doporučeno 1 : 5. Uvažovaný specifický objem je doporučen 150 l/EO

**Tab. 3 Hodnoty teoretické doby zdržení a hydraulického zatížení [12]**

Zařazení štěrbinové nádrže	Střední doba zdržení v hodinách při průtoku		Hydraulické zatížení plochy v $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ při průtoku	
	$Q_v$	$Q_{\text{max}}$	$Q_v$	$Q_{\text{max}}$
- před biofiltry	2,0 až 4,0	1,0	0,7 až 1,4	2,0
- před aktivací	1,0 až 3,0	0,5	1,0 až 2,4	4,0
- před vegetační čistírnu s horizontálním podpovrchovým průtokem	4,0 až 6,0	2,0	0,3 až 0,7	1,0

**Obr. 13 Štěrbínová usazovací nádrž [5]**

### ***Septiky***

Septiky pro odpadní vody jsou brány jako usazovací nádrže s přepladem. V septiku dochází k anaerobnímu odstraňování organických látek a ke stabilizaci kalu [9]. Pokud je septik správně navržený tak odtok odpadní vody obsahuje převážně rozpuštěné látky, větší část nerozpuštěných látek by se měla zachytit v septiku [13]. U septiků s jednou komorou může docházet ke zhoršování odtoku vyhnívajícím kalem z důvodu neoddělení usazovací a vyhnívací části. Proto je vhodnější variantou použití vícekomorového septiku s oddělenými komorami normými stěnami [9]. Nevýhodou vícekomorových septiků je pouze pořizovací cena [5] Nejběžnějšími septiky jsou tříkomorové. Komory jsou navzájem odděleny příčkami, kdy spodní část příčky sahá 0,3 m pod hladinu a spodní hrana příčky by měla být alespoň 0,4 m nade dnem. Septiky se zařazují jako mechanické a biologické předčištění před hlavní čistící stupeň, kterým je obvykle zemní filtr, biofilmový reaktor, nebo vegetační a aktivační čistírna [12]. Provoz septiku je levný a jednoduchý, odkalování probíhá 1 až 4× ročně [13].

Objem septiku se navrhuje podle střední doby zdržení septiku a podle potřebného kalového prostoru. Doporučenou střední dobou zdržení je 5 dní v účinném prostoru septiku. Celkový účinný prostor se počítá dle následující rovnice.

$$V = a \cdot n \cdot q \cdot t$$

kde je:

$a$  součinitel vyjadřující kalový prostor (obvykle  $a = 1,5$ );

$n$  počet připojených obyvatel;

$q$  specifická potřeba vody na osobu v  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$t$  střední doba zdržení ve dnech (obvykle  $t = 5$  d) [12].

### ***Anaerobní separátor***

Anaerobní separátor konstrukčně vychází ze septiku, je to jeho inovovaná forma s optimalizovanou a prodlouženou dobou zdržení. Doba zdržení se stanovuje na základě zkušebního provozu čistírny. Anaerobní separátor by měl mít alespoň tři komory, střední doba zdržení je minimálně 4 dny a objem separátoru minimálně  $4 \text{ m}^3$  [12].

## **4.2.2 Hlavní stupeň čištění**

Za hlavní stupeň čištění u přírodních čistíren jsou považovány zejména zemní izolované nádrže, které mají za cíl zbavit vodu o znečišťující látky. Každý z následujících systémů má svá pro a proti. Většinou je nejlepší zařadit do čistírenského procesu kombinaci více systémů.

### ***Hlavní stupeň čištění s volnou hladinou***

Typ čištění s volnou hladinou je nejpodobnější běžnému močálu [10]. Jedná se o izolovanou nádrž s volnou hladinou, která je osázena mokřadními rostlinami. Užívána je zejména pro předčištění nebo dočištění odpadních vod. Hlavní stupeň s volnou hladinou pracuje v aerobním režimu u hladiny a zejména v anaerobním režimu u dna. Skvěle si tato čistírna poradí s NL. Čistírna s volnou hladinou je náročná zejména na plochu, vyžaduje minimálně  $10 \text{ m}^2$  na ekvivalentního obyvatele [14]. Dosahuje střední účinnosti odstranění stopových látek, BSK a CHSK mezi 50–60 %, nerozpuštěné látky 70–80 % a dusík 50–65 % [8].

Přírodní čistírny s volnou hladinou jsou v dnešní době málo používané, mají velmi malou účinnost, jsou velmi náročné na prostor, produkují silný zápach a v jejich okolí prospívají komáři [15].





**Obr. 14 Čistírna s volnou vodní hladinou (foto Jan Vymazal)**

### ***Hlavní stupeň čištění s podpovrchovým průtokem***

Jedná se o sofistikovanější zařízení, než je tomu u čistíren s volnou hladinou. Čistírny s podpovrchovým průtokem jsou založeny na principech filtrování skrz médium, a to buď v horizontálním nebo vertikálním směru.

#### **Hlavní stupeň s horizontálním průtokem**

Horizontální filtry se používají k čištění domovních a komunálních odpadních vod. Mohou sloužit také jako výluhy pro průmysl, skládky a výluhy kontaminovaných oblastí pro ochranu jiných rostlin [16]. Horizontální filtry jsou z konstrukčního hlediska jednodušší než vertikální filtry, nevyžadují složité distribuční zařízení a filtr se skládá z jednoho materiálu. Jejich velkou nevýhodou je minimální účinnost odstraňování amoniakálního dusíku, proto z nich často odtéká zápachající a na oko znečištěná voda [13]. Požadovaná plocha u samostatných filtrů je 5–10 m<sup>2</sup>/ OE [8]. Základní konstrukce horizontálního filtru se skládá z obdélníkového lůžka ohraničeného nepropustnou membránou. V těchto systémech je voda přiváděna na distribuční zónu a pomalu proudí skrz porézní médium, pod povrchem ve vodorovné dráze na sběrnou zónu, kde je přečištěná voda zachycena a postupně vypouštěna. Voda při čištění protéká skrz aerobní zóny vyskytující se kolem kořenů, anaerobní a anoxické. Tuto metodu vyvinul Käthe Seidel v Německu [17]. Hloubka filtračního pole je okolo 1 m. Zaznamenaná účinnost odstraňování znečišťujících látek byla 56–83 % pro NL, BSK 75–85 % a CHSK 66–82 %. Horizontální filtr má nižší účinnosti pro odstraňování NH<sup>4+</sup> [16].

Jako materiál používaný pro horizontální filtry je obvykle použito říční nebo drcené kamenivo o frakci 4/8 mm. V blízkosti drenážního potrubí je vhodné zvýšení zrnitosti na 8/16, případně 16/32 podle použitého drenážního potrubí. Vrchní vrstvu je vhodné realizovat z říčního štěrku nebo tříděného praného písku 4/8 mm [12].

Horizontální filtr se doporučuje do sestavy s vertikálním filtrem pro zbavení nerozpuštěných látek, které by mohly ucpávat vertikální filtr. V tom případě může být plocha

horizontálního filtru menší. Pak je nutné stanovit odtokovou koncentraci BSK a CHSK na odtoku z horizontálního filtru [13].

Plocha vegetační čistírny se stanoví dle následujícího vzorce:

$$A = Q_d (\ln c_p - \ln c_o) / (k_{bsk} \cdot n \cdot h)$$

kde je

$Q_d$  průměrný denní přítok vody v  $m^3/d$ ;

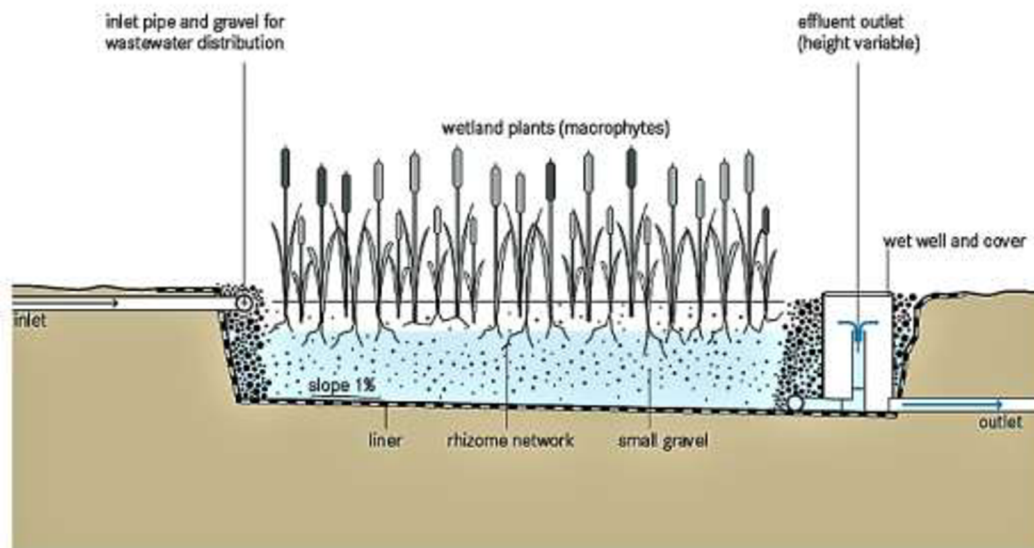
$c_p$  předpokládaná koncentrace znečištění BSK<sub>5</sub> na přítoku do filtru v mg/l;

$c_o$  požadovaná koncentrace znečištění BSK<sub>5</sub> na odtoku z filtru v mg/l;

$k_{bsk}$  rychlostní konstanta úbytku znečištění BSK<sub>5</sub> v m/d (doporučovaná hodnota je 0,10 m/d);

$n$  pórovitost (bezrozměrná forma, často 0,40–0,45);

$h$  hloubka filtru v m [12].



**Obr. 15 Hlavní stupeň s horizontálním průtokem (www. sswm.info)**

### Hlavní stupeň s vertikálním průtokem

Hlavní stupeň s vertikálním průtokem je založen na filtrování skrz filtrační materiály odshora dolů. Rozvodné potrubí několikrát za den dávkuje vodu na čistírnu, voda protéká skrz filtrační materiály a vespod čistírny je přečištěná voda zachytávána sběrným potrubím a odváděna pryč.

