



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

PROJEKT PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD PRO OBEC OPONEŠICE

PROJECT OF A NATURAL WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR THE MUNICIPALITY OF
OPONEŠICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Václav Kraváček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství krajiny
Student: **Bc. Václav Kraváček**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23
Studijní program: N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Oponešice

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Teoretická rešerše:

- 1) Úvod a cíle práce
- 2) Údaje o obci
- 3) Technologie přírodních čistíren – obecná rešerše
- 4) Technologické prvky přírodní čistírny
- 5) Závěr
- 6) Seznamy příloh, použitých zdrojů, obrázků

Praktická část – projekt

- A. PRŮVODNÍ ZPRÁVA
- B. SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA
- C. SITUAČNÍ VÝKRESY
- D. Dokumentace objektů a technických a technologických zařízení

Cíle a výstupy diplomové práce:

Náplní práce bude vytvoření projektové dokumentace čistírny odpadních vod pro malou obec Oponešice. Navržená technologie bude koncipována jako extenzivní, tzn., pro čištění odpadních vod nebude využívána elektrická energie. Důraz celého řešení je kladen na ekologičnost v kombinaci s nízkými provozními náklady, dlouhodobou udržitelností a minimální náročností na obsluhu za dodržení co možná nejvyšší možné kvality vyčištěné odpadní vody. Projektová dokumentace bude sloužit jako vstupní podklad pro územní řízení i stavební povolení.

Seznam doporučené literatury a podklady:

- ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel, 2017. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

- Plán rozvoje vodovodů a kanalizací obce

- Územní plán obce

- DWA, 2017. Grundsätze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kläranlagen mit bepflanzten und unbepflanzten Filtern zur Reinigung häuslichen und kommunalen Abwassers: Arbeitsblatt DWA-A 262.

Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. DWA-Regelwerk, A 262. ISBN 38-872-1547-8.

- ÖNORM B 2505- Kläranlagen – Intermittierend beschickte Bodenfilter („Pflanzenkläranlagen“)

- Dotro, Gabriela & Langergraber, Günter & Molle, Pascal & Nivala, Jaime & Puigagut, Jaume & Stein, Otto. (2017). Biological Wastewater Treatment Series, Volume 7: Treatment Wetlands.

- Vyhláška č. 499/2006 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb

+ databáze vědeckých článků na www.sciencedirect.cz

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2022

L. S.

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

doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem přírodní čistírny odpadních vod pro obec Oponešice. Úvod práce se zaměřuje na obecnou rešerši představující problematiku přírodních čistíren odpadních vod (PČOV). Vyjma krátkého představení přírodních čistíren, jsou v úvodní části uvedeny související legislativní předpisy. Následně se práce věnuje představení jednotlivých sledovaných ukazatelů znečištění odpadních vod a popisu jednotlivých technologických prvků na kořenových čistírnách. Druhou a hlavní částí práce je kompletní návrh PČOV pro obec Oponešice. Nejprve je pozornost věnována sběru informací o dané lokalitě. Dále následuje samotný návrh technického řešení čistírny, u kterého bylo dbáno na splnění veškerých požadavků kladených na vyčištěnou odpadní vodu, se snahou o navržení co nejlepší dostupné technologie pro obec Oponešice. V rámci jednotlivých objektů jsou vždy uvedeny vstupní parametry a následné výpočty doprovázené popisem jednotlivých detailů. Jako hlavní stupeň čištění je navržen dvoustupňový vertikální systém tzv. Rakouského typu, doplněný o předčištění za pomoci anaerobního separátoru. Na konci práce je popsáno vyhodnocení celkové účinnosti navržené technologie a provedena konfrontace s platnou legislativou. V neposlední řadě patří mezi důležitou část práce vyhotovení kompletní projektové dokumentace (výkresové i textové části), jež má sloužit jako vstupní podklad pro vydání územního řízení a stavebního povolení.

KLÍČOVÁ SLOVA

přírodní čistírna, kořenová čistírna, vertikální filtr s vegetací, odpadní voda, nakládání s odpadními vodami, nejlepší dostupná technologie

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of a natural wastewater treatment plant for the municipality of Oponešice. The introduction of the thesis focuses on general research presenting the issue of natural wastewater treatment plants (WTP). Except for a short introduction of natural treatment plants, the related legislative regulations are presented in the introductory part, the work is devoted in more detail to the presentation of individual monitored indicators of wastewater pollution and a description of individual technological elements at root treatment plants. The second and main part of the work is the complete design of the wastewater treatment plant for the village of Oponešice. First, attention is paid to collecting information about the given locality. Next follows the design of the technical solution of the treatment plant itself, in which care was taken to meet all the requirements placed on treated wastewater, with an effort to design the best available technology for the municipality of Oponešice. Within individual objects, input parameters and subsequent calculations are always given, accompanied by a description of individual details. As the main stage of cleaning, a two-stage vertical system of the so-called Austrian type, supplemented by pre-cleaning with the help of an anaerobic separator, is proposed. At the end of the work, an evaluation of the overall efficiency of the proposed technology is described and a confrontation with the applicable legislation is carried out. Last but not least, an important part of the work includes the preparation of complete project documentation (drawings and textual parts), which is to serve as input material for the issuance of zoning regulations and building permits.

KEYWORDS

natural treatment plant, root treatment plant, vertical filter with vegetation, wastewater, wastewater management, best available technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRAVÁČEK, Václav. *Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Oponešice*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí doc. Ing. Michal Kriška-Dunajský, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Oponešice je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. Václav Kraváček

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Projekt přírodní čistírny odpadních vod pro obec Oponešice* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 13. 1. 2023

Bc. Václav Kraváček

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Michalu Kriškovi, Ph.D. za odborné rady a ochotu. Rovněž bych rád poděkoval celé rodině za podporu a trpělivost při psaní této práce.

OBSAH

1	ÚVOD	11
1.1	Cíle	13
2	PŘÍRODNÍ ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD	14
2.1	Typy přírodních způsobů čištění	15
2.2	Výhody a nevýhody PČOV.....	15
2.3	Druhy a charakteristika odpadních vod	16
2.3.1	Jednotlivé typy odpadních vod	17
2.3.2	Sledované ukazatele znečištění odpadních vod	18
2.4	Požadavky na kvalitu vypouštěných odpadních vod a platná legislativa.....	23
2.5	Význam vegetace na PČOV	24
2.6	Technologie přírodních čistíren	27
2.6.1	Objekty před mechanickým předčištěním.....	27
2.6.2	Mechanické předčištění	30
2.6.3	Biologické čištění	37
3	PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD PRO OBEC OPONEŠICE	47
3.1	Základní informace o obci Oponěšice	47
3.2	Návrh přírodní čistírny odpadních vod pro obec oponěšice	55
3.2.1	Stanovení průtoků a koncentrací znečištění na PČOV	58
3.2.2	Popis navržených objektů na PČOV Oponěšice	63
3.2.3	Celkové účinnosti a posouzení limitů jednotlivých ukazatelů.....	80
4	ZÁVĚR	82
5	SEZNAM PŘÍLOH	84
6	POUŽITÁ LITERATURA	86

7	SEZNAM OBRÁZKŮ	90
8	SEZNAM TABULEK.....	92
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	94

1 ÚVOD

Voda je základní složkou života na Zemi a zároveň je jedním z nejdominantnějších přírodních živlů. Jsme jí obklopeni téměř ze všech stran. V přírodě ji můžeme spatřit v podobě malých potůčků, velkých říčních toků či krásných třpytících se jezer. V dnešní době téměř v každém koutu civilizovaného světa stačí člověku otočit kohoutkem a má ihned dostatek pitné vody pro své potřeby. Málokdo si však uvědomuje, že dostatečné množství vody budoucnosti není samozřejmostí. Poté, co se z pitné vody stane po jejím použití voda odpadní, je třeba myslet na její následné zpracování, tak aby zůstala zachována v dostatečném množství a také kvalitě pro následující generace.

I když se dnešní moderní technologie posunují neustále kupředu, nemusí být často na škodu navrácení se alespoň z části k přírodním procesům, které sami o sobě fungují již několik staletí. Tuto cestu nám nabízí přírodní čistírny odpadní vod. Při svém provozu využívají přirozené samočistící procesy, které se běžně vyskytují v přírodě. Například mokřady poskytují v krajině dokonalé podmínky pro chemické, fyzikální, či biologické procesy, které dokážou odstraňovat znečištění ve vodě. Ke kořenovým čistírnám samozřejmě patří neodmyslitelně mokřadní vegetace. Ta se podílí jednak na čistících procesech, jelikož vytváří vhodné podmínky pro rozvoj mikroorganismů, ale v mnoha případech vytváří také dokonalé podmínky pro okolní živočichy, či pozitivně ovlivňují mikroklima dané oblasti.

Na území České republiky se přírodní čistírny odpadních vod bohužel netěší dobrému jménu. Špatný pohled na tuto technologii zapříčinili především kořenové čistírny, vyhotoveny na přelomu tisíciletí. Jednalo se o návrhy a realizaci, které nedokázaly v uspokojivé míře, již mnohdy během pár let dostatečně plnit svou funkci. Ať už to bylo z důvodů špatného návrhu, či samotného provozu. Z pohledu tehdejších možností byly čistírny často nekonkurenceschopné, svými odtokovými parametry sice plnily požadavky na vypouštění, ale intenzivní čistírny založené na procesu aktivace dosahovaly již tehdy výrazně lepších odtokových parametrů. Největší kritice se dostávalo od 90 let 20. století z důvodu častého ucpávání filtračních polí, či minimální účinnosti čištění při zimním provozu.

V dnešní době se po vzoru ostatních evropských států například Rakouska, ve kterém se přírodní technologie čištění odpadních vod těší velké oblibě, ale také třeba Francie, navrhuji účelné vícestupňové systémy. Díky získávání nových poznatků a vývoji nových technologií si nově budované, či vhodně modifikované přírodní čistírny získávají zpět své dobré jméno. Jako příklad může posloužit obec Skašov, Machová, Dražovice, Sklené, Cekov, Nová Ves a mnoho dalších. V současné době se přírodní čistírny stále více přiklánějí k využívání filtračních polí

s vertikálním průtokem doplněným vegetací ve více stupňovém provedení s kvalitním mechanickým předčištěním.

Stále více menších obcí, rekreačních objektů či ubytovacích zařízení vyhledává tento způsob technologie pro čištění odpadních vod. Jednak z důvodů nízkých provozních nákladů, relativně jednoduchého technického provedení, nebo snadné obsluhy. Při vhodných terénních podmínkách je také možná absence elektrické energie. Nespornou výhodou je také zvládnání velkých výkyvů v množství přitékajících znečištěné odpadní vody a její jakosti. Mezi jednu z těchto obcí se řadí také Oponešice, malá obec v kraji Vysočina, pro kterou bude v rámci diplomové práce navržena technologie, u které bude snaha omezení elektrické energie pro samotné čistírenské účely na minimum a dosažení co nejlepší kvality vyčištěné odpadní vody.

1.1 CÍLE

Cílem diplomové práce bude v první řadě zpracování obecné rešerše, která bude mít za úkol představení základních informací týkajících se přírodních čistíren odpadních vod. Kromě představení samotných ukazatelů znečištění odpadní vody či platné legislativy, by měli být popsány například jednotlivé funkční objekty (mechanické předčištění či samotné biologické stupně čištění) tvořící technologii přírodních čistíren.

Ve druhé části práce bude cílem nejprve představení samotné obec Oponěšice. Následně by s využitím teoretických poznatků, mělo dojít k navržení technologie koncipované jako přírodní, se snahou dosažení co možná nejvyšší možné kvality vyčištěné odpadní vody. Rovněž bude nezbytné brát ohled na ekologičnost, dlouhodobou udržitelnost, minimální náročnost či nízké provozní náklady. Při návrhu jednotlivých objektů by měl být uveden popis technologického řešení včetně potřebných výpočtů. Rovněž bude nezbytné provedení vyhodnocení celkové čistící účinnosti navržené přírodní čistírny odpadních vod, přičemž bude důležité splnění požadovaných legislativních hodnot.

Součástí praktické části bude vytvoření projektové dokumentace pro obec Oponěšice, tvořené jednak průvodní zprávou, souhrnnou technickou správou, situačními výkresy a dokumentací jednotlivých objektů či technologických zařízení. Vyhotovení projektové dokumentace bude potřebné na takové úrovni, aby dokázalo posloužit jako vstupní podklad pro územní řízení a stavební povolení.

2 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Primárním účelem přírodních čistíren je čištění odpadních vod založené na přirozeném a pomalém (extenzivním) odstranění znečištění [1]. Přírodní čistírna je pojmem, který vznikl na Fakultě stavební – technologie přírodních čistíren vychází z původního konceptu kořenových čistíren odpadních vod, které byly v minulosti založeny zejména na systému filtrace v horizontálních, vodou zatopených, filtrech. Rozdíl mezi přírodní a kořenovou čistírnou tkví ve vícestupňovém uspořádání, které je navíc doplněno o inovativní řešení technického detailu, které vzniklo na VUT v Brně. Jedná se např. o pulzně vypouštěcí zařízení plovákového typu, uspořádání systému potrubí na povrchu filtru, ostrovní aerační systém, odlehčovací komoru nového typu apod., přičemž všechny tyto prvky mají za cíl zvýšení čistící účinnosti – což je ostatně jednou z nejdůležitějších funkcí.