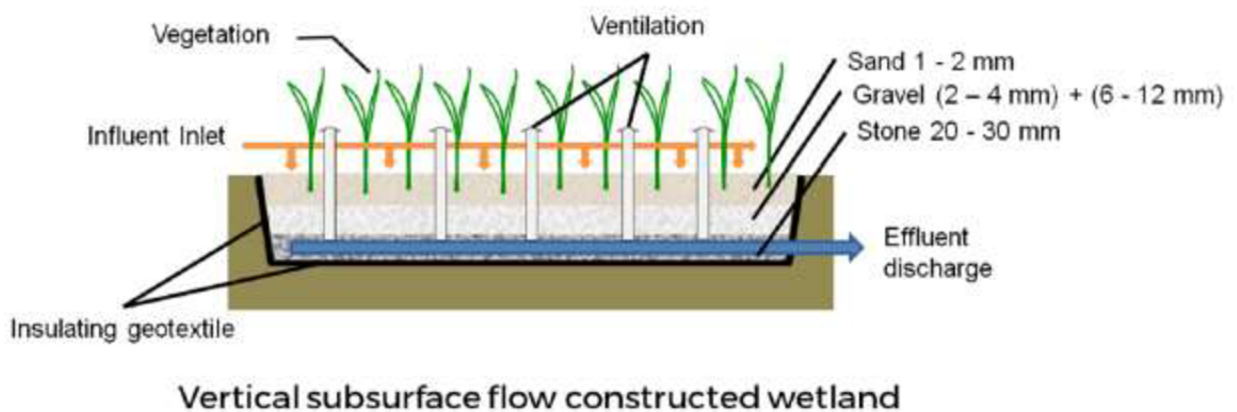
Návrh velikosti filtračního pole vychází zejména z koncentrace CHSK přitékající na čistírnu. S  $N-NH_4^+$  si vertikální čistírny bez větších problémů poradí. Účinnost odstraňování CHSK pulzně skrápěného filtru je  $15 g_{CHSK}/m^2/den$ . V Rakousku, kde jsou vertikální filtry hojně užívány se dostavuje účinnost i nad  $20 g_{CHSK}/m^2/den$ . Následně je zapotřebí na známou velikost filtračního pole navrhnout rozdělovací potrubí, které je zhotovené ideálně

z polypropylenu o DN 100 pro přívodní a DN50 pro rozdělovací potrubí. Je zapotřebí aby voda byla rozdělena po filtru rovnoměrně, proto jsou vertikální filtry skrápěny pulzně a je nutné použití čerpadla, nebo pulzního vypouštěče. Pro správné fungování filtru je maximální denní dávka odpadní vody 120–150 mm/den a maximální počet dávek je 5–10. Velkou výhodou vertikálních filtrů je odolnost vůči rozkolísaným přítokům během roku [5].

Filtrační skladba je rozdělena do několika vrstev. Na povrchu je rozdělovací potrubí a u dna retenční záchytné potrubí. Filtrační materiály jsou poskládány z vrstev praných říčních štěrků, drcených štěrků a písku. Pokud je pod čistírnou nevhodné podloží, je zapotřebí použít hydroizolace z PVC. Celková výška filtračních materiálů vychází v rozmezí 800–1100 mm [5]. Vrchní vrstva filtru může být osázena mokřadními rostlinami, jedná se nejčastěji o chrastici rákosovitou, nebo rákos obecný, hustota výsadby by měla být 4–6 rostlin na metr čtverečný [12]. Vysázené mokřadní rostliny mají hned několik funkcí, chrání potrubí před povětrnostními vlivy a slunečním zářením, v zimním období částečně chrání potrubí před promrzáním, podporují výpar vody z filtru, částečně se podílejí na prokysličování filtru a mají i estetickou funkci [11].

Vertikální filtr má o něco vyšší požadavky na provoz a údržbu než horizontální filtr a čistírny s volnou hladinou. Velkou výhodou tohoto systému jsou malé nároky na plochu a vyšší účinnost odstraňování znečištění. Systém funguje na přerušovaném dávkování odpadní vody [19]. To umožňuje lepší prostup kyslíku do filtračního lože, což napomáhá k oxidaci amoniaku [9].

Vertikální filtr má tedy účinnost odstraňování  $CHSK$   $U_{CHSK}=15-20 \text{ g}_{CHSK}/\text{m}^2/\text{den}$  a maximální denní dávka má být 0,15 m/den z čehož vychází plocha filtru 1–5 m<sup>2</sup>/EO. Výškový rozdíl nátoky a výtoky má obvykle rozdíl 1–1,2 m.



**Obr. 16** Hlavní stupeň s vertikálním průtokem ([www.wetwinesoftware.eu](http://www.wetwinesoftware.eu))

### 4.2.3 Dočištění

Dočištění se u přírodních čistíren nejčastěji provádí pomocí mělkých stabilizačních nádrží, které jsou velmi podobné rybníku. Stabilizační nádrže však nejsou bezpodmínečně

nutné a využívají se jen sporadicky při požadavcích na vyšší kvalitu přečištěné vody. V této bakalářské práci stabilizační nádrž nebude navrhovat, proto se ani dále nebude popisovat.

#### **4.2.4 Kalové hospodářství**

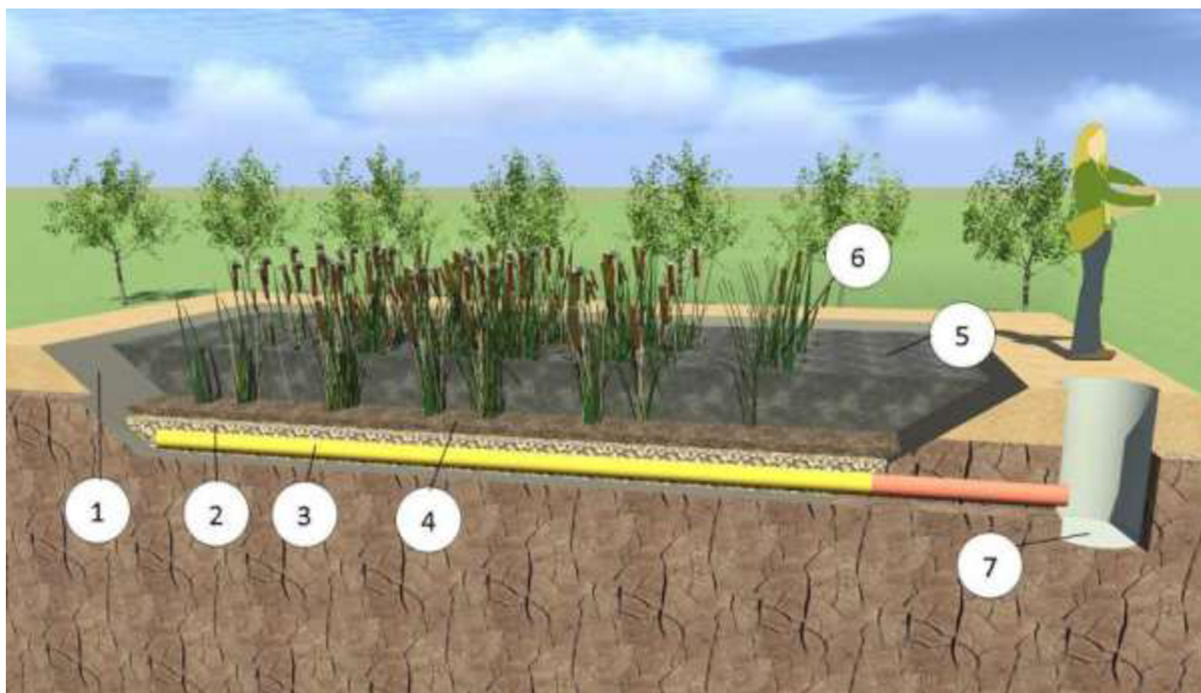
V procesu čištění odpadních vod vzniká vedlejší produkt a tím je kal. Většina systému nakládání s kalem je peněžně náročná a u malých čistíren nedává smysl. Jednou z možností u menších čistíren je kompostování, to má ale vysoké počáteční náklady na vybavení a u malých čistíren není zaručena dostatečná kvalita kompostu pro zemědělské účely. Další možností je kalové pole nebo Reed-bed systém [20]. Reed-bed systém oproti kalovému poli zvyšuje intenzitu odvodnění rostlinami a drenážním systémem s odvodněním [13].

##### ***Reed-bed odvodnění kalu***

Reed-bed pole funguje na principu, kdy je kalová voda načerpána 3–4krát ročně na reed-bed pole. Na kalovém poli se kal pomocí evapotranspirace, mokřadních rostlin a vsakování odvodňuje. (Mokřadní rostliny v ideálním případě spotřebují zhruba 1 m<sup>3</sup> vody na metr čtvereční za vegetační sezónu.) Reed-bed pole se umísťuje poblíž usazovací nádrže nebo septiku. Pokud je to možné, systém by měl být navržený výškově tak, aby voda z kalového pole samospádem odtékala do akumulárního objektu a pak dále na čistírnu. V případě tlakové kanalizace v obci je výhodné objekt předčištění umístit nad terén, aby kal mohl téct samospádem na reed-bed pole. V případě gravitační stokové sítě je výhodné umístit reed-bed pole nad terén a ze septiku případně z usazovací nádrže kalovou vodu přečerpávat pomocí fekálního vozu [13].

Reed-bed systém je osázen mokřadními rostlinami jako rákos obecný či chrastice rákosovitá. Rostliny jsou umístěny na povrchu pole, zlepšují mineralizaci kalu. Dávkování kalu na pole by mělo být rozděleno na 3 až 4 aplikace za rok. Dávka se aplikuje na pole ve vrstvě 0.3–0.4 m. Po napuštění dávka musí být minimálně o 0.2 m nižší než výška vzrostlých rostlin na poli. Hloubka vnitřního prostoru reed-bed systému může být 2–4 m, provozování tohoto pole je na 10–15 let, záleží na hloubce. Reed-bed systém se v posledním roce ponechá bez přidávání dalšího kalu, aby byla zajištěna dostatečná mineralizace a stabilizace kalu. Na základě vlastností je s ním dále nakládáno. Plošná velikost reed-bed je 2–3 EO/m<sup>2</sup> [12].





**Obr. 17 Kalové pole Reed-bed (Michal Kriška Dunajský)**

*Vysvětlivky: 1 - izolační fólie, 2 - drenážní vrstva, 3 - odvodňovací potrubí, 4 - pískový substrát, 5 - odvodňovaný kal, 6 - mokřadní rostliny, 7 - sběrná šachta*

#### **4.2.5 Provoz čistíren s podpovrchovým průtokem**

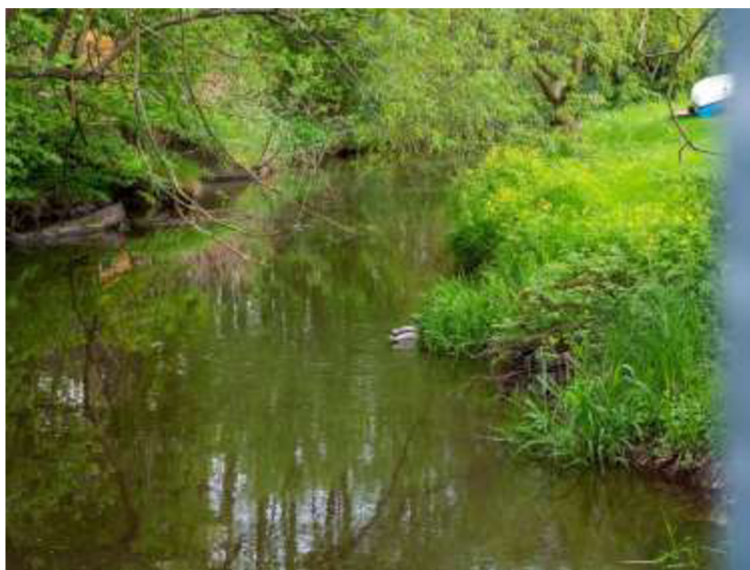
Provoz čistíren s podpovrchovým průtokem je velmi levný. Přírodní čistírny obsahují minimum mechanických součástí, které by se mohly opotřebovávat a které by spotřebovávaly větší množství elektrické energie. To může vést k mylnému dojmu, že jsou tyto čistírny bezúdržbové. I ty nejjednodušší čistírny potřebují pravidelnou kontrolu a základní údržbu. Pokud je zařazeno mechanické předčištění je třeba septiky a štěrbinové nádrže pravidelně kontrolovat a vyvážet, čistit česle, lapáky písku a štěrky. Dále je třeba kontrolovat nastavení výšky vodní hladiny na čistírně a kontrolovat potrubí, aby byla odpadní voda rovnoměrně rozdělena po celé čistící ploše a na konci zimního období posekat vegetaci. Vegetace se kosí na konci zimního období, protože přes zimu zatepluje filtrační lóže a nedochází k úplnému promrzání. Pokud je obsluha čistírny pravidelná, je časově i finančně nenáročná [9].

Často diskutovanou otázkou ohledně podpovrchově protékaných čistíren je nakládání s filtračním materiálem v případě výměny filtračního lóže. V 70. a 80. letech se totiž pro tyto čistírny používaly půdní substráty s nízkou hydraulickou propustností, u kterých docházelo k ucpávání. Filtrační materiál, který je v dnešní době navrhován pro podpovrchově protékané čistírny je velmi porézní a nedochází u něj k ucpávání (kolmataci). Odhadovaná životnost filtru je více jak 10 let při správné údržbě a dobře navržených dimenzích čistírny [9].

## 5 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD NERATOV

### 5.1 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Obec Neratov se nachází v Pardubickém kraji okres Pardubice, zhruba 2 km od Lázní Bohdaneč. Na území obce se nachází osada Novinsko. Počet trvale bydlících obyvatel je 162. První dochované zmínky o obci jsou z roku 1436, koncem 15. století zde začali hospodařit Pernštejnové, kteří v okolí obce vybudovali řadu rybníků a také významné vodohospodářské dílo Opatovický kanál, jenž protéká skrz území obce. V obci startuje naučná stezka Perštejnskými rybníky, která láká řadu turistů [21].

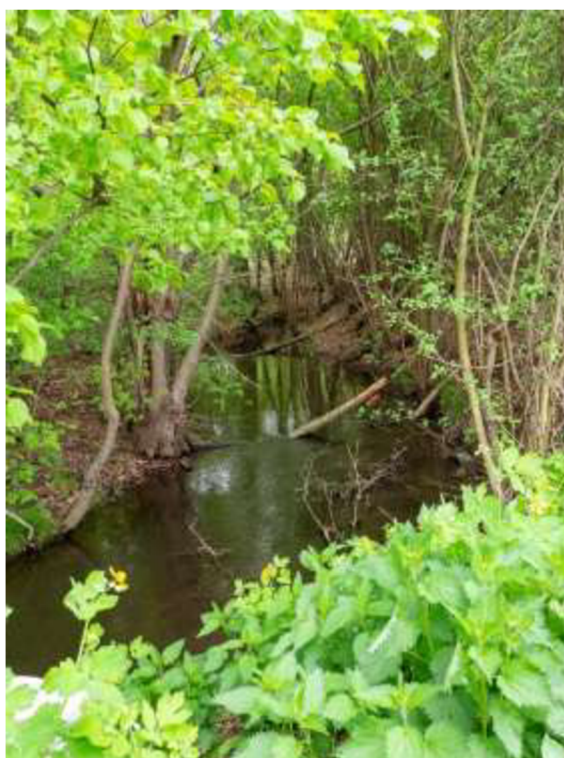


**Obr. 18 Opatovický kanál (Martin Kanta)**

Katastrální území obce má výměru 4.03 km<sup>2</sup>. Území je velmi rovinné, nadmořská výška území se pohybuje okolo 220 m n.m. Nejvyšším bodem je vyvýšenina nad východní částí obce, která má nadmořskou výšku 231.3 m n.m. Většina extravilánu obce jsou pole, nezanedbatelnou rozlohu zabírají lesy. Územím obce protéká mnoho potoků, nejvýznamnějším tokem je Opatovický kanál, který křížuje území od východu k západu, pak Živanický potok jenž je situován v jižní části k. ú., nebo potok Bukovka, který vytéká z rybníku Rozhrna v severní části katastrálního území [22].



**Obr. 19 Mimoúrovňové křížení Opatovického kanálu s potokem Bukovka  
(Martin Kanta)**



**Obr. 20 Živanický potok (Martin Kanta)**

Občanskou vybaveností obce je sportoviště Neratov, dětské hřiště, posilovna a knihovna. Všechny tyto prvky jsou situovány v centru obce. Dále je v obci možnost ubytování na Farmě Macas. Na východě území je restaurace u Čochtana s kempem.





Obr. 21 Dětské hřiště u obecního úřadu (Martin Kanta)



Obr. 22 Obec Neratov ze serveru [22]



**Obr. 23 Katastrální území obce Neratov [22]**

### **5.1.1 Půdní poměry**

Obec Neratov spadá do teplého mírně vlhkého klimatického regionu, který leží na východní části České křídové tabule, Hornomoravském úvalu, severní části Dolnomoravského úvalu a nejnižší polohy Boskovické brázdy. Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 8–9 °C, průměrný roční úhrn srážek je 550–650 mm/rok. V zájmovém území jsou převážně roviny nebo mírné sklony terénu, čemuž odpovídají i vyskytující se půdy. Půda v okolí Neratova je převážně regozem a fluvizem půdotvorným substrátem zeminy jsou šterky a písky. Půda je z větší části bezskelovitá a hluboká. Dle BPEJ se v místě čistírny vyskytuje zemina s označením 35600 s výměrou 155 m<sup>2</sup> a 32110 o výměře 5273 m<sup>2</sup>. Území obce je málo ohroženo erozí, dlouhodobá průměrná ztráta půdy G se pohybuje okolo 2 až 3. V severozápadní části obce pod rybníkem Rozhrna je pole, které na základě zběžného průzkumu území je velmi podmačené a vykazuje známky ztráty půdy [23].

### **5.1.2 Řešení odkanalizování území**

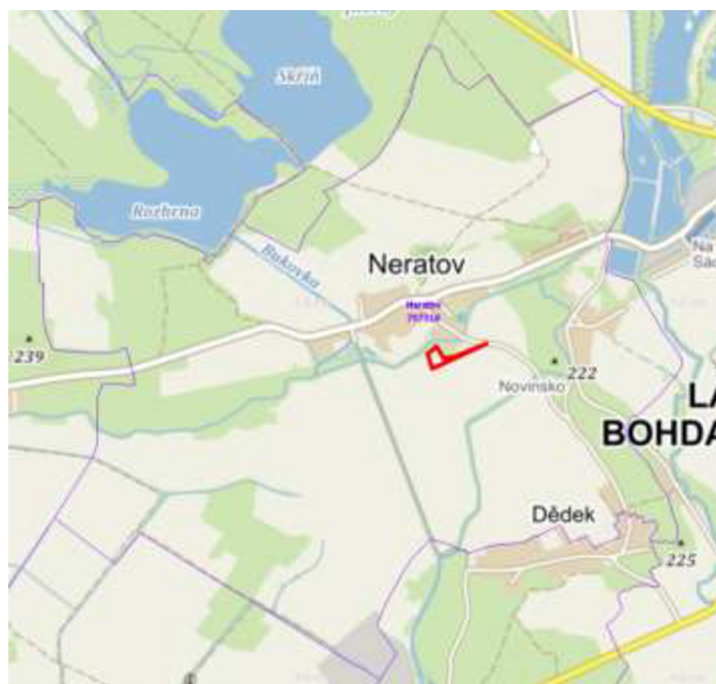
V obci se splašky v současné době svádí do domovních septiků, nebo jímek na vyvážení. Ve středu obce jsou splašky odváděny do dvou rybníčků, na pravém břehu Opatovického kanálu. V západní části obce je kanalizace zaústěna do Bukovského potoku. V obci je pouze dešťová kanalizace převážně o DN 300 a DN 400. Stávající kanalizace nesplňuje podmínky pro splaškovou kanalizaci [24]. Díky rovinnaté zástavbě a nevhodné morfologii území pro gravitační odvod odpadních vod bude v obci budována kanalizace splašková tlaková.

### 5.1.3 Umístění čistírny

Čistírna je umístěna pod hlavní částí obce na parcele č. 654 o výměře 5428 m<sup>2</sup>, číslo LV 10001, parcela je ve vlastnictví obce. Parcela je vzdálena od nejbližší zástavby 46 metrů. Parcela se vyskytuje na orné půdě, způsoby ochrany parcely: zemědělský půdní fond, ochr. pásmo přír. léčiv. zdroje nebo zdroje přír. miner.vody [22]. Uvažovaná parcela se nachází za hranicí intravilánu za Opatovickým kanálem, do kterého bude přečištěná voda vypouštěna. K parcele vede zpevněná cesta. Pozice parceli je výhodná z důvodů minimalizace délky tlakové kanalizace.