Mezi vedlejší funkce se řadí například poskytování útočiště pro různé živočichy, zlepšování mikroklimatu v okolí a estetické splnutí s krajinou [2]. Celá problematika spojená s přírodním čištěním vod se datuje již před několika tisíci lety, kdy docházelo k závlahám odpadními vodami. V novější historii se koncem 19. století velká významná evropská města, jako například Berlín či Paříž, zaměřila na čištění odpadní vody pomocí filtračních polí. V současné době se přírodní způsoby čištění posunuli svou kvalitou na podstatně vyšší úroveň, což dokazuje rozšíření ve střední Evropě, kdy je hlavní pozornost věnována především menším samostatným čistírnám vyhotovených pro maximálně 2000 EO [3]. Přírodní technologie čištění dokáže zpracovávat různé typy znečištěné odpadní vody a díky procesům vyskytujícím se v přirozeném prostředí se považují za udržitelné a ekologicky šetrné. Při srovnání s ostatními technologiemi čištění mají přírodní čistírny nízké požadavky na provoz či údržbu a jsou méně citlivé na změny vstupujícího znečištění [4]. V České republice se kořenové čistírny odpadních vod používají už více než 100 let [2]. Až do 60. let 20. století se k čištění používali přirozené mokřady. Bohužel se jednalo spíše o nekontrolované vypouštění odpadních vod do těchto mokřadů, přičemž mnohdy došlo k nenávratnému poničení a zrušení této krajinné části [5]. První skutečné projekty a realizace se začali vyvíjet od roku 1989, čímž se také začal formovat názor na tuto technologii, který díky mnohdy špatnému provedení či návrhu zapříčinil, že se na kořenové čistírny dívalo skrz prsty. Dlouhé roky byla široká veřejnost přesvědčena o nefunkčnosti přírodních čistíren [1]. V posledních letech se skupina odborníků z Vysokého učení technického v Brně věnovala této problematice v širším kontextu, přičemž se inspirovala projekty vyhotoveným v sousedním Rakousku a prokázala, že přírodní čistírny mohou mít porovnatelné a mnohdy i lepší odtokové parametry, než běžné ČOV [2]. V dnešní době se nejčastěji využívají dle typu proudění filtry horizontální či vertikální [4]. Celkově se moderní kořenové čistírny skládají z mechanického předčištění (česle, lapák písku, usazovací nádrž), hlavního stupně

čištění (filtr složený z vrstev pískového lože doplněného o mokřadní vegetaci) a možné dočištění (stabilizační nádrž) [6].

2.1 TYPY PŘÍRODNÍCH ZPŮSOBŮ ČIŠTĚNÍ

K samotnému dělení různých typů přírodního způsobu čištění odpadních vod se dá přihlížet několika způsoby. Mezi přírodní způsoby čištění odpadních vod se vyjma klasických vegetačních (přírodních) čistíren odpadních vod řadí například půdní (zemní) filtry s vegetací či bez. Dále se může jednat o závlahu odpadními vodami či tekutými stabilizovanými čistírenskými kaly. V neposlední řadě se zde řadí stabilizační nádrže, biologické nádrže a akvakultury [3].

Přírodní čistírny se podle typů filtrů (často se můžeme setkávat s názvem umělé mokřady) dělí následovně:

- Povrchový průtok
 - s vyořenou (emerzní) vegetací
 - s volnou vodní hladinou
 - s ponořenou (submerzní) vegetací
 - s rostlinami s plovoucími listy
- Podpovrchový průtok
 - horizontální průtok
 - vertikální průtok
- Kombinace těchto typů (tzv. hybridní umělé mokřady) [7].

V následujících kapitolách 2.6.3 věnovaných technickému provedení budou představeny systémy horizontálních filtrů, vertikálních filtrů, dvoustupňových tzv. rakouských systémů či francouzských typů.

2.2 VÝHODY A NEVÝHODY PČOV

Jako každá jiné technologie mají i kořenové čistírny své nesporné výhody, ale také úskalí. Následující srovnání bude provedeno oproti klasickým aktivačním čistírnám odpadních vod.

U aktivačních čistíren dochází k procesům čištění na maximální možný výkon díky využití průmyslových technologií. V případě dodržování veškerých provozních podmínek bývá výsledkem spolehlivě vyčištěná odpadní voda, stejně jako u extenzivních typů čistíren [2].

Výhody PČOV:

- + schopnost čištění odpadních vod s nízkou koncentrací organických látek (dokážou se tedy vyrovnat s vysokým podílem balastních vod)

- + při vhodných terénních podmínkách není vyžadována elektrická energie
- + dobré vypořádání se s kolísáním množství a kvality odpadních vod
- + schopnost přerušovaného provozu (vhodnost pro objekty s nestálým využitím jako jsou například rekreační chaty)
- + malé nároky na údržbu, která musí být ovšem pravidelná
- + poměrně jednoduché stavební provedení
- + nízká technologická náročnost, což má za následek menší náchylnost k haváriím
- + srovnatelné až nižší stavební náklady
- + velmi výrazně nižší provozní náklady
- + zlepšení mikroklimatu v místě ČOV
- + estetická funkce (začlenění do okolní krajiny) [3]; [7].

Nevýhody PČOV:

- velké nároky na plochu
- docházení ke kolmataci (zanášení filtru)
- u horizontálních filtrů nízké odstraňování amoniaku a fosforu
- horší předpoklady pro řízení čistícího procesu a následnou analýzu případných problémů
- určeno především pro menší počet připojených EO
- snížení čistících účinků v zimním období [3]; [7]; [6].

2.3 DRUHY A CHARAKTERISTIKA ODPADNÍCH VOD

Při volbě správné technologie čištění odpadních vod je důležité znát nejen množství, ale také jakost a typ přitékající vody. Dle dnešní legislativy se se tato voda charakterizuje, a především posuzuje za pomoci několika dílčích ukazatelů [6].

Od konce 80. let 20. století se použití kořenových čistíren rozšířilo na zpracování téměř všech druhů odpadních vod včetně vod průmyslových či zemědělských [5]. Na přírodní čistírny je nevhodné vypouštět odpadní vody s vysokým obsahem organického znečištění a tuků (kejda, voda z jatek, či mlékáren), extrémně kyselé a zásadité odpadní vody, také však vody, které obsahují toxické látky či ropné nebo radioaktivní prvky a odpadní vody z infekčních oddělení nemocnic, kafilerii atd [3].

Dle § 38 vodního zákona se odpadní vody považují takové vody, které byly použity v domácnostech, průmyslu či zemědělství, zdravotnických zařízeních nebo dopravních prostředcích. Je zde zásadní předpoklad, že tyto vody během využití změnilly svou jakost (kvalita, teplota). Rovněž sem spadají vody odtékající, například vody srážkové, jenž by mohli

negativně ovlivnit jak vody podzemní, tak také vody povrchové. V neposlední řadě se mezi odpadní vody řadí vody průsakové [8].

2.3.1 Jednotlivé typy odpadních vod

Dle vzniku a obsahu znečišťujících látek se odpadní vody dají rozdělit do následujících kategorií:

Komunální splaškové odpadní vody

Jedná se o vody odváděné z obytných budov (rodinné domy, bytové domy, chaty atd.), a z budov ve kterých jsou poskytovány služby. Jedná se především o produkty lidského metabolismu a vody vzniklé během činností v domácnostech [8].

Odpadní vody z domácností se dají rozdělit do 3 základních kategorií:

- šedé vody – koupelny, sprchy, umyvadla, prádelny
- žluté vody – moč
- černé vody – fekálie, splachovací vody [9].



Obrázek 1: Dělení odpadních vod v domácnostech [10]

Průmyslové odpadní vody

Jedná se o odpadní vody, které vznikají přímo ve výrobě průmyslových subjektů. Množství a složení závisí především na druhu výroby a použití technologických postupů. Je nutné posuzovat biologickou čistitelnost, koncentrace toxických látek či obsah hořlavých nebo nebezpečných látek. O povoleném množství a kvalitě vypouštěných průmyslových odpadních vod rozhoduje správce, řídicí se provozním řádem kanalizace [8].

Zemědělské odpadní vody

Kromě odpadních vod vyprodukovaných zaměstnanci (kuchyně, koupelny, WC), se jedná o vody technologické (při procesech zpracování produktů), odpadní vody z živočišné výroby, z venkovních dvorů, chovu ryb či vodní drůbeže [11].

Srážkové odpadní vody

Pod tímto pojmem se skrývají jednak vody vytvořené za dešťových srážek, ale také vody vzniklé při tání sněhu a ledu [12]. Složení dešťových vod bývá různorodé, především díky místu svého dopadu. Odvíjí se od kontaminace srážek, struktury povrchu, intenzitě, trvání a množství dešťů [11]. V zimních měsících se z tajícího sněhu dostává do kanalizace velké množství solí, což se projevuje zvýšenou koncentrací chloridů [8].

Balastní odpadní vody

Jedná se o zátěžovou vodu, která se do kanalizačních systémů dostává za pomoci netěsností, nebo nelegálního napojení drenážních vod. Složení a množství balastních vod se odvíjí především od stavu kanalizace, netěsnostech na objektech, či výšce hladiny podzemní vody. Samotné stanovení balastních vod bývá mnohdy obtížné, ovšem nemělo by být opomenuto. V mnoha případech může balastní voda nepříznivě zvýšit množství a ovlivnit složení odpadních vod, čímž do značné míry ovlivní funkci kanalizace a čistírny odpadních vod [11].

Infekční odpadní vody

Pochází z infekčních oddělení nemocnic či příslušných laboratoří. Jelikož obsahují značné množství choroboplodných zárodků, vyžadují speciální zabezpečení a následující čištění [12].

2.3.2 Sledované ukazatele znečištění odpadních vod

U přírodních čistíren odpadních vod se sledují a odstraňují shodné ukazatele specifického znečištění jako u klasických čistíren. Jejich potřebná kontrola se rovněž odvíjí dle velikosti (počet EO).

Tabulka 1: Orientační hodnoty produkce specifického znečištění na 1 ekvivalentního obyvatele (populační ekvivalent) v g/d [13]

Látky	Ukazatele specifického znečištění						
	Látky			Ostatní			
	Minerální	Organické	Celkem	BSK ₅	CHSK	N _{celk}	P _{celk}
Nerozpuštěné:							
a) usaditelné	10	30	40	20	40	1	0,2
b) neusaditelné	5	10	15	10	20	–	–
Rozpuštěné	75	50	125	30	60	10	2,3
Celkem	90	90	180	60	120	11	2,5
V obcích s hospodářským zvířectvem se doporučuje uvažovat N _{celk} 15 g/d na 1 EO až 20 g/d na 1 EO.							

Organické znečištění

V odpadních vodách se koncentrace znečišťujících látek vyjadřuje jako jejich celkové množství v jednotkovém objemu vody. Mezi skupiny organických látek v odpadních vodách patří například:

- sacharidy
- bílkoviny
- vyšší mastné kyseliny
- rozpuštěné organické kyseliny
- tenzidy
- tuky
- a jiné [8].

Množství organických látek se vyjadřuje především jako BSK₅ nebo CHSK_{cr}. K mikrobiálnímu rozkladu organických látek ve filtračním loži dochází jednak aerobně, především ale anaerobně. Je prokázáno že rozpuštěný kyslík se nachází pouze v těsné blízkosti kořenů rostlin a velká část filtračního lože tedy zůstává bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku. Účinnost odstraňování organických látek je kořenových čistírnách velmi efektivní a prakticky nezáleží na ročním období, ani koncentraci na přítoku [5]. Je ovšem důležité brát v potaz, že každá přírodní čistírna je unikátní a nelze tedy předpokládat vysokou účinnost čištění ve všech řešených případech [6].

Poměr CHSK/BSK vyjadřuje stupeň biologické rozložitelnosti organických látek. Pokud jsou hodnoty poměru nízké (menší než 2), značí to přítomnost látek snadno rozložitelných (většinou u splaškových vod). V opačném případě to napovídá, že se ve vodě vyskytují velmi obtížně rozložitelné látky [14].

Biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅)

Biochemická spotřeba kyslíku znázorňuje obsah biologicky rozložitelných organických látek v odpadních vodách. Je rovna množství rozpuštěného molekulárního kyslíku, který mikroorganismy spotřebují při biochemickém rozkladu organických látek ve vodě za určitý časový interval. Označení BSK₅ vychází z toho, že hodnota se určuje za časový interval 5 x 24 hodin [14].

V přirozeném prostředí se koncentrace BSK₅ vyskytuje ve vodách v podobě rozložených zbytků listů či větví, výkalů ryb, mrtvých organismech a jiných znečištěních organického původu [6].

Do odpadních vod, přitékajících na kořenové čistírny, se biologicky rozložitelné znečištění dostávají obzvláště se splašky. Jak již bylo zmíněno, kořenové čistírny nemývají se samotným odstraněním větší problémy. Dle vstupních koncentrací a správnosti provedení systému je u horizontálních filtrů po zpracování účinnost čištění nad 80 %. U vertikálních filtrů se BSK₅ čistí až s 95 % účinností [6].

Chemická spotřeba kyslíku (CHSK_{cr})

Vyznačuje se jako množství kyslíku, které se spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě za pomoci silného oxidačního činidla, a to za přesně daných podmínek [6]. Pro odpadní vody se využívá především dichroman draselný [15].

Na kořenových čistírnách se velká část znečištění odstraní již u přítoku na filtrační pole. Dále se znečištění odbourává díky rozkladným procesům, a to jak za přístupu kyslíku, tak i bez něj. Odstranění znečištěných ve formě CHSK bývá ve většině případů bezproblémové a samotná účinnost kořenových čistíren se pohybuje okolo 85 až 90 % [6].

Nerozpuštěné látky (NL)

Nerozpuštěné látky se zjednodušeně dají dělit na usaditelné a neusaditelné, přičemž vyjadřují obsah pevných látek v odpadní vodě [8]. Ve vodě bývají mnohdy viditelné pouhým okem [6].

V kořenových čistírnách se nejefektivněji odstraňují nerozpuštěné látky za pomoci filtrace a sedimentace ve filtračním loži [5]. Z dlouhodobého hlediska a bezporuchového provozu je důležité, aby většina přitékajících usaditelných nerozpuštěných látek byla z vody odstraněna ihned na začátku, tedy na samotném mechanickém stupni předčištění. Špatně provozované nebo nadimenzované mechanické předčištění mívá za následek proces kolmatace, tedy ucpávání jemného šterkového materiálu [6], což může vést i k povrchovému odtoku [5].