Obr. 24 Pole v místě čistírny (Martin Kanta)

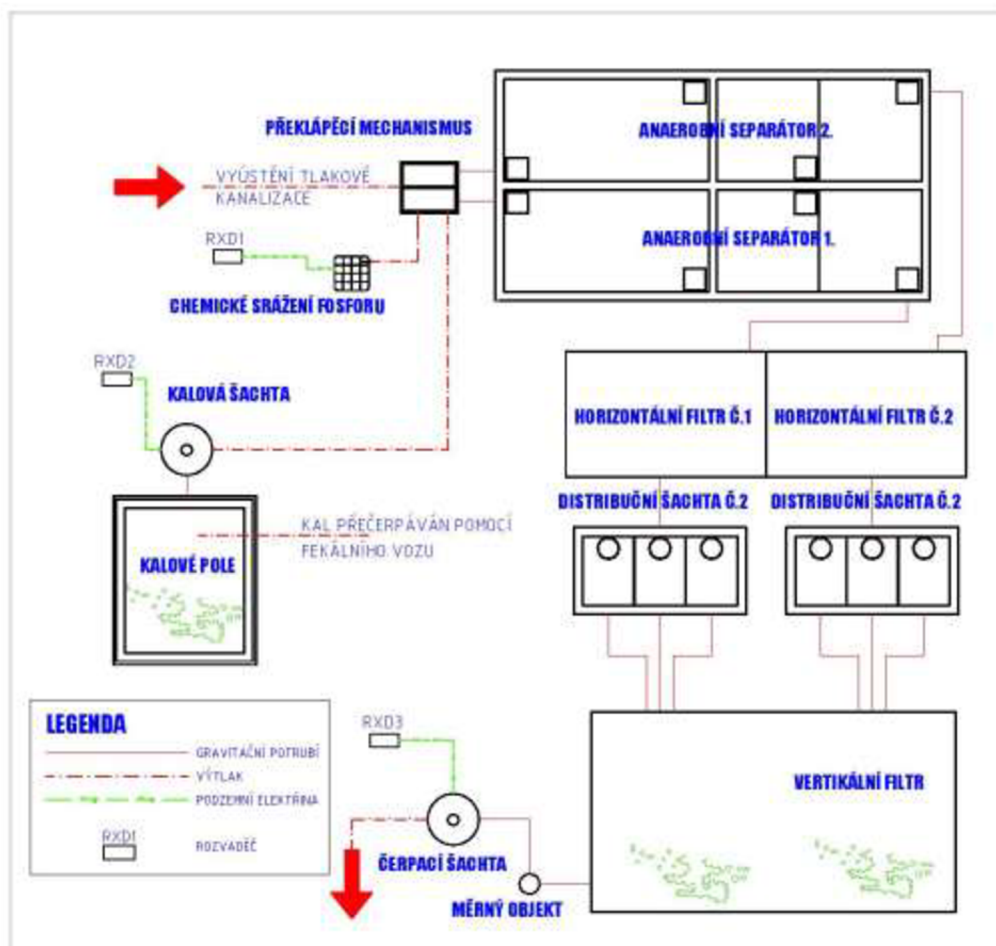


Obr. 25 Pozemek přírodní čistírny (ikatastr.cz)

## 5.1.4 Čištění odpadních vod

Pro obec Neratov a osadu Novinsko je zvolena přírodní čistírna odpadních vod. Což je pro tuto obec velmi vhodný typ čištění. Obec má v nadcházejících letech v plánu prodat pozemky pro rodinné domy, plánované rozšíření obce je až pro 165 občanů, v obci je 70 přechodně žijících obyvatel. Je tedy zapotřebí postavit čistírnu která bude v prvních letech provozu předdimenzovaná. Pokud by se jednalo o mechanicko-biologickou čistírnu mohly by se vyskytnout problémy v provozu kvůli rozkolísaným přítokům. Přírodní čistírna zvládá rozkolísanost bez problémů.

Na čistírnu je voda dopravována tlakovou kanalizací do takové výšky, aby voda mohla volně protékat čistírnou samospádem. Dimenze tlakové kanalizace vyústující na čistírně je DN 80. Mechanické předčištění v podobě česlí není třeba z důvodu toho, že domovní jímky mají v sobě zabudovanou drtičku. Prvním objektem na čistírně je anaerobní separátor, který zajišťuje předčištění odpadní vody. Odtud voda protéká horizontálním filtrem na distribuční šachty, odkud je voda rovnoměrně rozdělena na vertikální filtr. Již přečištěná odpadní voda protéká skrz měrný objekt na čerpací stanici a odtud do recipientu.



Obr. 26 Technologické schéma přírodní čistírny v Neratově



### 5.1.5 Kvalita vypouštěné vody

Čistírna je navržena tak aby splňovala standardy stanovené dle NV 401/2015 Sb. Účinnost jednotlivých stupňů na čistírně je stanovena dle normy ČSN 75 6402. Tyto účinnosti jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tab. 4 Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých stupňů čištění (ČSN 75 6402)**

Technologie čištění	Účinnost čištění v %				
	BSK <sub>5</sub>	CHSK	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>
Anaerobní separátor	50 až 75	40 až 80	70 až 90	5 až 25	10 až 45
Vegetační čistírna s horizontálním průtokem	40 až 95	50 až 90	65 až 95	5 až 60	5 až 25
Vertikální filtr s vegetací	75 až 98	70 až 97	85 až 99	50 <sup>2)</sup> až 99 <sup>1)</sup>	5 až 20
<sup>1)</sup> v letním období (tj. pro T > 12 °C) <sup>2)</sup> v zimním období (tj. pro T < 6 °C)					

**Tab. 5 Emisní standardy pro ČOV do 500 EO (ČSN 401/2015)**

	CHSK <sub>Cr</sub>	BSK <sub>5</sub>	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	mg·l <sup>-1</sup>					
p	150	40	50	-	-	-
m	220	80	80	-	-	-

p = přípustné hodnoty

m = maximální hodnoty

## 5.2 VÝPOČTY PRŮTOKŮ A DIMENZÍ ČISTÍRNY

Výpočtová část se zabývá výpočtem množství a koncentrací odpadní vody na přítoku na čistírnu, návrhem a výpočty jednotlivých stupňů čistírny. Výpočty vychází z normy ČSN 75 6402 a na základě konzultací s vedoucím práce Michalem Kříškou-Dunajským.

### 5.2.1 Ekvivalentní obyvatelstvo

Počet ekvivalentních obyvatel byl stanoven na 360 osob. Trvale žijících obyvatel je v obci 165, v osadě Novinsko je přechodně žijících obyvatel 80, specifická spotřeba vody v případě přechodně bydlicích obyvatel byla snížena na 30 % z celkových 96 l·os<sup>-1</sup>·den<sup>-1</sup>. Obec má vymezeny parcely pro novostavbu 55 rodinných domů. Počet osob na rodinný dům jsou v průměru 3 osoby.



**Tab. 6 Výpočet ekvivalentních obyvatel**

	<b>počet osob</b>	<b>q<sub>spec</sub></b> [l·os <sup>-1</sup> ·den <sup>-1</sup> ]	<b>Q<sub>d</sub></b> [m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> ]
Počet trvale žijících obyvatel	165	96	15.84
Počet přechodně žijících obyvatel	70	36	2.52
Plánovaná výstavba	165	96	15.84
		<b>Σ</b>	<b>34.2</b>

Počet ekvivalentních obyvatel	<b>356</b> os
Návrhový počet obyvatel pro čistírnu	<b>360</b> os

### 5.2.2 Množství přitékající odpadní vody

Specifické množství odpadní vody pro danou obec bylo zvoleno  $q_{spec} = 96 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ . Kanalizace je oddílná, tudíž se s dešťovou vodou nepočítá. Kanalizace v obci je navržena jako tlaková, je tedy uvažováno že bude dokonale utěsněna. Balastní vody jsou odhadovány na 0 %. Součinitel denní nerovnoměrnosti pro méně než 1000 obyvatel je dle ČSN 75 6401 roven hodnotě  $k_d = 1.5$

**Tab. 7 Součinitelé maximální hodinové nerovnoměrnosti  $k_h$  (ČSN 75 6402)**

Počet připojených obyvatel	30	40	50	75	100	300	400	500
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti $k_h$	7,2	6,9	6,7	6,3	5,9	4,4	3,5	2,6

#### Vstupní údaje:

Počet obyvatel	<b>EO = 360</b> os
Specifické množství odpadní vody	<b>q<sub>spec</sub> = 96</b> l·os <sup>-1</sup> ·den <sup>-1</sup>
Procento balastní vody	<b>Q<sub>b</sub> = 0</b> %
Součinitel denní nerovnoměrnosti - obyvatelstvo	<b>k<sub>d,m</sub> = 1.5</b>
Součinitel denní nerovnoměrnosti - průmysl	<b>k<sub>d,p</sub> = 1</b>
Součinitel max. hodinové nerovnoměrnosti - obyvatelstvo	<b>k<sub>h,max,m</sub> = 3.91</b>
Součinitel max. hodinové nerovnoměrnosti - průmysl	<b>k<sub>h,max,p</sub> = 1</b>
Součinitel min. hodinové nerovnoměrnosti	<b>k<sub>h,min</sub> = 0.5</b>

#### Výpočty přítoků:

$$Q_{24,m} = EO \cdot q_{spec}$$

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_b$$

$$Q_d = Q_{24,m} \cdot k_d + Q_b$$

$$Q_h = (Q_{24,m} \cdot k_d \cdot k_h + Q_b) / 24$$

Průměrný denní přítok odpadních vod – oby.	$Q_{24,m} = 0.40 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 1.44 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \quad 34.56 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$
Průměrný denní přítok odpadních vod - průmysl	$Q_{24p} = 0.00 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 0.00 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \quad 0.00 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$
Balastní vody	$Q_b = 0.00 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 0.00 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \quad 0.00 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$
Maximální hodinový přítok obyvatelstvo	$Q_{h,m} = 2.35 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 8.45 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
Maximální hodinový přítok průmysl	$Q_{h,p} = 0.00 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 0.00 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
Průměrný bezdeštný denní přítok	$Q_{24} = 0.40 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 1.44 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \quad 34.56 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$
Maximální bezdeštný denní přítok	$Q_d = 0.60 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 2.16 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1} \quad 51.84 \text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$
Maximální hodinový přítok	$Q_h = 2.35 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 8.45 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$
Minimální hodinový přítok	$Q_{h,min} = 0.20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1} \quad 0.72 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$

### 5.2.3 Množství přitékajících znečišťujících látek

Množství a koncentrace znečišťujících látek je stanovena pro 360 EO. V obci se nevyskytuje žádný průmysl, který by byl připojen na stokovou síť.

so – Množství znečišťujících látek na 1 EO

S<sub>dp</sub> – celkové množství znečišťujících látek

**Tab. 8 Množství znečišťujících látek od obyvatelstva**

	Látky			BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	Minerální	Organické	Celkem				
so [g·os <sup>-1</sup> ·den <sup>-1</sup> ]	15	40	55	60	120	11	2.5
S <sub>dpo</sub> [kg·den <sup>-1</sup> ]	5.4	14.4	19.8	21.6	43.2	3.96	0.9
S <sub>dpo</sub> [mg·den <sup>-1</sup> ]	5400000	14400000	19800000	21600000	43200000	3960000	900000