Kolmatace:

Nejčastějším problémem přírodních čistíren bývá zanášení povrchového filtračního materiálu. K tomuto problému dochází ve chvíli, kdy mechanicky předčištěná voda vytéká z rozdělovacího potrubí, umístěném na povrchu filtru. Postupem času dochází ke snížení pórovitosti, tím bývá ovlivněna propustnost, což má za následek zkrácení doby zdržení, a tedy zhoršení celého čistícího procesu. Ke kolmataci může docházet na všech typech filtrů. Obecně platí, že čím jemnější materiál bude použit za účelem čištění odpadních vod, tím více bude náchylný k ucpávání. Rovněž v případě špatného nadimenzování mechanického předčištění, nevhodné provozování odlehčovacích komor, či špatného provozu (zanedbané odkalování nádrží) [1].



Obrázek 2: Privilegovaný povrchový odtok v důsledku kolmatace [1]

Celkový dusík (N_{celk})

V odpadních vodách se dusík vyskytuje jednak ve formách organických sloučenin, ale také ve tvarech anorganických. Jsou to formy amoniakové, dusitanové a dusičnanové [14]. Nezbytným procesem při přeměně forem dusíku jsou procesy nitrifikace a denitrifikace.

Nitrifikace:

Pojem nitrifikace se dá definovat jako biochemická oxidace amoniakálního dusíku na dusitany a následně dusičnany. V oxických (aerobních) podmínkách probíhá především díky nitrifikačním bakteriím, které využívají oxid uhličitý jako zdroj uhlíku a energii získávají oxidací amoniakálního dusíku. Samotný proces nitrifikace probíhá ve 2 stupních (nitritace a nitratace) [16].

- 1 stupněm je proces nitritace:
Oxidace amoniakálního dusíku na dusitany, na kterém se podílí nitrifikační bakterie rodu *Nitrosomonas*.
 - $2\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2 stupněm je proces nitratace:
Oxidace dusitanů na dusičnany, na kterém se podílí bakterie rodu *Nitrobacter*
 - $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^-$
- Celkově:
 - $\text{NH}_3 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Růstová rychlost nitrifikačních bakterií je ovlivněna především teplotou [16].

Denitrifikace:

Denitrifikace se dá definovat jako biochemická redukce dusičnanů na oxidy dusíku a následně na elementární dusík, který je odstraňován z vody a odvětrán do ovzduší. Probíhá v anoxickém prostředí a měla by navazovat na nitrifikaci tak, aby došlo k odbourání dusičnanů.

- Celkové naznačení průběhu reakcí:
 - $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$ [16].

Amoniakální dusík (N-NH_4^+)

Koncentrace amoniakálního dusíku na přítoku se odvíjí od typu kanalizace, spotřeby vody a množství vod balastních. Zvýšená koncentrace amoniakálního dusíku může vznikat také předimenzováním mechanického stupně přečištění, kdy dochází k rozklad usazené organické hmoty bez přístupu kyslíku. K nejvýznamnějšímu odstranění amoniakálního dusíku dochází během procesu nitrifikace, u kterého je zapotřebí velké množství kyslíku a vytvoření vhodného prostředí pro bakterie [6]. Zde vzniká důvod, proč nejsou klasické kořenové čistírny při odstraňování dusíku příliš efektivní (nedostatek kyslíku ve filtračním poli) [5]. Nedostatečné odstranění amoniakálního dusíku a přechod na toxickou formu NH_3 při pH nad hodnotu 9 může mít po vypuštění do recipientu (především stojatých vod) za následek úhyn ryb. Vhodným řešením k odstraňování amoniakálního dusíku je pulzně skrápěný vertikální filtr [6].

Celkový fosfor (P_{celk})

Fosfor bývá stejně jako dusík označován živinou. Znamená to tedy, že společně podněcují biochemické procesy a vytváří buněčnou hmotu, čímž podporují růst a množení nejen mikroorganismů, ale také vyšších rostlin a řas [6].

V odpadních vodách se fosfor vyskytuje jako vázaný a je obsažen převážně v pevných látkách. Mezi hlavní zdroje solí fosforu patří lidské výkaly, moč, a především prací prostředky [14].

K odstraňování fosforu na kořenových čistírnách dochází především adsorpcí a srážením ve filtračním poli, kde k částečnému odběru napomáhají rostliny [5]. K eliminaci fosforu dochází rovněž během mechanického předčištění za pomoci sedimentačních procesů [6].

I přesto že legislativa nevyžaduje odstraňování fosforu (je předpokládáno s výstavbou kořenových čistíren do 2000 EO), je vhodné z pohledu ochrany vody a možného předejití komplikací při zvýšení nároků na čištění odpadních vod v budoucnu se tímto problémem zabývat [2]. Intenzivnější odstranění se řeší jednak individuálně za pomoci terciálního dočištění, či chemickým srážením fosforu na přítoku během procesů mechanického předčištění [6]. Chemické srážení fosforu zajistí jeho odstraňování během celého roku. Princip spočívá v tom, že dochází k dávkování chemikálie, která po smíchání s vodou vytvoří sraženiny, které jelikož jsou hustší, klesají ke dnu. Na dně nádrže bude docházet k jejich akumulaci a následnému odstranění [2].

Tabulka 2: Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých typů čistírenských technologií [13]

Technologie čištění	Účinnost čištění v %				
	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}
Septik	15 až 30	0 až 20	50 až 60	–	–
Anaerobní separátor	50 až 75	40 až 80	70 až 90	5 až 25	10 až 45
Sedimentace	20 až 30	10 až 30	30 až 60	0 až 5	0 až 8
Rotační biofilmové reaktory (biodisky apod.)	80 až 90	60 až 85	65 až 90	5 až 70	5 až 20
Aktivační proces s biofilmovým reaktorem	80 až 95	70 až 90	80 až 90	65 až 95	15 až 25
Aktivační proces s $B_x < 0,3 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$	80 až 90	60 až 85	85 až 90	5 až 30	15 až 25
Aktivační proces s $B_x \approx 0,05 \text{ kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$	85 až 95	70 až 90	85 až 90	5 až 30 ²⁾ 65 až 95 ¹⁾	15 až 25
Biologické dočišťovací nádrže	65 až 70 80 až 90 ¹⁾	60 až 85	85 až 90	20 až 90	5 až 20
Zemní filtry	85 až 95	70 až 90	85 až 95	10 až 15	5 až 25
Vertikální filtr s dávkovacím systémem	60 až 90	40 až 70	40 až 70	70 až 90	5 až 25
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 ²⁾ až 99 ¹⁾	5 až 20
¹⁾ v letním období (tj. pro $T > 12 \text{ }^\circ\text{C}$) ²⁾ v zimním období (tj. pro $T < 6 \text{ }^\circ\text{C}$)					

2.4 POŽADAVKY NA KVALITU VYPOUŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD A PLATNÁ LEGISLATIVA

V České republice platí legislativa, jež stanovuje přesné limity na odtoku vyčištěné odpadní vody z čistírny. Vychází z nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Mezi sledované ukazatele patří:

CHSK_{Cr}, BSK₅, NL, N-NH₄, N_{celk} a P_{celk} [17]. Přísnost hodnot, či jejich potřebné měření se odvíjí dle kategorie ČOV, která je stanovena podle počtu EO. V České republice se nejčastěji setkáváme s čistírnami do 500 EO, maximálně do 2000 EO.

Tabulka 3: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l [17]

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄		N _{celk}		P _{celk}	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-

„p,, - přípustné hodnoty

„m,, - maximální hodnoty

Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci, či jednotlivé stavby poskytující ubytovací služby, jsou stanoveny v nařízení vlády č. 57/2016 Sb. Kromě nepřekročitelných hodnot ukazatelů znečištění odpadních vod vypouštěných do podzemních vod, jsou zde také uvedeny ukazatele a emisní standardy mikrobiologického znečištění pro odpadní vody z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci či jednotlivých staveb poskytujících ubytovací služby [18].

2.5 VÝZNAM VEGETACE NA PČOV

Obecně během přírodního způsobu čištění vod zastávají rostliny několik důležitých funkcí [3]. Je ovšem důležité uvědomit si, že v přírodních čistírnách mají rostliny funkci především nepřímého charakteru [5]. Využívají živiny a stopové prvky k tvorbě biomasy, čímž snižují nebezpečí eutrofizace. Důležitým úkolem rostlin je tvorba příznivých podmínek pro rozvoj mikroorganismů, které jsou nezbytné pro správnou funkci čistících procesů. Jedním z úkolů mokřadních rostlin je dodávání chybějícího kyslíku do kořenové zóny, čímž pomáhají k vyrovnání kyslíkové bilance. Díky rostlinám dochází také k transpiraci, což znamená, že část vody proniká do ovzduší, čímž dochází k vhodným mikroklimatickým podmínkám v okolí přírodních čistíren. Důležitou funkci zastávají rostliny také v zimním období, kdy za pomoci odpadu z mrtvých částí tvoří tepelnou izolaci filtračního lože a výrazně snižují hloubku promrzání [3]. V létě naopak chrání trubicí rozvody před sluncem a jinými klimatickými podmínkami [6]. Nesporným využitím mokřadních rostlin je plnění estetické funkce v krajině [2]. Nejčastěji využívanou rostlinou na přírodních čistírnách odpadních vod bývá rákos obecný (*Phragmites australis*) [7].

Rákos obecný (*Phragmites australis*)

Časté využití rákosu se odvíjí především od schopnosti tolerování zaplavení, znečištění a velmi dobré schopnosti pro kořenit filtrační substrát do značných hloubek [7]. Odnože rákosu dosahují délky až 1 m a mohou vrůstat až 1 m hluboko do půdy [19]. Rákos může dorůstat do výšky až 4 m. Období květů bývá v červenci až září a jedná se o více než 40 cm dlouhé hnědavé klásky ve statných latách [20]. Listy rákosu vyrůstají v uzlinách po celé lodyze a dorůstají délky až 30 cm [19]. Biomasa rákosu bývá velmi rozkolísaná, jelikož je závislá na mnoha parametrech jako je například dostupnost živin, nadmořská výška či hloubka zaplavení [7].



Obrázek 3: Rákos obecný (*Phragmites australis*) [21]

Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*)

Bývá často vysazována v kombinaci s rákosem obecným. Jedná se o trvalou travu dorůstající výšky až 2 m s velmi hustým kořenovým systémem, prorůstající mým do hloubky 30 až 40 cm. K rozmnožování dochází za pomoci oddenků. Její hlavní předností je rychlý růst, díky čemuž vytváří kompaktní porost již během prvního vegetačního období [7].



Obrázek 4: Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*) [22]

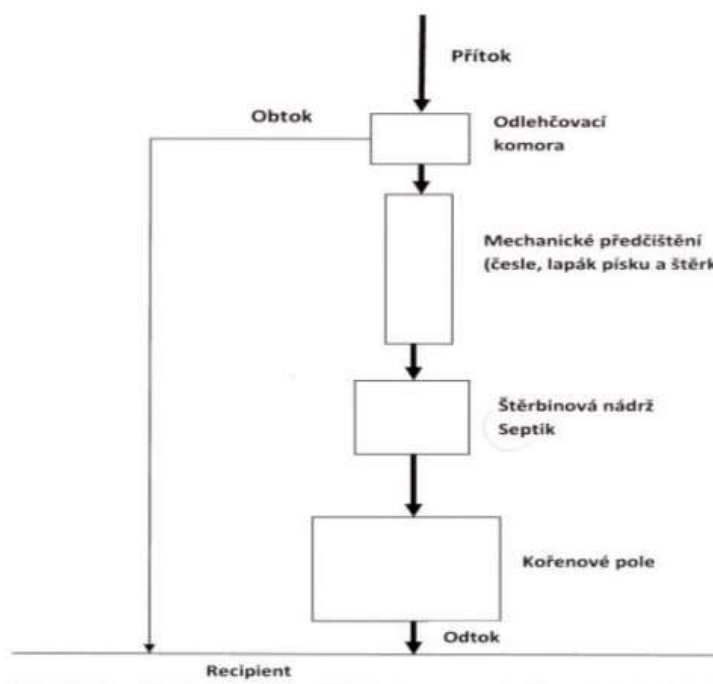
Při výsadbě menších domovních čistíren se dají využít také mokřadní rostliny jako je například orobinec, šmel okoličnatý, či různé druhy kosatců. Výhodou těchto rostlin je především dekorativní charakter.



Obrázek 5: Kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*) [23]

2.6 TECHNOLOGIE PŘÍRODNÍCH ČISTÍREN

Přírodní čistírny odpadních vod bývají složeny z několika sériově zapojených objektů (filtrační pole bývají mnohdy zapojeny i paralelně), které pracují jako celek. Tato soustava se skládá z mechanického stupně čištění, hlavního stupně čištění a v některých případech, kdy je třeba dodržovat přísnější limity (např. odstranění celkového dusíku) bývá využito také dočištění [6]. Tato technologie pracuje pomalu a pozvolně, tak aby se zabezpečili porovnatelné odtokové koncentrace, které dosahují aktivační ČOV. Kromě správného návrhu stupňů čištění je potřebné zajistit a zaškolit také kvalitní obsluhu, dodržující stanovené postupy [2].



Obrázek 6: Zjednodušené schéma objektů na PČOV [7]

2.6.1 Objekty před mechanickým předčištěním

Do této kategorie spadají objekty vyskytující se na jednotných kanalizačních systémech. Z hlediska umístění a využití tyto objekty nepatří mezi mechanické přečištění na čistírně, ale řadí se mezi objekty stokové sítě.

Odlehčovací komory

Odlehčovací komory se budují za účelem oddělení části průtoku, kdy se u menších obcí jedná především o oddělení větší části srážkových vod za přívalových dešťů [3]. Ze stokových objektů patří z hlediska hydraulického, hydrologického, hygienického i konstrukčního hlediska odlehčovací komory k jednomu z nejsložitějších objektů. Správně navržená odlehčovací komora musí být uspořádána tak, aby z celkového průtoku oddělila vody, jež budou přímo zaústěny do recipientu [24].