**Tab. 9 Množství znečišťujících látek - průmysl**

	Látky			BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	Minerální	Organické	Celkem				
S <sub>dpp</sub> [kg·den <sup>-1</sup> ]	0	0	0	0	0	0	0
S <sub>dpp</sub> [mg·den <sup>-1</sup> ]	0	0	0	0	0	0	0

**Tab. 10 Celkové průměrné znečištění**

	Látky			BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	Minerální	Organické	Celkem				
S <sub>dp</sub> [kg·den <sup>-1</sup> ]	5.4	14.4	19.8	21.6	43.2	3.96	0.9
S <sub>dp</sub> [mg·den <sup>-1</sup> ]	5400000	14400000	19800000	21600000	43200000	3960000	900000

**Tab. 11 Průměrná koncentrace znečištění**

	Látky			BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	Minerální	Organické	Celkem				
c <sub>o</sub> [mg.l <sup>-1</sup> ]	156	417	573	625	1250	115	26

**Tab. 12 Přepočet ekvivalentních obyvatel**

	Látky			BSK <sub>5</sub>	CHSK	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
	Minerální	Organické	Celkem				
EO [os]	360	360	360	360	360	360	360

### 5.2.4

### 5.2.4 Předpokládaná účinnost ČOV

První předpoklad účinnosti čištění čistírny se provádí pomocí tabulek. Volené hodnoty jsou většinou brány jako střední hodnoty účinnosti. Jelikož je v obci tlaková kanalizace splaškových vod, k výskytu amoniakálního dusíku dochází jen ve velmi malé míře. Bude se tedy uvažovat že  $N_{\text{celk}} = N\text{-NH}_4^+$ .

**Tab. 13 Předpokládaná účinnost čištění ČOV**

	jednotky	účinnost čištění %				
		BSK <sub>5</sub>	CHSK	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>
c <sub>0</sub> vstupní koncentrace	mg·l <sup>-1</sup>	625	1250	573	115	26
I. st. Anaerobní separátor	%	27.5	50	55	0.5	0.5
<b>c<sub>0</sub> po I. stupni</b>	<b>mg·l<sup>-1</sup></b>	<b>453</b>	<b>625</b>	<b>258</b>	<b>114</b>	<b>26</b>
II. st. Horizontální filtr	%	67.5	70	80	32.5	15
<b>c<sub>0</sub> po II. stupni</b>	<b>mg·l<sup>-1</sup></b>	<b>147</b>	<b>188</b>	<b>52</b>	<b>77</b>	<b>22</b>
III. st. Vertikální filtr	%	86.5	83.5	92	74.5	12.5
<b>c<sub>0</sub> po III. stupni</b>	<b>mg·l<sup>-1</sup></b>	<b>20</b>	<b>31</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>19</b>
celková účinnost	%	97	98	99	83	26

### 5.2.5 Anaerobní separátor

Objem anaerobního separátoru se počítá podle výpočtu septiku dle ČSN 75 6402. Vzorec pro výpočet je:  $V = a \cdot n \cdot q \cdot t$ . Hodnota objemu separátoru nesmí být menší jak 3 m<sup>3</sup>. Separátor je rozdělen na dvě totožné nádrže a každá z nich má tři komory.

Celkový účinný prostor septiku	<b>V<sub>as</sub></b>	187 m <sup>3</sup>
Součinitel vyjadřující kalový prostor	<b>a</b>	2
Počet obyvatel	<b>n</b>	360 os
Specifické množství odpadní vody	<b>q<sub>spec</sub></b>	96 l·os <sup>-1</sup> ·den <sup>-1</sup>
střední doba zdržení	<b>t</b>	4 dny
I. komora 50% objemu	<b>I.K</b>	93 m <sup>3</sup>
II. komora 25% objemu	<b>II.K</b>	47 m <sup>3</sup>
III. komora 25% objemu	<b>III.K</b>	47 m <sup>3</sup>

### 5.2.6 Horizontální filtr

Plocha horizontálního filtru se stanoví na základě hodnoty BSK<sub>5</sub>, je třeba znát vstupní a určit výstupní koncentraci BSK<sub>5</sub>. V úvodu výpočtu se tedy stanoví plocha filtru, která odpovídá  $A_{hf} = EO \cdot 1,4$ . Dále se přes řešitele určí výstupní koncentrace. Jelikož odpadní

voda, která přitéká na čistírnu není vypouštěna přímo na horizontální filtr, je místo maximálního denního přítoku, jako tomu je v normě, použit průměrný denní přítok  $Q_{24}$ .

$n$  pórovitost je bezrozměrná veličina často v rozsahu 0,4–0,45

$k_{bsk}$  rychlostní konstanta úbytku znečištění, doporučená hodnota  $0,1 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$

Vzorec pro výpočet:  $A_{hf} = Qd (\ln c_p - \ln c_o) / (k_{bsk} \cdot n \cdot h)$

Požadovaná plocha horizontálního filtru	$A_{hf} =$	504 $\text{m}^2$
Průměrný bezdeštný denní přítok	$Q_{24} =$	35 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
Předpokládaná koncentrace znečištění BSK <sub>5</sub> na přítoku	$c_p(\text{BSK}_5) =$	453 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Koncentrace znečištění BSK <sub>5</sub> na odtoku	$c_o(\text{BSK}_5) =$	129 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Koncentrace znečištění CHSK na odtoku	$c_o(\text{CHSK}) =$	259 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Rychlostní konstanta úbytku znečištění BSK <sub>5</sub>	$k_{bsk} =$	0,1 $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$
Pórovitost	$n =$	0,43
Hloubka filtru	$h =$	2 $\text{m}$
Minimální plocha horizontálního filtru	$A_{min} =$	360 $\text{m}^2$

### 5.2.7 Distribuční šachta

Distribuční šachta rozděluje odpadní vodu na vertikální filtr. Kvůli velké ploše vertikálního filtru je rozdělen na 6 polí. Proto jsou navrženy 2 distribuční šachty po 3 komorách. Pro návrh vertikálního filtru jsou dle ČSN 75 6402 dvě základní podmínky které je třeba zohlednit při návrhu distribučních šachet. Maximální denní přítok nesmí přesáhnout 0,15 m/den a dávkování odpadní vody musí mít minimální rozestupy od 3 do 6 hodin, což vychází na maximálně 4–8 dávek odpadní vody na den. Delší časové úseky vypouštění vertikálnímu filtru nevdají.

Maximální bezdeštný denní přítok	$Q_d =$	51,84 $\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$
Maximální denní vrstva vody na vertikální filtr	$h_{max} =$	0,087 $\text{m} \cdot \text{den}^{-1}$
Počet šachet	$m =$	2
Počet denních dávek	$n =$	6
Počet komor na jedné šachtě	$k =$	3
Požadovaný objem ovladatelného prostoru jedné komory	$V_k =$	1,44 $\text{m}^3$
Výška ovladatelného prostoru šachty	$h_{dš} =$	0,5 $\text{m}$
Šířka komory	$a =$	2 $\text{m}$
Délka jedné komory	$b =$	1,5 $\text{m}$
Objem jedné komory/dávky	$V_d =$	1,5 $\text{m}^3$
Výška minimální hladiny	$h_{min} =$	0,4 $\text{m}$
Výška zbylého prostoru šachty	$h_z =$	0,6 $\text{m}$
Celková výška šachty	$h_{š} =$	1,5 $\text{m}$

## 5.2.8 Vertikální filtr

Vertikální filtr se navrhuje na základě denního průměrného bezdeštného přítoku, vstupující koncentrace CHSK na vertikální filtr a schopnosti čištění CHSK vertikálním filtrem. Předpokládaná účinnost čištění CHSK je mezi 15–20  $\text{g}_{\text{CHSK}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$ .

Průměrný bezdeštný denní přítok	$Q_{24} = 34.56 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
Koncentrace znečištění CHSK na přítoku	$c_p(\text{CHSK}) = 258.57 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Celkové denní zatížení CHSK	$S_{dp}(\text{CHSK}) = 8936 \text{ g}_{\text{CHSK}} \cdot \text{den}^{-1}$
Schopnost čištění gramů CHSK na jeden metr čtvereční	$U_{\text{CHSK}} = 15 \text{ g}_{\text{CHSK}} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$
Požadovaná plocha vertikálního filtru	$A_{vf} = 596 \text{ m}^2$

## 5.2.9 Kalové pole

Kalové pole má mít dle ČSN 75 6402 plochu 2–3  $\text{EO}/\text{m}^2$  a hloubku 2–4 m. Vyšší hloubka zajistí delší dobu provozu.

Plocha kalového pole na jednoho EO	$A_{EO} = 0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{EO}^{-1}$
Počet ekvivalentních obyvatel	$EO = 360 \text{ os}$
Plocha kalového pole	$A_{kal} = 180 \text{ m}^2$
Hloubka kalového pole je variabilní přidáním pytlů s pískem	$h_{kal,max} = 1.5 \text{ m}$

## 5.3 POPIS OBJEKTŮ ČISTÍRNY

Přírodní čistírna je navržena tak, aby voda postupně protékala samospádem skrz jednotlivé objekty a minimalizovala se potřeba přečerpávání vody.

Půdy v zájmovém území jsou hluboké, hloubka sejmutí ornice se stanoví na základě geologického průzkumu v místě čistírny.

### 5.3.1 Anaerobní separátor

Principem anaerobního separátoru je zadržení co největšího množství nerozpuštěných látek, zachycených pomocí sedimentace. Jako anaerobní separátor je navržena soustava dvou paralelních nádrží. Každá z nádrží je rozdělena do tří hydraulicky oddělených prostor tak, aby bylo zajištěno co nejlepší předčištění odpadní vody. Nádrže jsou rozděleny v následujících poměrech 50 % z objemu pro první komoru a po 25 % pro následující dvě komory.

Dno výkupu pro nádrže je vyhloubeno s rezervou 250 mm na každou stranu betonového objektu. Podkladní beton je tloušťky 100 mm ležící na pevné zemině, na podkladním betonu je vybetonována deska z betonu C30/37 vyztužená kari sítí. Plocha dna je 13,25 x 7,25 m.

Objekt separátoru se skládá ze dvou totožných nádrží. Nádrže jsou vytvořeny z PP, skládají se ze 3 komor. Nádrže jsou umístěny na základové desce, obestavěné ztraceným bedněním, které je vyplněno betonem třídy C30/37. Betonové stěny mají tloušťky 250 mm a proti promrzání jsou chráněny násypy, příznané stěny mají tepelnou izolaci z extrudovaného polystyrenu (XPS) o tloušťce 150 mm. Případné mezery mezi PP nádržemi a nově vzniklými

stěnami jsou dosypány suchou betonovou směsí která postupem času vytvrdne. Strop nádrží je betonový vyztužený, chráněný vrstvou půdního substrátu o výšce 500 mm. Vršek separátoru je oset travní směsí a je pochozí.

Rozdělení mezi komorami anaerobního separátoru je řešeno pomocí překlápěcího zařízení. Každá z komor separátoru musí být opatřena revizní šachtou na odtoku o rozměrech 600x600 mm. Tyto šachty se využívají pro případnou kontrolu správné funkce komory, sledování množství kalu a odsávání kalu fekálním vozem na kalové pole. První komora, která zaujímá 50 % z celkového objemu nádrže, je opatřena dvěma šachtami. Jednou na přítoku a druhou na odtoku z komory. Komora je vybavena nornou stěnou na přítoku, zbylé dvě komory mají přítok řešen pomocí soustavy plastových potrubí. Poklopy na šachtách jsou plastové a uzamykatelné.



**Obr. 27 Překlápěcí zařízení (Michal Kriška-Dunajský)**

Spojovací potrubí, které prochází stěnou PP nádrže je provedeno z potrubí PP-HT DN110, délka potrubí je 480 mm nebo 215 mm. Vtok do potrubí a výtok z potrubí je opatřen T kusem, materiálu PP-HT DN110. Na vtoku je potrubí vyvedeno 115 mm nad úroveň stropu a spodní část vtokového T kusu je 500 mm pod hladinou. Výtokový T kus má horní hranu 115 mm nad úrovní hladiny a spodní hranu 400 mm ode dna PP nádrže. Osa spojovacího potrubí je 85 mm pod maximální hladinou vody. Odtok z nádrže umístěné blíže k horizontálnímu filtru je řešen přímým napojením odtokového potrubí, odtok ze vzdálenější nádrže je vyveden skrz boční stěnu do revizní šachty a odtud na horizontální filtr.

Velkoobjemové nádrže je třeba po vystavění rovnoměrně napouštět vodou do výšky odtokového potrubí a postupně obsypávat a hutnit zeminou. Je třeba postupovat rovnoměrně po hutnících výškách 300 mm. Potrubí, které prochází skrz násyp je třeba obsypat pískem.

Vršek separátoru je třeba zatravnit a opatřit bezpečnostním zábradlím výšky 1000 mm které lemuje nádrž v místech, kde není vytvořen násyp. Celková délka zábradlí je 20,9 m. Dalším objektem separátoru je schodiště vedoucí na vršek.

Anaerobní separátor má souvrství stropu navrženo pouze jako pochozí, nikoli pro těžkou techniku.



### 5.3.2 Horizontální filtr

Dalším objektem za anaerobním separátorem je horizontální filtr. Horizontální filtr je vytvořen jako sypaná zemní nádrž izolovaná od podložní nepropustnou hydroizolační fólií. Plocha horizontálního filtru je 515,25 m<sup>2</sup>. Filtr je rozdělen na dva vzájemně oddělené filtry HF1 a HF2, každý o ploše 257,63 m<sup>2</sup>. Rozměry jednoho filtru jsou 11,25 x 22,9 m.

Dno horizontálního filtru a vnitřní strana násypu jsou opatřeny PVC fólií o tloušťce 1,5 mm. PVC fólie je oboustranně krytá netkanou geotextilií o hustotě minimálně 500 g/m<sup>2</sup>. Pod PVC fólií je pískový podsyp o výšce zhruba 50 mm, který chrání těsnící skladbu. Skladba bude zatažena 500 mm do koruny hráze, aby nedocházelo k jejímu odchlípnutí. Vnější strana hráze a koruna je ohumusována a oseta travní směsí v tloušťce 100 mm. Hlavní filtrační vrstva má výšku 2000 mm a je tvořena z praného těžkého kameniva 8/16 mm. Vnější část hráze má sklon svahu 1:2, vnitřní strana je ve sklonu 2:1.

Odpadní voda je na filtr dopravována přiváděcím potrubím PVC SN4 DN 150. V horizontálním filtru je udržována stálá hladina nadržení přibližně 50 mm pod povrchem filtru. Voda postupně protéká filtrem, kde se zbavuje nečistot a na konci je zachycena drenážním perforovaným potrubím PVC-U DN 100 umístěným na hydroizolační skladbě. Odváděcí potrubí prostupující skrz PVC je opatřeno přírubou.

Oba horizontální filtry jsou umístěny v jedné zemní nádrži. Nádrž je rozdělena v prostředku PVC fólií o tloušťce 1,5 mm.

V jižní části hráze je skruž s odvodňovací šachtou. Šachta je opatřena novou skruží, která vyčnívá nad úroveň násypu.



**Obr. 28 Skruž v místě násypu horizontálního filtru (Martin Kanta)**



**Obr. 29 Horizontální filtr s dvěma průtoky (Michal Křiška-Dunajský)**

### **5.3.3 Distribuční šachty**

Distribuční šachta je speciální objekt, který rovnoměrně rozděljuje přitékající vodu mezi komorami a po naplnění komory automaticky odpadní vodu vypouští na vertikální filtr. Vertikální filtr má plochu 602 m<sup>2</sup>, je třeba uvažovat se 6 úseky distribučních potrubí, aby bylo možné vodu rovnoměrně rozdělit po celém filtru. Každá distribuční šachta má po 3 komorách.

Distribuční šachta je nádrž z PP, rozdělena na 3 komory příčnými dělícími stěnami. Vnitřní rozměr šachty jsou 4,03 m x 2 m, dílčí komory mají rozměry 2 m x 1,5 m. Základová deska je uložena na hutněném násypu mezi horizontálním a vertikálním filtrem, je vybetonována z betonu C30/35 vyztuženého kari sítí. Stěny nádrže z PP jsou obestaveny ztraceným bedněním s výztuží a zabetonovány betonem C30/35. Stěny nádrží je třeba vyztužit příčnými prvky, aby nedošlo k jejich prolomení (provedení PP nádrží zajistí dodavatel). Strop distribuční šachty je vyhotoven z železobetonu a doplněn o XPS izolaci. Šachta disponuje 3 revizními šachtami kruhového průřezu o průměru 600 mm. Revizní šachty jsou doplněny o plastový uzamykatelný poklop.

Voda z horizontálního filtru přitéká na odbočku T-kusu. Spodní hrdlo T-kusu je utěsněno a opatřeno třemi výtokovými otvory, horní hrdlo T-kusu disponuje krátkým neutěsněným potrubím délky 200 mm, které slouží jako zavzdušnění potrubí. Velikost distribučních otvorů je stanovena na základě výpočtů v dalším stupni projektové dokumentace. K odvedení vody do sousedních komor jsou využity rozdělovací žlaby tvaru U.

Pro dávkové vypouštění čištěné vody je použito zařízení CW-PULZ [25]. Vypouštěná voda je přiváděna rozvodným potrubím PP-HT DN 110 na vertikální filtr, kde zásobuje vodou distribuční potrubí. Šachty jsou po vrstvách obsypávány zeminou a hutněny. Násyp je ohumusován a oset travní směsí.

Šachty jsou po vrstvách obsypávány zeminou a hutněny.



### 5.3.4 Vertikální filtr s vegetací

Vertikální filtr je brán jako hlavní stupeň čištění. Vertikální filtr má plochu 602 m<sup>2</sup>, délka filtru je 21,5 m a šířka filtru 28 m. Vertikální filtr je rozdělen na 6 distribučních úseků. Maximální plocha pro jeden distribuční úsek je 150 m<sup>2</sup>.

Vertikální filtr je od okolní zeminy odizolován PVC fólií tloušťky 1.5 mm, fólie je oboustranně chráněna netkanou geotextilií o hustotě 500 g/m<sup>2</sup>. Podklad dna musí být zarovnan pískovým ložem o tloušťce vrstvy zhruba 50 mm. Na svazích musí být skladba geotextilií a PVC fólie zatažena 500 mm do násypu.

Filtrační náplň se skládá z následujících materiálů a tlouštěk. Na hydroizolaci leží filtrační náplň tvořena práným těžkým štěrkem 4/8 mm o výšce 200 mm. V této vrstvě leží drenážní potrubí PVC-U DN 100 pro odtok vyčištěné vody. Hlavní filtrační vrstva má tloušťku 600 mm a frakci 0/4P, frakce je tvořena práným pískem. Vrchní vrstva má výšku 100 mm a je tvořena práným pohledovým kačirkem frakce 8/16 mm. Výška celého souvrství je 0,9 m.

Vertikální filtr je skrápěn odpadní vodou systémem rozvodného potrubí PP-HT DN 110 a distribučního potrubí PP-HT DN 50, toto potrubí disponuje otvory velikosti 5 mm, vzdálené jsou od sebe 1 m. Na vertikální filtr je voda dávkována v několika dávkách za den tak, aby se filtrační vrstva udržovala vlhká, ale aby nebyla zatopená. Zachycená voda drenážním potrubím je odváděna přes měrný objekt do čerpací šachty. Rozvodné potrubí je po 2 m podepřeno sloupky, distribuční potrubí je uloženo na příčných betonových sloupcích.

Povrch vertikálního filtru je osázen mokřadní vegetací blízkou pro Českou republiku. Navrženou rostlinou je rákos obecný. Hustota osázení vegetace je 4 ks rostlin na m<sup>2</sup>. Hlavní funkcí rostlin na vertikálním filtru je ochrana rozvodného potrubí před slunečním zářením a klimatickými podmínkami. Potrubí bez ochrany mnohem rychleji degraduje. Další funkcí rostlin je vnos kyslíku do filtračních vrstev a akumulace přítokového množství živin (N, P) do nadzemní části. Kořenový systém zajistí vhodnější hydraulické podmínky pro distribuci vody ve filtračním materiálu.



**Obr. 30 Rozvody potrubí na vertikálním filtru (Michal Kriška-Dunajský)**

### **5.3.5 Měrný objekt**

Měrným objektem je betonová šachta o DN 1000 vybavena magneticko-indukčním průtokoměrem OPTIFLUX 2050.