Základní typy odlehčovacích komor:

- přepadové s přímým přelivem
- přepadové s bočním přelivem (jednostranné, oboustranné)
- se šikmým přepadem
- se škrťací tratí
- s regulačním šoupátkem
- s horizontální a vertikální dělicí stěnou
- štěrbinové
- odstředivé (separátory)
- regulovatelné oddělovače [3]; [24].

U kořenových čistíren patří z hlediska bezpečnosti odlehčovací komora mezi jeden z nejdůležitějších prvků. Při špatném návrhu či nedodržování maximálních možných průtoků může docházet k problémům s ucpáváním kořenových filtrů. Při několikanásobném překročení maximálních průtoků dochází při intenzivním dešti k částečnému vyplavení akumulovaného kalu v septicích či štěrbinových nádržích. Následkem toho bývá povrchové protékání odpadní vody doprovázené silným zápachem, což vede k nedostatečným účinnostem kořenových čistíren především z důvodu kolmatace [6]. K hlavním nedostatkům u odlehčovacích komor patří například krátká překryvná hrana, jež vytváří vysoké vzduší místech výtoku surové odpadní vody na mechanických stupeň čištění, což má za následek zvýšení průtoků a následné vyplavování kalů [3].



Obrázek 7: Odlehčovací komora s oboustranným bočním přelivem [6]

Složení odlehčovacích komor:

- přítokové potrubí
- oddělovací objekt (zpravidla přeliv)
- škrťací zařízení pro pokračující průtok k ČOV
- odtokové potrubí směrem k ČOV
- odtokový žlab/objekt
- odlehčovací stoka do vodního recipientu
- výpustní objekt do vodního recipientu [25]

Dešťové zdrže

Jedná se o objekty určené k akumulaci odpadních vod, jež mají za cíl mechanicky předčistit zředěné odpadní vody dříve, než budou zaústěny do recipientu. Kalový prostor bývá vypouštěn, nebo přečerpáván na samotné čistírny [24].

Typy dešťových zdrží:

- záchytné
- průtočné
- kombinované

Základní pravidla při návrhu dešťových zdrží:

- nádrž by měla zachytit silně znečištěné dešťové vody a odlehčit pouze mírně znečištěné
- veškeré znečištění by mělo být dopraveno na čistírnu, které musí být v souladu s daným zatížením čistírny
- nesmí docházet k zanášení stoky nad nádrží [24].



Obrázek 8: Dešťová zdrž

2.6.2 Mechanické předčištění

Před samotnou částí biologického čištění na kořenových čistírnách odpadních vod, je nezbytné správně navrhnout a na dimenzovat mechanické předčištění. Při špatném návrhu, by docházelo k nedostatečné odstranění nerozpuštěných látek, což by vedlo k nežádoucímu ucpávání filtračního lože [5]. Mezi prvky, které bývají odstraňovány při mechanickém předčištění se řadí například: vlasy, výkaly, kusy látek, domovní odpadky, různé kusy dřeva či plastů, zbytky ovoce a zeleniny [11].

Při návrhu mechanického předčištění je nutné vycházet především z toho o jaký typ kanalizace se jedná (zda oddílná soustava, nebo kanalizace jednotná).

U oddílných kanalizací se odvádí samostatně jak vody dešťové (většinou přímo zaústěny do recipientu), tak vody splaškové (přivádí se na samotné čistírny). V tomto případě se nejčastěji navrhuje kombinace česlí a např. štěrbínové nádrže [7].

U jednotných kanalizací, kde dochází vlivem srážek nebo tání sněhu jednorázovému zvýšení průtoků bývá samotný návrh již o něco složitější [7]. Do kanalizace se kromě již zmíněných prvků mohou za dešťových průtoků dostávat také těžší materiály například šterk, menší kusy stavebních materiálů, či jiné splachy z cest a okolního území [11]. U jednotných kanalizací je rovněž nezbytné zajistit při velkých dešťových průtocích oddělení přebytečné vody pomocí odlehčovacích komor. Takto oddělená srážková voda částečně i smísená s vodou splaškovou se zčásti zachytí buď v dešťových držících nebo se přímo zaústí do vodotečí [7]. V těchto případech se navrhuje kompletní systém mechanického předčištění, tedy: česle, lapák písku, v některých případech lapák tuků a usazovací nádrž (štěrbínová), či velkoobjemový septik (nebo separátor) a již zmíněnou odlehčovací komora [7]; [26]. Zmíněné lapáky tuků a olejů se v České republice vynechávají. To by nemělo být pravidlem a mělo by se individuálně zvážit umístění přímo ke zdrojům znečištění (tedy mimo čistírny odpadních vod) [27].

Česle

Česle se využívají k zachytávání nejhrubších znečišťujících látek obsažených v dopravovaných vodách na čistírny [13]. Jedná se o větší předměty (shluky trávy, větve, plasty, či látky), tak hrubé nerozpuštěné částice (zbytky ovoce zeleniny či nedopalky cigaret) [7]. Tím, že se nečistoty zachytí na česlích, se snižuje riziko poškození následujících technologických částí na čistírnách a zanášení filtrů [14]. Průměrná produkce s hrobku se udává o hrubých česlích okolo dvou až tří litrů na 1 EO. Průměrná vlhkost shrabků po odkapání je přibližně 75 % [7].

Přibližné složení shrabků:

- 50 % hadry
- 20–30 % papírem
- 5–10 % plasty
- 2 % gumou a gumovými výrobky
- 2–3 % zbytky ovoce a zeleniny
- 2–3 % nerozpadlými fekáliemi [7].

Samotné česle jsou tvořeny řadou ocelových prutů nebo česlic umístěných v pevném rámu. Využívají se kruhové, obdélníkové, nebo lichoběžníkové profily [11].

Dle světlosti česlic a velikosti zachytávaných látek se česle řadí do dvou základních kategorií:

- hrubé česle – světlost 60 až 120 mm
- jemné česle – světlost do 60 mm [28].

Na kořenových čistírnách se stejně jako na klasických menších ČOV instalují většinou pouze hrubé česle [7].



Obrázek 9: Starší realizace ručně stíraných česlí tvořící sdružený objekt s lapákem písku v obci Dražovice

Dalším možným typem dělení je rozdělení na:

- česle ručně stírané – obvykle se využívají u menších čistíren do 500 EO a KČOV.
- česlem strojně stírané – vysoká separační účinnost [8]. Nutnost vybudování rezervních česlí v případě, že nejsou zdvojeny [13].

Ručně stírané česle musí být po celé ploše stíratelné a jejich součástí by měla být odkapávací plocha. Samotný sklon by měl být asi 45° ke dnu žlabu [13].



Obrázek 10: Novější provedení ručně stíraných česlí v obci Hlína

Průtočné rychlosti u česlí by se měli pohybovat v rozmezí 0,3 – 0,9 m/s (aby nedocházelo k usazování, nebo naopak nebyly shrabky strhávány proudem vody). Z důvodu, že na kořenových čistírnách většinou bývá požadavek omezení využívání elektrické energie v co největší možné míře, navrhuje se ručně stírané česle, u kterých je potřeba zajistit pravidelnou obsluhu, aby nedocházelo ke vzdouvání hladiny [7]. Zachytávání materiál je třeba likvidovat jako hygienicky nebezpečné prvky, které se ukládají do speciálních kontejnerů umístěných na kořenových čistírnách odpadních vod [11].

Lapáky písku

Primární funkcí lapáku písku je odstraňování písku, šterku a jiných látek podobného charakteru o velikosti zrn větší než 0,2 mm. K odstranění těchto látek je potřebné snížit průtok v nádrži, díky čemuž dojde k sedimentaci [11]. Průtočná rychlost by neměla klesnout natolik, že by docházelo k usazování kalových částic s vysokým obsahem organických podílů [7]. Průtok by se tedy měl pohybovat od 0,15 do 0,45 m/s [11]. Množství písku v odpadních vodách závisí na mnoha faktorech (např. povrch terénu) a pohybuje se v rozmezí 5 až 12 litrů na obyvatele za rok (deštivých obdobích můžou být tyto hodnoty až dvacetinásobné) [7].

Dle směru průtoků se lapáky písku dělí následovně:

- horizontální,
- vertikální,
- vírové,
- odstředivé,
- s příčnou cirkulací [28].

Na kořenových čistírnách se běžně využívá šterbinový lapák písku. Princip spočívá v tom, že voda protéká horizontálním žlabem a usazené látky propadávají šterbinou do akumulárního prostoru, který je potřeba pravidelně čistit [7]. Akumulační prostor se navrhuje tak, aby byla umožněna akumulace písku na 10 až 15 dní [13].



Obrázek 11: Horizontální lapák písku (sdružený objekt s ručně stíranými česlemi)

Usazovací nádrže

Primárním úkolem usazovacích nádrží je zachytávání podstatného množství usaditelných látek z odpadní vody [3]. Jedná se o kontinuálně protékané nádrže, kde díky principu prosté sedimentaci dochází k separaci nerozpuštěných látek [5]. Dle [3] se usazovací nádrže dělí na: s průtokem horizontálním, vertikálním a radiálním.

U kořenových čistíren (především u starších typů) se nejčastěji využívá šterbinová usazovací nádrž.

Štěrbínová usazovací nádrž

Jedná se o hlubokou nádrž, která je rozdělená dnem se štěrbinou. V horní části nádrže dochází k usazování, kde se následně kal po šikmých stěnách žlabů propadá do spodního usazovacího prostoru, ve kterém dochází k jeho anaerobní stabilizaci. Před odtokem z usazovacího žlabu je nutné osadit nornou stěnu, jejímž cílem je zabraňování odtoku plovoucích částic [7]. Norná stěna by měla být minimálně 30 cm pod hladinou [26]. Šikmé stěny usazovacího prostoru by měly být o sklonu nejméně 1,4:1. Šířka štěrbiny musí mít alespoň 12 cm. Přesahování stěny usazovacího prostoru pod štěrbinou by mělo být alespoň 10 cm v horizontálním směru [13].

Tabulka 4: Hodnoty teoretické střední doby zdržení a hydraulického zatížení plochy v usazovacím prostoru štěrbinové nádrže [13]

Zařazení štěrbinové nádrže	Střední doba zdržení v hodinách při průtoku		Hydraulické zatížení plochy hladiny v_z v $m^3/(m^2 \cdot h)$ při průtoku	
	Q_v	Q_{max}	Q_v	Q_{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

Při návrhu vyhnívacího prostoru štěrbinové nádrže, do které není přiváděn přebytečný biologický kal, se doporučuje uvažovat specifický objem na 1 EO 150 litrů [13].



Obrázek 12: Odkrytá štěrbinová usazovací nádrž s bezpečnostním filtrem [2]

Dle [6] nemůže žádná štěrbinová usazovací nádrž fungovat tak spolehlivě jako vícekomorový septik.

Hlavní výhody:

- dá se využít jako mechanické předčištění před horizontálními filtry
- není potřeba elektrická energie
- v porovnání se septiky nižší investiční náklady (úspora prostoru)
- nízké provozní náklady (odkalování třikrát až čtyřikrát ročně)
- při správném návrhu odlehčovací komory dokáže zabezpečit dostatečnou účinnost při čištění nerozpuštěných látek

Hlavní nevýhody:

- nedá se využít jako mechanické předčištění před vertikálními filtry
- může docházet k nedostatečnému odstranění nerozpuštěných látek s následkem postupného ucpávání horizontálních filtrů
- hloubka nádrže (okolo 5 metrů a více)
- odkázání na obsluhu [2].

Septiky

Septiky představují usazovací nádrž, ve které dochází k částečnému anaerobnímu odstranění organických látek a anaerobní stabilizaci usazeného kalu. Jelikož v běžných septicích nedochází k oddělení vyhnívacího prostoru a samotných sedimentů, využívají se septiky s více komorami (obvykle 3) [11]. Komory se od sebe navzájem oddělují příčkami, ve kterých jsou vytvořeny otvory. Horní hrana otvoru by měla být alespoň 30 cm pod hladinou a dolní naopak 40 cm nade dnem. Norné stěny nebo tvarovky potrubí na přítoku a odtoku musí mít horní hranu alespoň 15 cm nad hladinou a dolní hranu nejméně 30 cm pod hladinou vody v septiku, a to z důvodu, že plovoucí kal nesmí procházet z jedné komory do druhé, či přímo do odtoku [13].

Celkový objem septiku se navrhuje podle doby zdržení v účinném prostoru (doporučená doba zdržení 3 dny) a podle velikosti potřebného kalového prostoru. Kalový prostor se zpravidla navrhuje o velikosti 50 až 60 % z celkového účinného objemu septiku [7].

Výpočet účinného prostoru septiku:

$V = a \cdot n \cdot q \cdot t$ [m³], kde je:

- a – součinitel vyjadřující kalový prostor (obvykle $a = 1,5$);
- n – počet připojených obyvatel;
- q – specifická potřeba vody na osobu v m³/d;
- t – střední doba zdržení ve dnech (obvykle $t = 5$ d).

Účinný prostor septiku nesmí být menší než 3 m³ [13].

Množství kalu je třeba pravidelně kontrolovat a vyvážet dle potřeby a provozního řádu [13]. Na odtoku ze septiku by měly převažovat rozpuštěné látky a největší část látek nerozpuštěných by měla být zachycena již v první komoře septiku [2]. Při špatně navrženém systému nebo provozu by docházelo k ucpávání dalších filtračních materiálů [6].