**Obr. 31 magneticko-indukční průtokoměr OPTIFLUX 2050 (cz.krohne.com)**

### **5.3.6 Čerpací stanice**

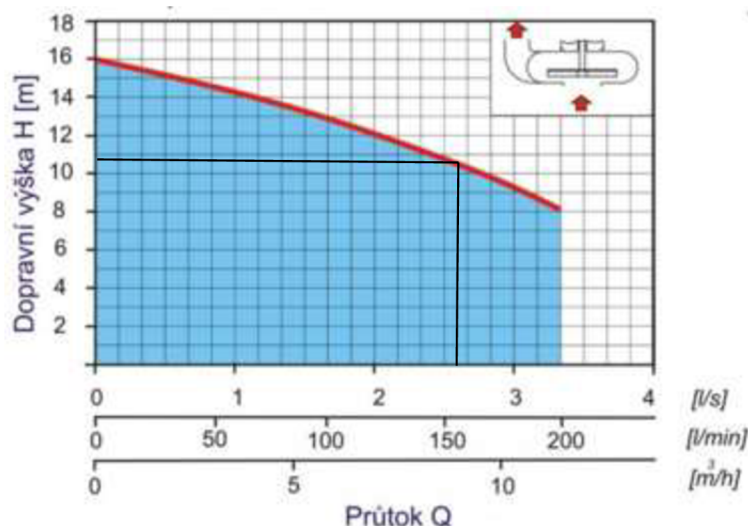
Čerpací stanice je navržena pro přečerpání vyčištěné odpadní vody do recipientu. Vyčištěná voda přitékající od filtrů natéká do čerpací šachty, kterou je plastová jímka a

pomocí čerpadla je voda čerpána do potoka. Součástí stanice jsou 2 čerpadla, jedno provozní a druhé záložní, dále pak zpětná klapka, kulový uzávěr a výpustní tlakové potrubí. Čerpadla se v provozu střídají.

Voda je přečerpávána do Živanického potoka vzdáleného 500 m od čerpací stanice, potrubí je zvoleno PE100 s vnitřním průměrem DN 63. Návrhový průtok je 2,65 l/s.

Návrhový průtok	<b>Q</b>	2.65 l·s <sup>-1</sup>
Dopravovaná délka	<b>L<sub>e</sub></b>	500 m
Ztráty potrubí po délce v přímém úseku pro DN 63	<b>J</b>	1.4546 %
Ztrátová výška přímých úseků	<b>h<sub>z</sub></b>	7.273 m
Převýšení	<b>h<sub>p</sub></b>	3 m
Další ztráty na síti (čerpadlo, odbočky...)	<b>h<sub>d</sub></b>	1.5 m
Celková výtlačná výška čerpadla	<b>h</b>	11.773 m
rychlost v potrubí	<b>v<sub>p</sub></b>	0.95 l·s <sup>-1</sup>

Navržená ponorná kalová čerpadla jsou zvolena UNIQUA CESSPIT T 20 S, 400 V.

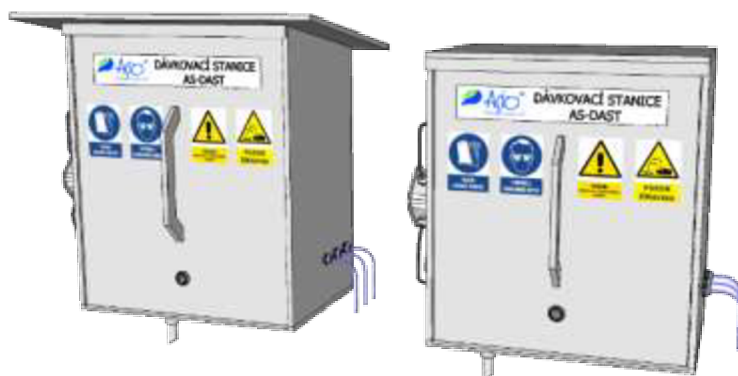


**Obr. 32 Křivka kalového čerpadla UNIQUA ([www.e-čerpadla.cz](http://www.e-čerpadla.cz))**

Čerpací šachta je pastová od společnosti asio s označením AS-PUMP 2710/3000 s celkovým retenčním ovladatelným prostorem 8.89 m<sup>3</sup>. [26] Retenční prostor šachty se při Q<sub>24</sub> zaplní za 6 hodin. Kalové čerpadlo vyčerpá vodu do potoka během necelé hodiny. Čerpadla jsou spínána na základě plovákového spínače střídavě.

### 5.3.7 Srážení fosforu

Technologie na rážení fosforu se skládá ze zásobníku na srážedlo PAX (polyaluminumchlorid), jenž je tvořeno akumulací nádrží typu IBC o objemu 1 m<sup>3</sup>. Dávkování bude probíhat pomocí malého čerpadla a výkonu 30 W, umístěného na nerezové konstrukci v uzamykatelném boxu nad akumulací nádrží. Reakční doba srážedla je volena tak, aby došlo ke srážení již v první komoře anaerobního separátoru. Intenzita dávkování bude nastavena na základě zkušebního provozu čistírny.



Obr. 33 Dávkovací stanice AS-DAST (asio.cz)

### 5.3.8 Kalové hospodářství

Kalové hospodářství je tvořeno jedním kalovým polem fungujícím na principu reed-bed kalového pole o výměře 184 m<sup>2</sup>. Kal na kalové pole bude přečerpáván fekálním vozem z anaerobního separátoru 2–4 x ročně. Dno kalového pole je opatřeno nepropustnou PVC fólií tloušťky 1.5 mm krytou z obou stran netkanou geotextílií o hustotě alespoň 500 g/m<sup>2</sup>. Na fólii je drenážní vrstva, která odvádí odseparovanou vodu z vypuštěného kalu do šachty Š1, z níž je voda přečerpána zpět na anaerobní separátor. Obvodové stěny kalového pole jsou tvořeny pytli s pískem, které jsou na sebe rovnány. Kalové pole je osázeno mokřadními rostlinami o hustotě sadby 4 ks/m<sup>2</sup>. Jako sadební rostlina je použit rákos obecný. Předpokládaný provoz kalového pole je 10 let.

### 5.3.9 Další vybavení čistírny

Obslužná komunikace je tvořena zhutněným šterkem o tloušťce 250 mm. Komunikace slouží k obsluze objektů čistírny. Celková plocha komunikace v prostoru čistírny je 790 m<sup>2</sup>. Čistírna je po obvodu oplocena, celková délka plotu je 275 m.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo napočítání objektů a vytvoření zjednodušené výkresové dokumentace pro přírodní čistírnu odpadních vod v Neratově. Práce vychází z podkladů, resp. požadavku investora, geografických možností, typologie obce, předpokládaného rozvoje obce apod., přičemž stěžejním cílem je návrh čistírny, vyžadující pro svůj provoz minimum elektrické energie, minimální náročnost na provoz a dosahující na odtoku kvality vody, srovnatelné a dosažitelné s nejlepší dostupnou technikou.

Specifikum návrhu ČOV pro obec Neratov je připojení na tlakovou kanalizaci – tudíž očekávání vysokých koncentrací znečištění bez balastních vod. Prítok odpadní vody je řešen přímo do rozdělovací šachty, coby součásti anaerobního separátoru. V rámci rozdělovací šachty se znečištěná odpadní voda mísí se srážedlem fosforu PAX, z rozdělovací šachty voda natéká na anaerobní separátor, který je rozdělen na tři komory. Po předčištění vody v separátoru odpadní voda natéká distribučním potrubím na horizontální filtr, který je také rozdělen na 2 toky. Skrz horizontální filtr voda postupně protéká a je zachycována drenáží. Drenážním potrubím je voda odváděna na dvě distribuční šachty. V každé z šachet se nachází tři komory. Z komor se voda vypouští nárazově prostřednictvím pulzních vypouštěčů na vertikální filtr, kde dochází k intenzivní aeraci průsakem vlhkým filtračním prostředím. Vsakovaná voda odtéká drenážním potrubím přes měrný objekt na čerpací stanici. Odtud se voda pomocí čerpadel čerpá do Živanického potoka. Kalové hospodářství se řeší v rámci kalového reed-bed pole. Kal z anaerobního separátoru je několikrát ročně přečerpáván fekálním vozem na kalové pole. Výsledná účinnost odstraňování znečišťujících látek v případě této sestavy je uvedena v následující tabulce.

**Tab. 14 Účinnost odstraňování znečišťujících látek**

	jednotky	účinnost čištění %				
		BSK <sub>5</sub>	CHSK	NL	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P <sub>celk</sub>
c <sub>o</sub> vstupní koncentrace	mg·l <sup>-1</sup>	625	1250	573	115	26
c <sub>o</sub> po vertikálním filtru	mg·l <sup>-1</sup>	20	31	4	20	19
celková účinnost	%	<b>97</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>83</b>	<b>26</b>

Hlavní problém, který se při zpracování technické dokumentace řešil, bylo uspořádání objektů v rámci relativně malého obecního pozemku. Horizontální i vertikální filtr jsou poměrně plošně náročné objekty, které není z hydraulických důvodů možné zmenšit. Podstatnou roli v půdorysném uspořádání tvoří také zemní těleso, násypy, obvodové hrázky a sklon terénu takový, aby byla umožněna pravidelná údržba. Další faktor, který se musel detailně vyřešit, byl návrh uspořádání a systém rozdělení odpadní vody mezi komory distribuční šachty. Z důvodu dispozičního uspořádání a nedostatku prostoru byly zvolené distribuční šachty obdélníkového tvaru.

Přírodní čistírna odpadních vod je přírodě blízký systém čištění, který dokáže být provozně nenáročný a při správném návrhu i velmi účinný. Bohužel je v české republice málo odborníků, kteří se věnují a prosazují tento systém čištění. Téma kořenových čistíren je velmi obsáhlé a zajímavé, kontroverzní a často otázkou sporů, konfliktů a roztržek. V minulosti

kořenové čistírny vykazovaly a v podstatě ještě dnes vykazují často nízké účinnosti ve srovnání s mechanicko-biologickými čistírnami odpadních vod. Čistírna odpadních vod pro obec Neratov bude při správném provozování vykazovat účinnosti vyšší, než vyžaduje dnešní nařízení vlády pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových. Návrh vychází z výzkumných zkušeností VUT v Brně a z provozních zkušeností firmy Conwe s.r.o., spin-off VUT v Brně.

## 7 BIBLIOGRAFIE

- [1] ČSÚ: Český statistický úřad [online]. [cit. 2021-05-25]. Dostupné z: [www.czso.cz/](http://www.czso.cz/)
- [2] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod* [online]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003 [cit. 2021-02-10]. ISBN 80-214-2535-0.
- [3] KATAKI, Sampriti, Soumya CHATTERJEE, Mohan VAIRALE, Sanjai DWIVEDI a Dharmendra GUPTA. Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate). *Journal of Environmental Management* [online]. 2021, **283** [cit. 2021-03-07]. ISSN 03014797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2021.111986
- [4] JÁGLOVÁ, Veronika a Martin ŠNAJDR. *Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel* [online]. In: . s. 16-52 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/e26dd68a7c931e61c1256fbe0033a4ee/0989b086a5d140a7c1257589003ace96?OpenDocument>
- [5] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. *Kořenové čistírny odpadních vod: Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz* [online]. In: . s. 7-45 [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: [http://uvhk.fce.vutbr.cz/sites/default/files/kzp/pdf/korenove\\_cistirny\\_odpadnich\\_vod.pdf](http://uvhk.fce.vutbr.cz/sites/default/files/kzp/pdf/korenove_cistirny_odpadnich_vod.pdf)
- [6] *Nariadení vlády č. 401/2015 Sb.: Nariadení 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*. In: . ročník 2015, č. 401/2015.
- [7] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 1 STOKOVÁNÍ*. Brno, 2006. Skripta. VUT Fast.
- [8] PARDE, Divyesh, Aakash PATWA, Amol SHUKLA, Ritesh VIJAY, Deepak KILLEDAR a Rakesh KUMAR. A review of constructed wetland on type, treatment and technology of wastewater. *Environmental Technology & Innovation* [online]. 2021, **21** [cit. 2021-03-07]. ISSN 23521864. Dostupné z: doi:10.1016/j.eti.2020.101261
- [9] VYMAZAL, Jan. *Kořenové čistírny odpadních vod: Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji* [online]. In: . Plzeň, 2016, s. 1-65 [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/19042760-Korenove-cistirny-odpadnich-vod.html>
- [10] ZHANG, Hong, Wenzhong TANG, Weidong WANG et al. A review on China's constructed wetlands in recent three decades: Application and practice. *Journal of Environmental Sciences* [online]. 2021, **104**, 53-68 [cit. 2021-02-21]. ISSN 10010742. Dostupné z: doi:10.1016/j.jes.2020.11.032
- [11] KŘIŠKA, Michal. Drazovice Arnika. In: *Youtube* [online]. [cit. 2021-05-23]. Dostupné z:



<https://www.youtube.com/watch?v=hynrhdOoMJc>

- [12] ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [13] BODIK, Igor, Michal KRIŠKA, Daniel GEMERAN, Luboš JURÍK, Tomáš MACKULAK, Juraj ZAMKOVSKÝ a Ján ŽEMBER. *Analýza podmienok správneho návrhu a aplikácie extenzívnych systémov čistenia odpadových vôd vo vybraných obciach okresu Rimavská Sobota*. CEROGEMA, 2017.
- [14] Kořenové čistírny: stručný průvodce technologií. [Http://grania.cz/](http://grania.cz/) [online]. [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: <http://grania.cz/korenove-cistirny-pruvodce-technologie/>
- [15] KRIŠKA, Michal. *Konzultace k bakalářské práci*. Brno, 2021.
- [16] JÓZWIAKOWSKI, Krzysztof, Piotr BUGAJSKI, Zbigniew MUCHA et al. Reliability and efficiency of pollution removal during long-term operation of a one-stage constructed wetland system with horizontal flow. *Separation and Purification Technology* [online]. 2017, **187**, 60-66 [cit. 2021-03-07]. ISSN 13835866. Dostupné z: doi:10.1016/j.seppur.2017.06.043
- [17] VYMAZAL, Jan. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering* [online]. 2005, **25**(5), 478-490 [cit. 2021-03-07]. ISSN 09258574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2005.07.010
- [18] VYMAZAL, Jan. Long-term performance of constructed wetlands with horizontal sub-surface flow: Ten case studies from the Czech Republic. *Ecological Engineering* [online]. 2011, **37**(1), 54-63 [cit. 2021-03-07]. ISSN 09258574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2009.11.028
- [19] VYMAZAL, J. Constructed Wetlands, Subsurface Flow. *Encyclopedia of Ecology* [online]. Elsevier, 2008, s. 748-764 [cit. 2021-03-12]. ISBN 9780080454054. Dostupné z: doi:10.1016/B978-008045405-4.00080-X
- [20] KOŁECKA, Katarzyna, Hanna OBARSKA-PEMPKOWIAK a Magdalena GAJEWSKA. Polish experience in operation of sludge treatment reed beds. *Ecological Engineering* [online]. 2018, **120**, 405-410 [cit. 2021-04-05]. ISSN 09258574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2018.06.022
- [21] Obec Neratov. *[neratov-novinsku]* [online]. ANTEE s.r.o., 2021 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.neratov-novinsko.cz/>
- [22] ČÚZK: *Geoportál* [online]. Praha [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz/>
- [23] *Výzkumný ústav meliorací a půdy: vumop* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <https://mapy.vumop.cz/>
- [24] KOUTOVÁ, Alena. *ÚZEMNÍ PLÁN NERATOV*. Hradec Králové: SURPMO, a. s., 2010.



- [25] *Conwe s.r.o.* [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <http://conwe.cz/>
- [26] *Asio: Čištění a úprava vody* [online]. [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-pump-obce>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČOV	Čistírna odpadních vod
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amoniakální dusík
CHSK, CHSK <sub>Cr</sub>	Chemická spotřeba kyslíku
BSK <sub>5</sub>	Biochemická spotřeba kyslíku
N <sub>celk</sub>	Celkový dusík
P <sub>celk</sub>	Celkový fosfor
NL	Nerozpuštěné látky
NH <sub>3</sub>	Amoniak
EO	Ekvivalentní obyvatel
BPEJ	Bonitonovaná půdně ekologická jednotka
DN	Vnitřní průměr potrubí
HF	Horizontální filtr

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Znečištěná voda vypouštěná do potoka ([www.inodpady.cz](http://www.inodpady.cz))
- Obr. 2 Jednotná stoková síť [7]
- Obr. 3 Oddílná stoková síť [7]
- Obr. 4 Modifikovaná stoková soustava [7]
- Obr. 5 Čerpací jímka tlakové kanalizace ([www.cerpacijimky.cz](http://www.cerpacijimky.cz))
- Obr. 6 Podtlaková kanalizace ([www.miper.gr](http://www.miper.gr))
- Obr. 7 Ručně stírané česle ([www.asio.cz](http://www.asio.cz))
- Obr. 8 Aktivační proces malých čistíren ([www.asio.cz](http://www.asio.cz))
- Obr. 9 Biofilmový reaktor skrápěný [7]
- Obr. 10 Ručně stírané česle (Jan Vymazal)
- Obr. 11 Odlehčovací komora (Jan Vymazal)
- Obr. 12 Lapák písku (Jan Vymazal)
- Obr. 13 Štěrbínová usazovací nádrž [5]
- Obr. 14 Čistírna s volnou vodní hladinou (foto Jan Vymazal)
- Obr. 15 Hlavní stupeň s horizontálním průtokem ([www.sswm.info](http://www.sswm.info))
- Obr. 16 Hlavní stupeň s vertikálním průtokem ([www.wetwinesoftware.eu](http://www.wetwinesoftware.eu))
- Obr. 17 Kalové pole Reed-bed (Michal Křiška Dunajský)
- Obr. 18 Opatovický kanál (Martin Kanta)
- Obr. 19 Mimoúrovňové křížení Opatovického kanálu s potokem Bukovka (Martin Kanta)
- Obr. 20 Živanický potok (Martin Kanta)
- Obr. 21 Dětské hřiště u obecního úřadu (Martin Kanta)
- Obr. 22 Obec Neratov ze serveru [22]
- Obr. 23 Katastrální území obce Neratov [22]
- Obr. 24 Pole v místě čistírny (Martin Kanta)
- Obr. 25 Pozemek přírodní čistírny ([ikatastr.cz](http://ikatastr.cz))
- Obr. 26 Technologické schéma přírodní čistírny v Neratově
- Obr. 27 Překlápěcí zařízení (Michal Křiška-Dunajský)
- Obr. 28 Skruž v místě násypu horizontálního filtru (Martin Kanta)
- Obr. 29 Horizontální filtr s dvěma průtoky (Michal Křiška-Dunajský)
- Obr. 30 Rozvody potrubí na vertikálním filtru (Michal Křiška-Dunajský)

Obr. 31 magneticko-indukční průtokoměr OPTIFLUX 2050 ([cz.krohne.com](http://cz.krohne.com))

Obr. 32 Křivka kalového čerpadla UNIQUA ([www.e-cerpadla.cz](http://www.e-cerpadla.cz))

Obr. 33 Dávkovací stanice AS-DAST ([asio.cz](http://asio.cz))

## SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 – Tabulka emisních standardů přípustného znečištění. [6]
- Tab. 2 – Nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování odpadních vod [6]
- Tab. 3 Hodnoty teoretické doby zdržení a hydraulického zatížení [12]
- Tab. 4 Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých stupňů čištění (ČSN 75 6402)
- Tab. 5 Emisní standardy pro ČOV do 500 EO (ČSN 401/2015)
- Tab. 6 Výpočet ekvivalentních obyvatel
- Tab. 7 Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti  $k_h$  (ČSN 75 6402)
- Tab. 8 Množství znečišťujících látek od obyvatelstva
- Tab. 9 Množství znečišťujících látek - průmysl
- Tab. 10 Celkové průměrné znečištění
- Tab. 11 Průměrná koncentrace znečištění
- Tab. 12 Přepočet ekvivalentních obyvatel
- Tab. 13 Předpokládaná účinnost čištění ČOV
- Tab. 14 Účinnost odstraňování znečišťujících látek

## SEZNAM PŘÍLOH

1. KOORDINAČNÍ SITUACE ČOV	M 1:250
2. PŮDORYS ANAEROBNÍHO SEPARÁTORU	M 1:50
3. PŮDORYS HORIZONTÁLNÍHO FILTRU	M 1:200
4. PŮDORYS DISTRIBUČNÍ ŠACHTY	M 1:25
5. PŮDORYS VERIKÁLNÍHO FILTRU	M 1:200
6. PŮDORYS KALOVÉHO POLE	M 1:100
7. ŘEZY ANAEROBNÍM SEPARÁTOREM	M 1:50
8. ŘEZ A-A' HORIZONTÁLNÍM FILTREM	M 1:100
9. ŘEZ A-A' DISTRIBUČNÍ ŠACHTY	M 1:25
10. ŘEZ A-A' VERTIKÁLNÍM FILTREM	M 1:100
11. KALOVÉ POLE VZOROVÝ ŘEZ	M 1:50