Hlavní výhody:

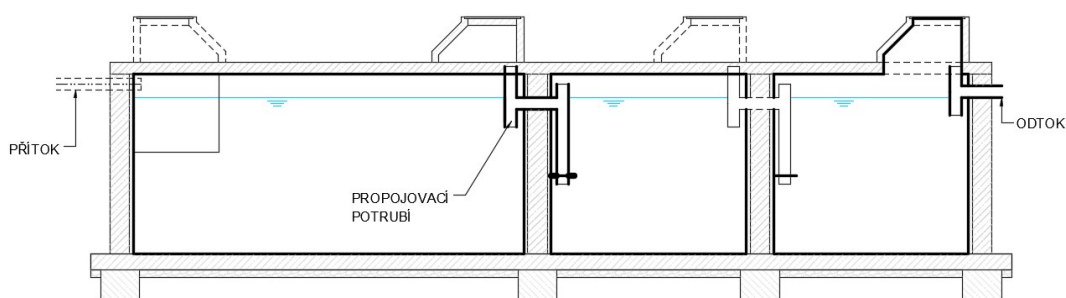
- při správném návrhu a provozu se jedná o vhodný stupeň mechanického předčištění
- není zapotřebí elektrické energie
- správně uspořádání zabezpečí dostatečnou účinnost čištění nerozpuštěných pátek
- snadný provoz (odkalování jedenkrát až čtyřikrát ročně) [2].
- velmi nízké provozní náklady oproti klasickým čistírnám [6]; [2].

Hlavní nevýhody:

- vysoká počáteční investice
- nedá se použít jako samostatné čistící zařízení
- neodstraňuje amoniakální dusík (při předimenzování dokonce hrozí na odtoku vyšší koncentrace než na přítoku)
- bezkyslíkaté (anaerobní) prostředí může způsobovat zápach důsledkem rozkládající se organické hmoty [2].

Anaerobní separátory

Jedná se o modifikované, vylepšené septiky, které jsou navrhované na základě hydraulických optimalizačních modelů. Vyšší účinnosti dosahují díky soustavě norných stěn, usměrňovačům proudů a eliminaci zkratových proudů. Na odtoku ze separátoru je umístěn vyjímatelný filtr plovoucích nečistot [2]. Zvýšená účinnost vychází také z optimalizované a prodloužené doby zdržení. Samotný separátor je sestaven nejméně ze 3 oddělených komor [13]. Z konstrukčního hlediska bývá separátor zhotoven tak, aby docházelo v maximální možné míře k využití celkového objemu nádrže. Minimální objem separátoru by měl být 4 m³ a zdržení by měla být alespoň 4 dny [26].



Obrázek 13: Řez tříkomorovým anaerobním separátorem

2.6.3 Biologické čištění

Po mechanickém předčištění následuje hlavní čistící stupeň, který je na přírodních čistírnách tvořen filtračními poli. Kvalita vyčištěné odpadní vody se odvíjí od doby zdržení, rovnoměrnosti a typu proudění, mikrobiálního oživení, počtu stupňů či technologického uspořádání [3]. V následující kapitole budou představeny základní typy filtrů s podpovrchovým prouděním.

Horizontální filtry

Název horizontální filtr se odvíjí od převládajícího horizontálního směru proudění odpadní vody na filtračním poli [2]. Samotný objekt je sestaven z mělké nádrže vyplněné substrátem a osázené mokřadní vegetací, přičemž odpadní voda zůstává pod povrchem média a proudí okolo kořenů rostlin [29]. Celý objekt je odizolován od okolního terénu za pomoci hydroizolační fólie doplněné o geotextilii. Celý proces spočívá v tom, že voda vstoupí do systému na jednom konci a po protečení štěrkovým médiem se shromáždí na opačné straně a za pomoci trubního rozvodu opustí samotné filtrační pole [4]. Díky tomu, že dochází k proudění vody pod povrchem, je minimalizováno riziko kontaktu člověka nebo jiných živočichů s odpadní vodou [29].

V současné době se horizontální filtry stále řadí mezi nejčastěji využívanou technologii v České republice. Důvodem je především jednoduchost návrhu či samotné realizace [6]. Vyjma České republiky se horizontální filtry používají ve velké míře například ve Španělsku Portugalsku či Severní Americe [4].

Z konstrukčního hlediska jsou jednodušší než filtry vertikální, jelikož nevyžadují vyhotovení složitějšího rozdělovacího potrubí [2]. Pro rozvod odpadních vody se nejčastěji využívají plastové trubky s většími otvory z důvodu zabránění ucpávání. Odpadní voda se přivádí přímo do rozvodné zóny, jež bývá vyplněna hrubým kamenivem. Samotné rozvodné potrubí se může nacházet pod úrovní povrchu štěrkového pole ve stejné úrovni, nebo může být uloženo na povrchu filtru s dostatečnou ochranou tvořenou překrytím hrubším kamenivem. Na dně filtračního pole je umístěno sběrné potrubí, které je propojeno v odtokové šachtě s výpustným mechanismem, jehož úkolem je nastavený výšky vodního sloupce ve filtračním poli. Hloubka filtračního lože bývá většinou 60 až 80 cm [7]. Dle [4] bývá hloubka 50 až 70 cm a hladina vody bývá udržována 5 až 10 cm pod povrchem. Samotný substrát musí být tvořen takovým materiálem, aby nedocházelo k jeho ucpávání. V současnosti je nejčastěji používaný praný štěrk, drcené kamenivo nebo kačírek o zrnitosti 5 až 20 mm [7]. Obecně zde rovněž platí pravidlo, že čím menší zrnitost filtračního materiálu je použita, tím bývá docíleno větší účinnosti. Kromě odstraňování plovoucích a nerozpuštěných látek za pomoci filtrace, při které

se tyto látky zachycují v pórovité prostředí, má menší zrnitost také význam ve vyšší specifické ploše pro růst mikroorganismů a tím dosažení většího počtu bakterií, které zajistí vyšší účinnost celého systému. Nežádoucím doprovodným jevem bývá kolmatace. Postupem času dochází k ucpávání pórů, čímž se sníží celková propustnost a tím samotná doba zdržení, což má negativní vliv na celkovou účinnost navrženého systému. Aby se této situaci předešlo, je nutné věnovat dostatečnou pozornost správně navrženému mechanickému předčištění [6].

Při návrhu velikosti filtračního pole, bývá základním cílem dostatečné odstranění organických a nerozpuštěných látek. Návrh plochy tedy vychází ze snížení koncentrace ukazatele BSK₅.

Rovnice pro výpočet plochy filtračního pole:

$$S = \frac{Q_d(\ln(c_p) - \ln(c_o))}{K_{BSK} \cdot n \cdot h}$$

kde: Q_d průměrný denní přítok vody (m³/den)

c_p předpokládaná koncentrace znečištění BSK₅ na přítoku do filtru (mg/l)

c požadovaná koncentrace znečištění BSK₅ na odtoku z filtru (mg/l)

K_{bsk} kinetická konstanta úbytku znečištění BSK₅ (m/d)

doporučená hodnota je 0,10 m/d

n pórovitost (bezrozměrné číslo, běžně 0,40 – 0,45)

h hloubka filtru (m) [2].

Jednou z nevýhod horizontálních filtrů je velikost plochy filtračního pole, která běžně bývá okolo 5 m²/EO [11]. V případě že je horizontální filtr navržený společně s mechanickým předčištěním a následujícím vertikálním filtrem, který bude plnit hlavní stupeň čištění, může dojít ke snížení potřebné plochy horizontálního filtru na 1 m²/EO.

Další velkou nevýhodou horizontálních filtrů je nedostatečná účinnost odstraňování N-NH₄⁺ [2]. Hlavním důvodem tohoto problému je, že k procesu přeměny na dusičnany je nezbytný proces nitrifikace, jež probíhá v aerobním prostředí [4]. V mnoha případech může docházet k tomu, že voda na odtoku bude zakalena a doprovázená silným zápachem. Z toho důvodu je vhodné navrhovat sestavu doplněnou rovněž o vertikální filtr [2]. První teorií bylo, že kyslík transportovaný rostlinami do kořenové zóny, bude vytvářet dostatečné aerobní prostředí. To se však neprokázalo a bylo potvrzeno, že většina kyslíku bývá spotřebována na aerobní dýchání kořenů rostlin [7].

Dalším typem řešení tohoto problému, může být zařazení prvku zajišťujícího nepravidelné vypouštění odpadní vody na filtrační pole. Zhotovené pulzní vypouštění zajistí lepší přestup kyslíku do odpadní vody, doprovázený přechodem z anaerobního na anoxické prostředí, čímž bude docházet k výraznějšímu odstranění amoniakálního dusíku [6].

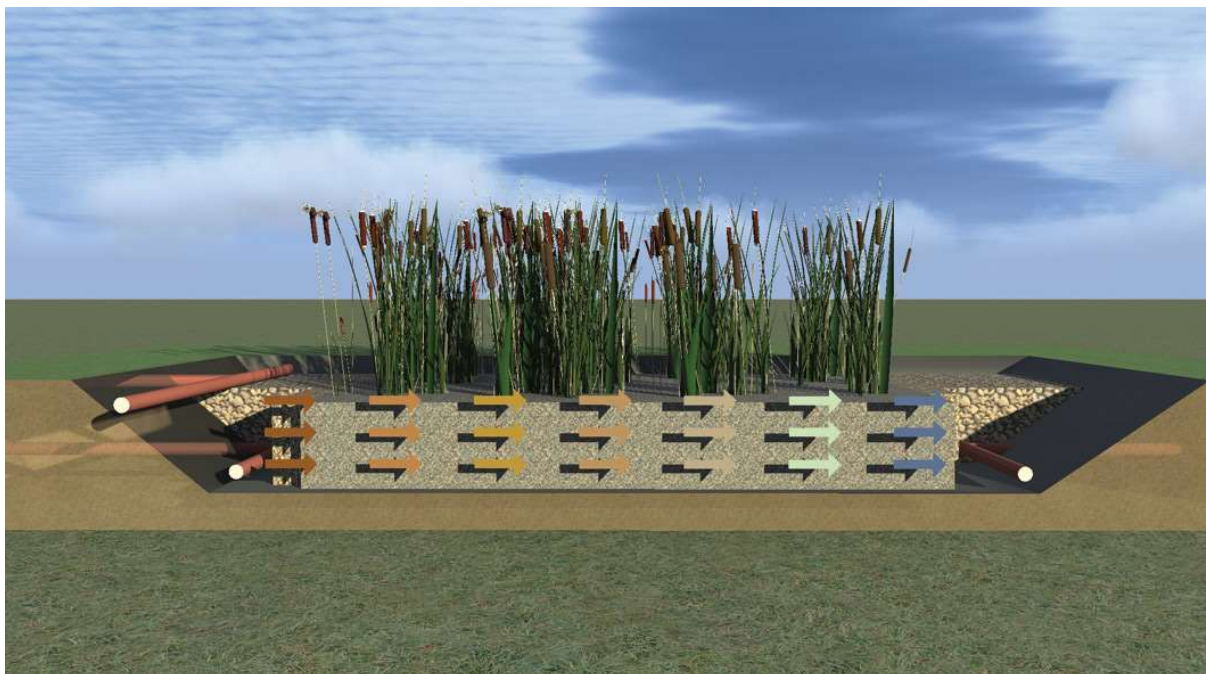
Stručný přehled výhod a nevýhod horizontálních filtrů:

Hlavní výhody:

- dostatečná účinnost odstraňování BSK_5 , $CHSK_{cr}$ a nerozpuštěných látek
- snazší realizace oproti vertikálnímu filtru
- minimální rozdíl mezi hladinou na přítoku a odtoku, což se jeví jako vhodné řešení pro rovinnaté terény (není potřeba připojení elektrické energie)

Hlavní nevýhody:

- nízká účinnost odstraňování amoniakálního dusíku
- při špatném návrhu mechanického předčištění dochází k postupnému ucpávání filtračního pole
- bez potřebných úprav či zařazení dalších stupňů čištění může docházet k silnému zápachu a tvorbě bioplynu
- oproti vertikálním filtrům je vyžadována větší plocha



Obrázek 14: Horizontální filtr s vegetací [1]

Vertikální filtry s vegetací

Čistírny s vertikálním průtokem nebyly původně navrženy jako samostatný stupeň čištění, nýbrž byly určeny k umístění před horizontální filtr jako fáze sloužící k předčištění. Hlavní princip této varianty spočívá v přerušovaném dávkování vody na povrch filtračního pole ve vertikálním směru [7]. V západní Evropě se vertikálně protékané filtry využívají výlučně jako hlavní stupeň čištění [26]. Do popředí se začaly dostávat v 90. letech především kvůli požadavkům odstraňování amoniakálního dusíku. Na předních příčkách ve využívání této technologie se nacházely země jako Rakousko, Dánsko či Německo [4]. Vertikální filtry dokážou velmi dobře odstraňovat organické znečištění, nerozpuštěné látky a především amoniak. Ten je ale bohužel vzhledem k přítomnosti kyslíku ve filtračním loži pouze oxidován na dusičnany [7]. Tento problém se řeší vhodným doplněním o horizontální filtr, či využitím dvoustupňového systému, jenž bude popsán níže.

Principiálně se jedná o mělkou jámu odizolovanou od podloží, vyplněnou filtračním materiálem s potřebným trubním systémem a mokřadní vegetací. Samotné rostliny mají v čistírenském procesu pouze doplňkovou funkci [2]. Předčištěná odpadní voda je dopravována na povrch filtru v přerušovaných dávkách a dochází k rovnoměrnému rozložení po celé ploše filtru. Následně voda protéká samotným substrátem a ve spodní části filtračního lože se zachytává a odvádí pomocí drenážního potrubí. Díky postupnému dávkování vody dochází k prostupu kyslíku do filtračního lože, díky čemuž může docházet k mikrobiálním procesům vyžadujícím aerobní prostředí [4].

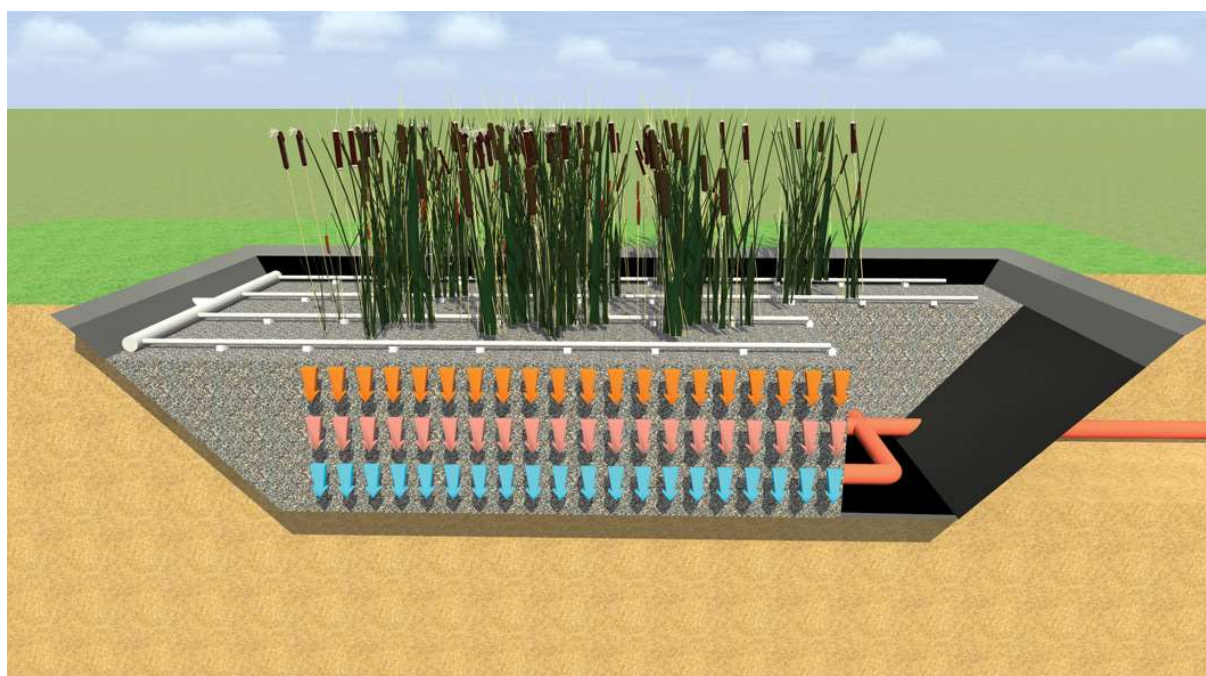
Při dimenzování klasického jednostupňového vertikálního filtru se návrh filtrační plochy odvíjí od koncentrace znečištění $CHSK_{cr}$ [6]. Základní uváděná maximální míra znečištění $CHSK_{Cr}$ bývá o 15-20 g $CHSK/m^2$ za den [2]. Požadovaná plocha filtru se tedy počítá dle množství znečištění $CHSK$ na přítoku ku předpokládané účinnosti filtru v ukazateli $CHSK$. Poté je potřebné navrhnout rozdělovací potrubí tak, aby přiváděná odpadní voda dotékala na filtr maximálně v pěti až deseti dávkách za den [6].

Filtrační skladba u vertikálního filtru bývá tvořena několika různými vrstvami kameniva. Celková výška bývá obvykle v rozmezí 800 až 1100 mm. V případě nevhodného podkladního terénu je nutné vyhotovení spodní kompenzační vrstvy, jejímž úkolem bude ochrana izolační fólie proti možnému poškození [6]. Samotná hlavní filtrační vrstva vytvořena velmi jemnou frakcí písku, díky kterému bude zajištěna vysoká filtrační účinnost. Důležité je zbavení filtračního materiálu prachových částic a navržení dostatečně účinného stupně mechanického předčištění (nedoporučují se například klasické šterbinové nádrže) [13].

Tabulka 5: Složení vrstev u vertikálního filtru s vegetací [13]

Název vrstvy	Výška (mm)	Materiál
Svrchní vrstva	50 až 100 (200 mm v případě nevhodných klimatických podmínek nad 500 m.n.m.)	Praný říční štěrk 4/8P nebo 8/16P mm
Hlavní filtrační vrstva	500 až 600	Praný písek 0/4P ($0,2 \leq d_{10} \leq 0,4$)
Přechodový filtr	50 až 100	Drcený štěrk (praný) 4/8P mm
Drenážní vrstva	200	Drcený štěrk (praný) 8/16P nebo 16/32P mm
Těsnění	–	Hydroizolace (PVC, PE, guma) 1,5 mm krytá oboustranně geotextilií 500 g/m ²
Kompenzační vrstva (v případě nutnosti)	0 až 50	Písek

Nezbytným prvkem pro dokonalé čištění odpadních vod za pomoci vertikálního filtru je správné navržení rozdělovacího potrubí v souvislosti s pulzním vypouštěním. Jako samotný materiál potrubí se používá PP určené pro vnitřní kanalizace. Nejčastěji využívané dimenze jsou v případě přívodního potrubí DN 110 a u rozdělovacího potrubí DN (40-50). Pro zajištění dokonalého rozprostření odpadní vody po celé ploše systému je nezbytné přesné vodorovné uložení. Vyjma drenážního potrubí se v tomto případě celý trubní systém nachází nad povrchem filtru a je doporučeno jeho podložení například betonovou dlažbou. Rozdělovací potrubí bývá vyhotoveno převážně ve vzdálenosti 60 až 80 cm. Ve spodní části jsou vyvrtány otvory o průměru 5 mm, pomocí kterých bude odpadní voda vypouštěna na plochu filtru [6].



Obrázek 15: Vertikální filtr s vegetací [1]

Stručný přehled výhod a nevýhod vertikálních filtrů:

Hlavní výhody:

- oproti horizontálním filtrům zde dochází k odstraňování amoniakálního dusíku
- zajištění nízké koncentrace parametru $CHSK_{cr}$ na odtoku z čistírny
- má menší plošné nároky než horizontální filtr
- vyčištěná odpadní voda je průzračná a nezapáchající

Hlavní nevýhody:

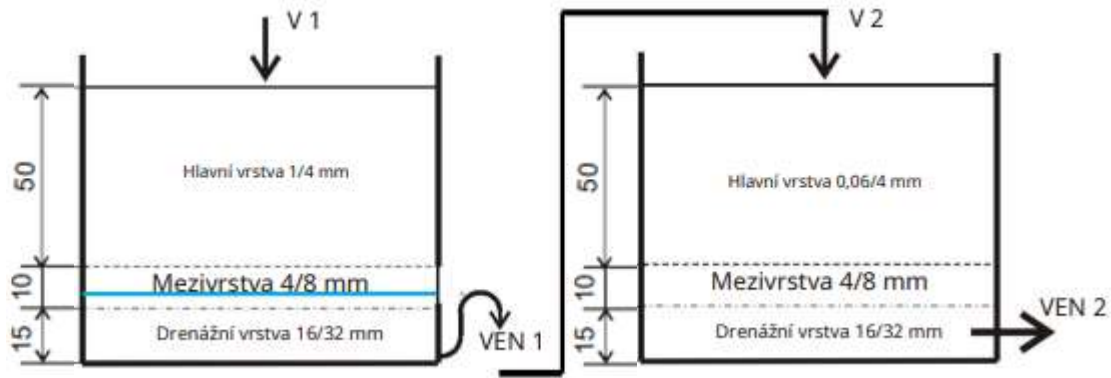
- složitější návrh distribučního potrubí a potřeba více vrstev filtračního materiálu
- v zimních měsících menší účinnost při odstraňování amoniakálního dusíku
- při špatně naddimenzovaném mechanickém předčištění riziko kolmatace
- potřeba vhodných sklonitostních podmínek (v opačném případě nutnost využití elektrické energie pro distribuci vody)

Dvoustupňový systém vertikálních filtrů

Jedná se o systém využívaný především v Rakousku. Samotný návrh vychází ze stejného principu jako klasický jednostupňový systém s určitou modifikací.

Dvoustupňový systém je složen ze dvou samostatně vyhotovených vertikálních filtrů. Jedním z rozdílů mezi prvním a druhým navrženým stupněm je rozdílné využití materiálů tvořících hlavní filtrační vrstvu. U filtru prvního stupně se využívá zrnitost 1 až 4 mm z důvodu, že nedojde k úplné mineralizaci organické hmoty a tím jí zůstane dostatek pro proces denitrifikace. Zvýšená hydraulická retenční doba díky nasycené drenážní vrstvě v prvním stupni prodlouží dobu kontaktu mezi denitrifikačními mikroorganismy a daným médiem. Druhý stupeň má za úkol zajištění plné nitrifikace. Další výhodou tohoto systému je snížení specifické potřeby plochy na obyvatele. Oproti klasickému jednostupňovému systému, kde potřeba mnohdy uvažovat až 4 m² na osobu, se zde potřeba snižuje na 1 m² na osobu pro jednu etapu, celkem tedy 2 m². Samotná plocha se rovněž odvíjí od organického zatížení. Zde se dostáváme na odstraňování násobně většího $CHSK/m^2$ za den oproti klasickým 20 g $CHSK/m^2$ za den [29].

Na obrázku je znázorněno vzájemné zapojení obou stupňů vertikálních filtrů. Z konstrukčního hlediska je potřebné vyhotovení filtru tak, aby mohlo dojít k zatopení drenážní vrstvy prvního filtru, čehož bude docíleno za pomoci vhodně navrženého potrubí na principu spojených nádob.



Obrázek 16: Princip vyhotovení dvoustupňového vertikálního systému [29]

Pulzní skrápění

Díky systému pulzního skrápění dochází k pravidelnému prokysličení filtrační lože vertikálního filtru [4]. Při správném provedení a řádném provozu bude zajištěno takové množství kyslíku, že z vody bude v dostatečné míře odstraňováno CHSK, BSK₅, či amoniakální dusík [6].

Samotný princip spočívá v tom, že před filtračním polem dojde k akumulaci odpadní vody v šachtě. Poté co se šachta naplní po maximální možnou hladinu limitovanou horním plovákem, dojde k otevření uzávěru a naakumulovaná voda se v co nejkratším časovém intervalu nadistribuuje na vertikální filtr za pomoci rozdělovacího potrubí [6]. Při návrhu je nutné dbát, aby množství odpadních vody nepřesáhlo 150 l/m²/d. Při výpočtu jednotlivých komor je také důležité zajištění zásobovací plochy potrubí jednoho filtračního pole do maximální velikosti 100 až 150 m². Při větších plochách by hrozilo riziko nerovnoměrného rozložení vody na celé ploše filtru [2].



Obrázek 17: Pulzní vypouštěč [30]

Francouzský mokřad s vertikálním tokem

Jak již sám název napovídá, tato technologie byla vymyšlena ve Francii, ve které se nachází již více než 4000 těchto systémů. Většina z nich je vybudována pro menší velikosti do 1000 EO. V současné době se stále častěji dostává za hranice této země. Například největší vybudovaný francouzských mokřad se nachází v Moldavsku s velikostí pro 20000 EO [4].

Celý systém se skládá ze dvou po sobě následujících stupňů s vertikálním prouděním doprovázených mokřadní vegetací (rákosem obecným). Před samotným nátokem na filtrační pole je nutné odstranění hrubých částic (20 až 30 mm) [31]. To bude docíleno osazením česlí. Jiné objekty určené k mechanickému předčištění, jako jsou například septiky či usazovací nádrže, se v tomto případě nepoužívají [4]. Pro správný provoz tohoto typu filtru je důležité střídavé dávkování odpadní vody. V praxi to znamená, že mezitím co je jeden filtr provozován, u ostatních filtrů dochází k odpočinku. Střídavé dávkování napomáhá růstu přichycené biomasy vznikající na povrchu filtračního média, díky kterému dochází k udržování aerobních podmínek uvnitř filtračního lože, jenž napomáhá mineralizaci organické hmoty shromážděné na povrchu prvního filtru. Filtry na prvním stupni bývají většinou v provozu tři a půl dne a následně jsou uvolněny k regeneraci na dobu sedmi dnů. U druhého stupně bývá doba provozu stejná, avšak regenerační čas je zkrácen na tři a půl dne [4].

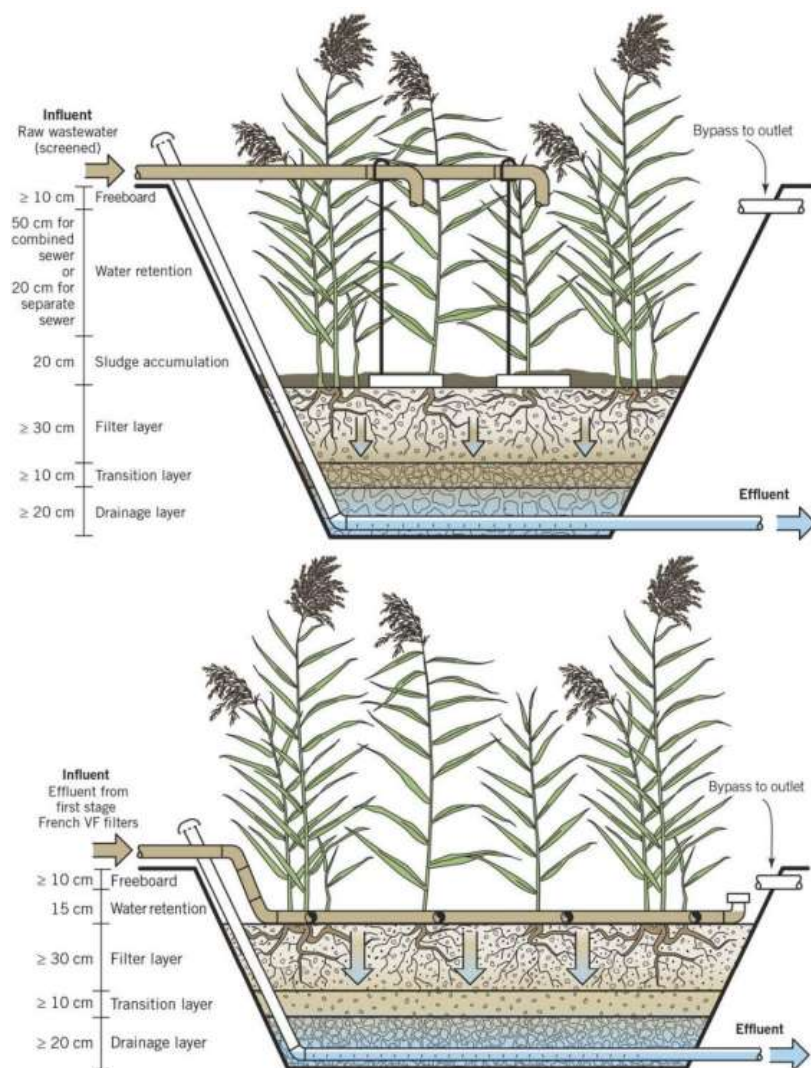


Obrázek 18: Vlevo první stupeň, vpravo druhý stupeň Francouzského systému [4]

V běžných francouzských podmínkách je požadavek na specifickou plochu na osobu pro první stupeň čištění $1,2 \text{ m}^2$ a pro druhý stupeň $0,8 \text{ m}^2$. Přírůstek kalu lze očekávat $1,5 \text{ cm}$ za rok, který musí být odstraněn ve chvíli, kdy dosáhne 20 cm (10 až 15 let) [29].

Z technického hlediska se rovněž jedná o vyhloubenou jámu odizolovanou od okolního terénu hydroizolační fólií chráněnou geotextilií. V prvním stupni je hlavní filtrační vrstva tvořena štěrkem s frakcí 2 až 6 mm. Při zvolení menší frakce by docházelo k ucpávání, a naopak hrubší zrna by bránila tvorbě vrstvy organické usazeniny. Následuje přechodná mezivrstva (štěrk 5 až 15 mm) a drenážní vrstva tvořená hrubým štěrkem (20 až 60 mm). Hlavní filtrační vrstva

druhého stupně je tvořena pískem o různých frakcích. Distribuce vody je v první fázi zajištěna větším potrubím (pro menší systémy DN > 110 mm, u větších systémů DN 160 až 200 mm), u kterého je nutné vyzdvihnout nad samotný povrch filtru. U druhého stupně se využívají menší trubky (DN > 110 mm) s vyvrtnými otvory o průměru větším než 8 mm ukládané přímo na povrch filtru [4].



Obrázek 19: Ukázka různého vyhotovení trubních rozvodů u prvního (horní) a druhého (dolní) stupně francouzského systému [4]

Stabilizační nádrže

Mezi přírodní způsoby čištění vod se řadí také stabilizační nádrže [3]. Čisticích efektů dosahují za pomoci fyzikálních, chemických či biologických procesů, které probíhají ve vodním prostředí za přítomnosti vodní a mokřadní biocenózy (bakterie, fytoplankton, zooplankton) a vyšší vegetace či ostatních organismů [11]. Jedná se o malé účelové vodní nádrže, které slouží jednak k úpravě vlastností vody (čištění), dočišťování vod, či například krátkodobé akumulaci

vody [3]. U přírodních čistíren se stabilizační nádrže využívají, při vysokých nárocích na kvalitu vyčištěné odpadní vody. Nejčastěji dochází k zapojení za horizontální filtry s účelem snížení koncentrace amoniaku, či $CHSK_{cr}$, nebo při potřebě vyrovnání průtoků [6].

Základní dělení stabilizačních nádrží za účelem úpravy a stabilizace fyzikálních, chemických a biologických vlastností:

- Aerobní biologické nádrže
 - Nízkozatěžované (čištění znečištěných odpadních vod)
 - Vysokozatěžované (čištění splaškových vod)
 - Provzdušňované (intenzivní čištění odpadních vod)
 - Dočišťovací (dočištění čištěných odpadních vod)
- Fakultativní
 - Přechnodné (přechod anaerobního a aerobního procesu)
- Anaerobní biologické nádrže
 - Průtočné (anaerobní čištění odpadních vod)
 - Sedimentační (prodloužená sedimentace odpadních vod)
 - Akumulační (čištění vod kampaňových producentů) [3].

Mezi hlavní výhody stabilizačních nádrží patří především účinné odstraňování BSK, $CHSK$, nerozpuštěných látek, nebo bakteriálního znečištění. Ze stavebního či technologického hlediska se jedná o jednoduchý stavební prvek, pro který není nutné připojení elektrické energie [2]. Další nespornou výhodou je možnost krátkodobého či dlouhodobého odstavení provozu, nebo odolnost proti krátkodobému hydraulickému či koncentračnímu přetížení [11]. Nevýhodou stabilizačních nádrží jsou větší plošné nároky, nižší účinnost během zimního období či naopak problémy s eutrofizací během období letního [2].



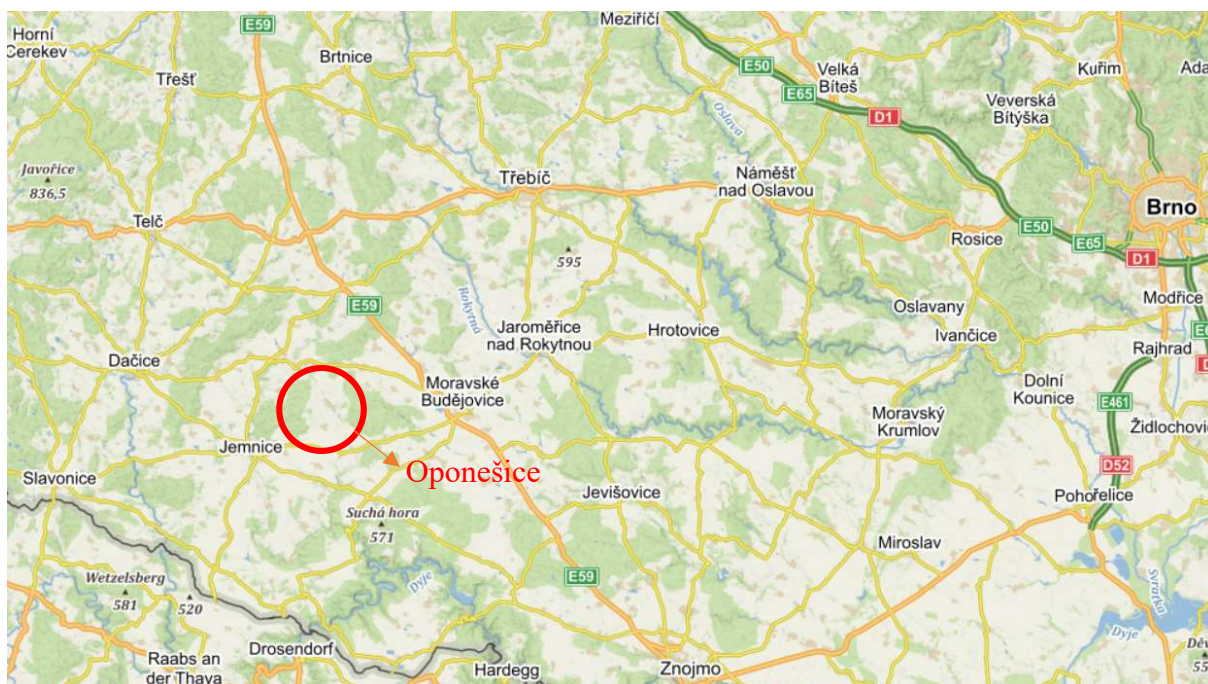
Obrázek 20: Stabilizační nádrž [2]

3 PŘÍRODNÍ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD PRO OBEC OPONEŠICE

3.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O OBCI OPONEŠICE

Obec Oponešice se nachází v jižní části kraje Vysočina v okrese Třebíč. První písemná zmínka o Oponešicích je datována do roku 1351, přičemž ves v té době patřila Vilhemovi z Upolněšic [32].

Obec s pověřeným obecním úřadem:	Jemnice
Obec s rozšířenou působností:	Moravské Budějovice
Katastrální plocha (ha):	517
Nadmořská výška (m n.m.):	488
Číslo obce PRVKUK:	273
Kód obce PRVKUK:	CZ063.3710.6106.273
Kód obce:	591327



Obrázek 21: Poloha obce Oponešice [33]

Obec Oponešice se nachází západně od města Moravské Budějovice, ve vzdálenosti cca 12 km a 7 km severovýchodně od města Jemnice.

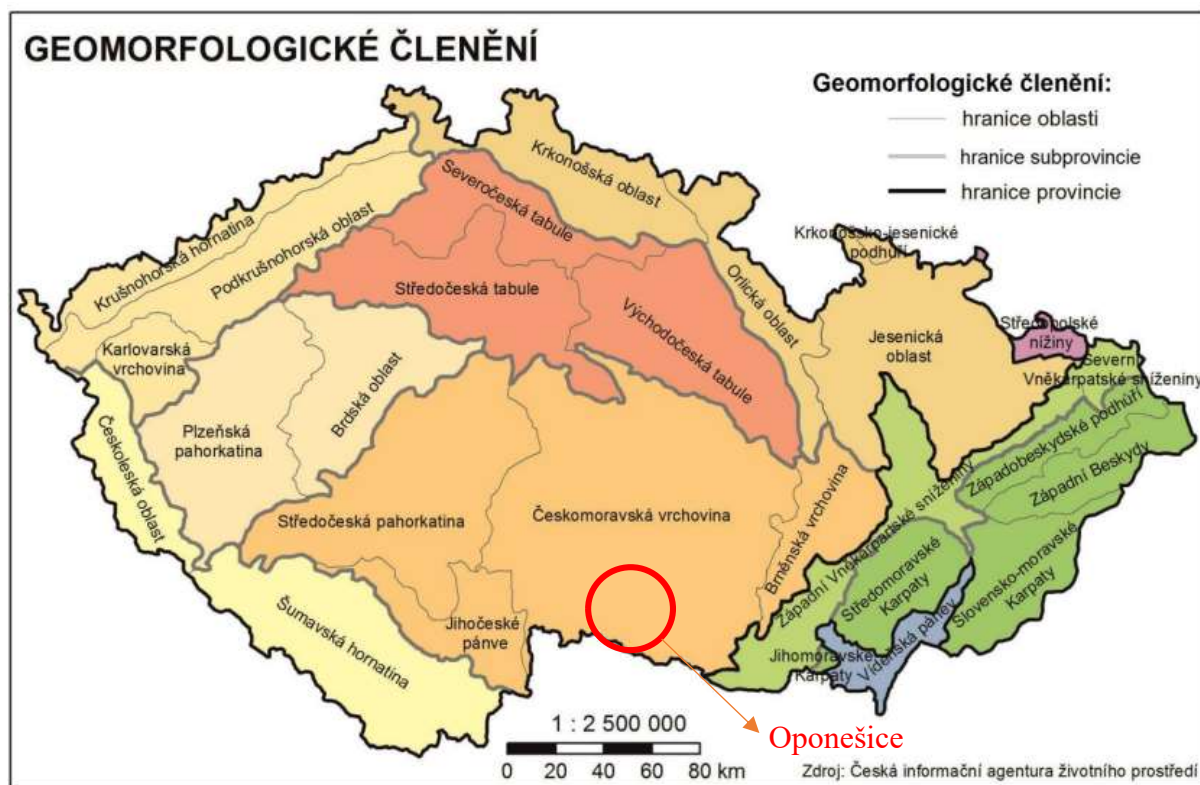


Obrázek 22: Obec Oponěšice (okres Třebíč) [34]

Geomorfologické členění a pedologické poměry

Z geomorfologického pohledu se obec Oponěšice řadí následovně:

<u>System:</u>	Hercynský	<u>Podsoustava:</u>	Českomoravská vrchovina
<u>Subsystem:</u>	Hercynské pohoří	<u>Celek:</u>	Jevišovická pahorkatina
<u>Provincie:</u>	Česká vysočina	<u>Podcelek:</u>	Jemnická kotlina
<u>Soustava:</u>	Česko-moravská soustava	<u>Okrsek:</u>	Jemnická kotlina [35].



Obrázek 23: Mapa geomorfologického členění

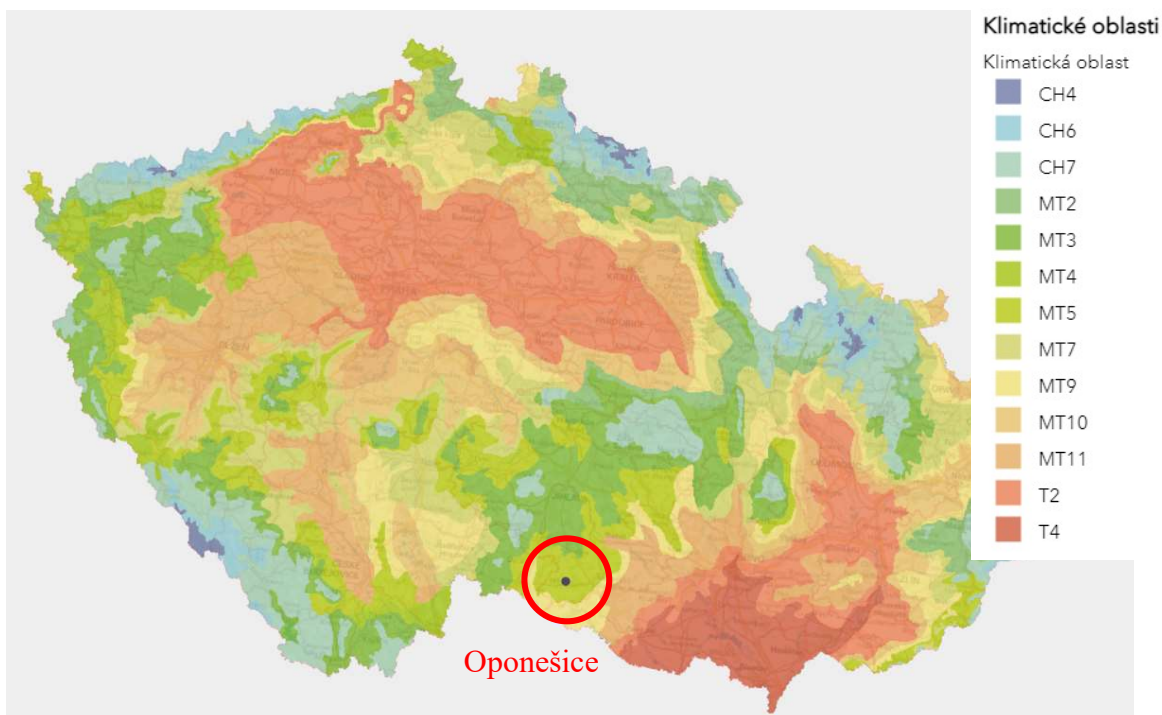
Z půdního hlediska se v Oponěšicích vyskytují převážně: hnědozem slabě oglejovaná, glej fluvický, či kambizem modální [36]. V části obce, kde je navržena přírodní čistírna odpadních vod, se vyskytují především: hnědozemě a pseudogleje převážně na rovině nebo úplné rovině se všesměrnou expozicí a celkovým obsahem skeletu do 10 %. Půdy hluboké v mírně teplém, mírně vlhkém klimatickém regionu a málo produkční [37].

Klimatické podmínky

Dle klasifikace pana Quitta se Oponěšice řadí do mírně teplé klimatické oblasti, konkrétně spadají pod jednotku MT5. Znamená to tedy, že jaro je mírné až dlouhé, léto je mírné až mírně chladné, suché až mírně suché, až krátké, podzim je mírný až dlouhý, zima je mírně chladná, suchá až mírně suchá.

Konkrétní údaje pro danou oblast:

Počet letních dní:	30–40	dní	
Počet dní s prům. teplotou 10 °C a více:	140–160	dní	
Počet dní s mrazem:	130–140	dní	
Počet ledových dní:	40–50	dní	
Prům. lednová teplota:	-4 až -5	°C	
Prům. červencová teplota:	16–17	°C	
Prům. dubnová teplota:	6–7	°C	
Prům. říjnová teplota:	6–7	°C	
Prům. počet dní se srážkami 1 mm a více:	100–120	dní	
Suma srážek ve vegetačním období:	350–450	mm	
Suma srážek v zimním období:	250–300	mm	
Suma srážek celkem:	600–750	mm	
Počet dní se sněhovou pokrývkou:	60–100	dní	
Počet zatažených dní:	120–150	dní	
Počet jasných dní:	50–60	dní	[38]



Obrázek 24: Mapa klimatických oblastí [35]

Hydrologické poměry

Oponešicemi protékají 2 vodní toky. První bezejmenný tok (ID toku podle DIBAVOD/HEIS ČR: 411610000600) o celkové délce 2,095 km se na KÚ obce Oponešice vlévá do potoku Lučná (ID toku podle DIBAVOD/HEIS ČR: 411610000100) o celkové délce 3,229 km jejímž recipientem je Bihanka [39]. Bihanka pramení na severozápadě kousek za územím obce Budkov v nadmořské výšce 564 m n. m. Od pramene teče potok východním směrem do intravilánu obce Budkov a ústí do řeky Želetavky. Vodní toky jsou ve správě Povodí Moravy, s.p. [40]. V Oponešicích se rovněž nachází 2 menší vodní nádrže.

Hydrologické povodí:

Hydrologická povodí 1. řádu

Název povodí:	povodí Dunaje
Číslo hydrologického povodí 1.řádu:	4
Plocha povodí:	26 625,6 km ²

Hydrologická povodí 2.řádu

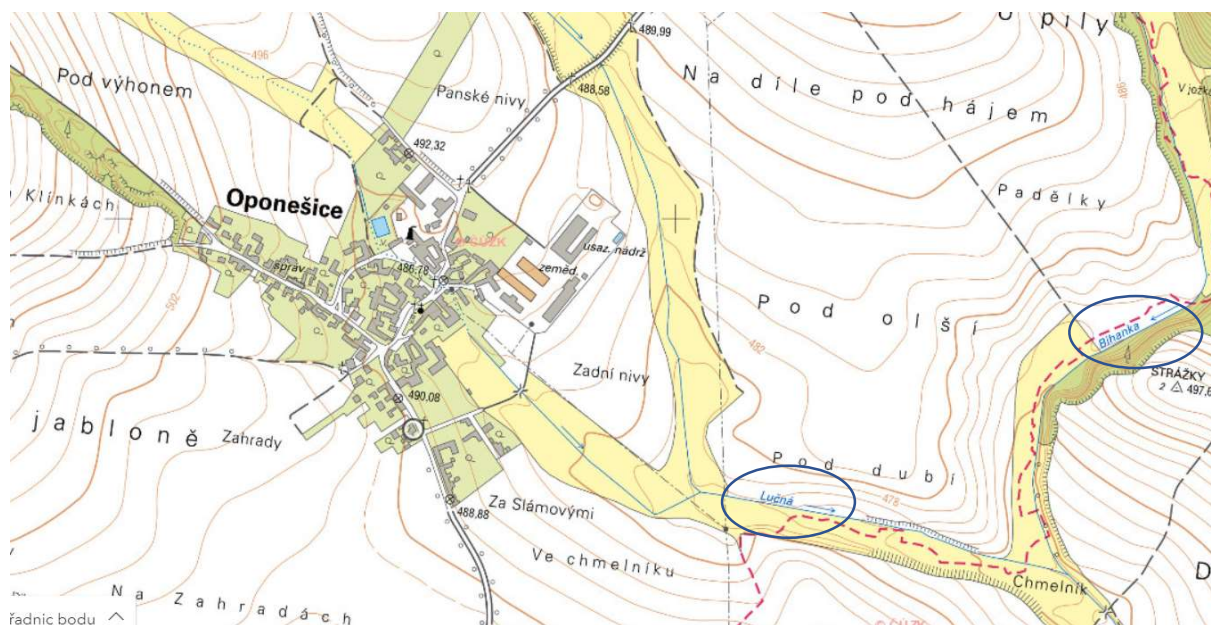
Číslo hydrologického pořadí povodí 2.řádu:	4-14
Název povodí:	Dyje po Svatku
Plocha povodí:	4 606,91 km ²

Hydrologická povodí 3.řádu

Číslo hydrologického pořadí povodí 3.řádu: 4-14-02
Název povodí: Dyje od soutoku Moravské a Německé
Dyje po Jevišovku
Plocha povodí: 2 187,96 km²

Hydrologická povodí 4.řádu

Hydrologické pořadí dílčího povodí 4.řádu: 4-14-02-0420-0-00
Název hlavního vodního toku v daném povodí: Lučná
Plocha dílčího povodí: 4,78 km² [39].



Obrázek 25: Toky v obci Oponěšice [39]

Katastrální území a využití pozemků

Oponěšice se nachází mezi dvěma katastrálními územími. Jedná se o k.ú. Budkov a k.ú. Třebelovice.



Obrázek 26: Přehledová katastrální mapa katastrálního území [41]

Území obce je rovinatého charakteru o ploše 517 ha. Převážná část území je využívána jako orná půda. Nezanedbatelnou část tvoří také lesní a travní plochy.

Tabulka 6: Druhy a plochy pozemků [41]

Druh pozemku	Způsob využití	Počet parcel	Výměra [m²]
orná půda		1147	4119703
zahrada		147	92398
ovoc. sad		1	16137
travní p.	mez, stráž	2	937
travní p.		298	427787
lesní poz		35	206368
vodní pl.	nádrž přírodní	1	327
vodní pl.	nádrž umělá	1	8297
vodní pl.	tok přirozený	4	4073
vodní pl.	tok umělý	140	20621
zast. pl.	zbořeniště	6	1536
zast. pl.		133	70221
ostat.pl.	jiná plocha	30	11665
ostat.pl.	manipulační pl.	45	19945
ostat.pl.	neplodná půda	34	60474
ostat.pl.	ostat. komunikace	155	99181
ostat.pl.	sport. a rekr.pl.	3	11506
Celkem KN		2182	5171176

Počet obyvatel

V obci Oponešice dle ČSÚ bydlí v současné době 179 obyvatel, přičemž se jedná o 97 mužů a 82 žen [34]. Počet budov s č.p. se obcí nachází 80 [1].

Tabulka 7: Demografický vývoj (prognóza) [42]

Bydlící obyvatelé	Počet bydlících obyvatel						
	2002	2005	2010	2015	2020	2025	2030
trvale bydlící	171	171	171	182	174	166	157
přechodně bydlící	20	20	20	20	20	20	20
celkem	191	191	191	202	194	186	177

Vybavenost obce

V obci se nachází obecní úřad, veřejná knihovna, obchod s potravinami nebo hasičská zbrojnice. Pro sportovní a dětské využití jsou vybudovány dvě hřiště. Školská zařízení či například domov pro seniory se v obci nenachází [34].

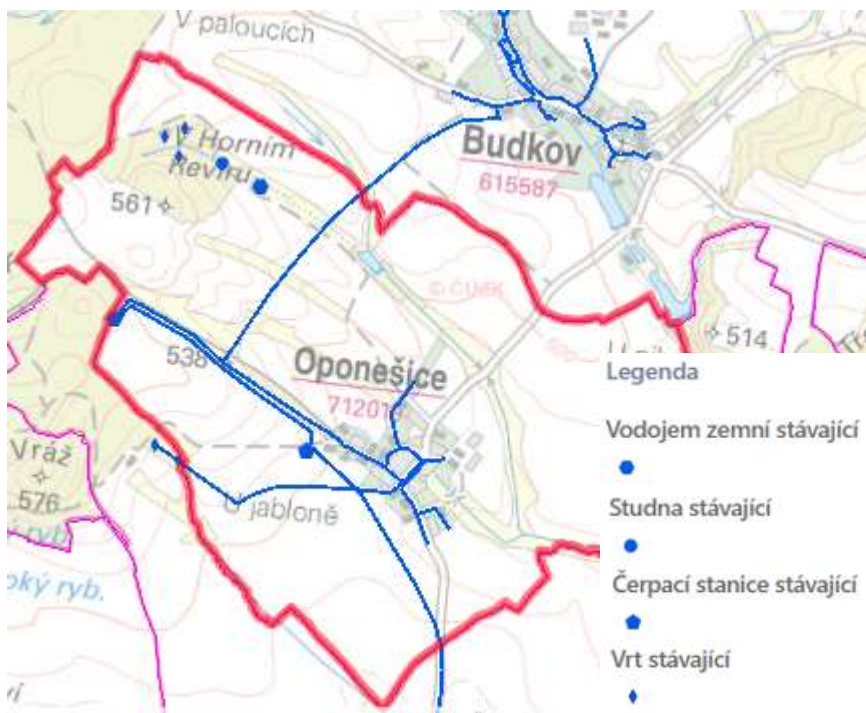
Obec rovněž disponuje nemovitými kulturními památkami (tvrz, kaple sv. Jana a Pavla, výklenkové kapličky, boží muka, socha sv. Jana Nepomuckého) [43].

Stávající stav vodovodu

V Oponešicích je vybudovaný veřejný vodovod, který je zásobovaný vodou z místních zdrojů. Do rozvodné sítě se voda dopravuje gravitačním systémem. Do roku 2030 se předpokládá, že vzhledem k technickému stavu určitých částí vodovodní sítě dojde k rekonstrukci (včetně souvisejících objektů). Rovněž je plánována dostavba vodovodní sítě v lokalitách, kde se v současné době vodovod nenachází [42]; [43].

Tabulka 8: Počet obyvatel připojených na vodovodní síť (prognóza) [42]

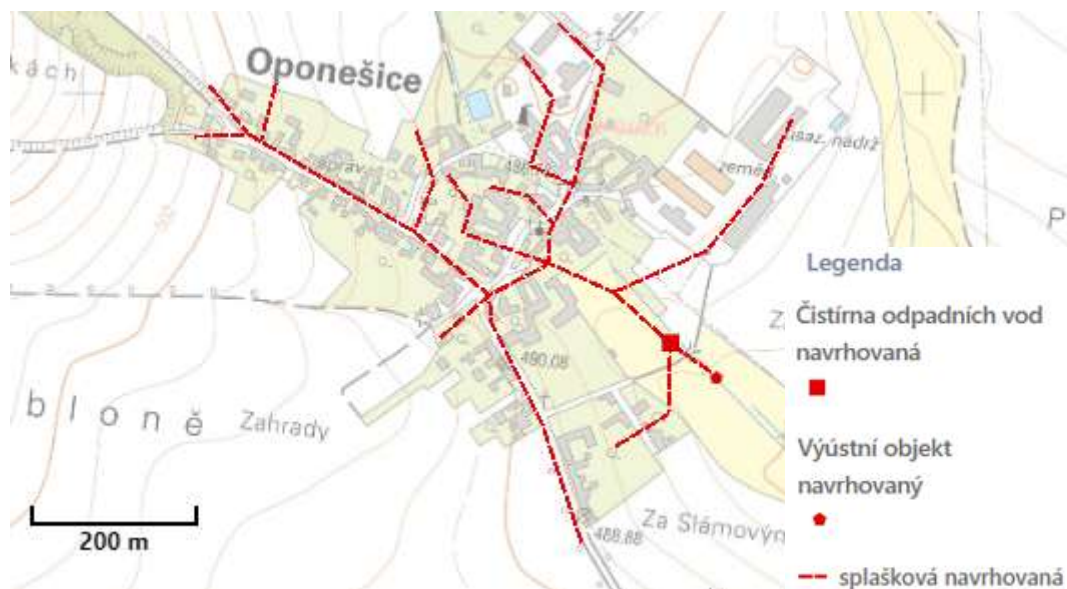
Počet připojených obyvatel na vodovodní síť						
2002	2005	2010	2015	2020	2025	2030
191	191	190	182	174	166	157



Obrázek 27: Mapa stávajícího vodovodu v obci Oponěšice [42]

Stávající stav kanalizace a ČOV

V současné době v obci není vybudována veřejná kanalizační síť ani ČOV. Zpracovávání odpadních vod je řešeno individuálně (jímky, septiky). Do roku 2030 je plánováno vybudování kanalizace splaškové a ČOV [42]; [43].



Obrázek 28: Mapa navrhované splaškové kanalizace v obci Oponěšice [42]

3.2 NÁVRH PŘÍRODNÍ ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD PRO OBEC OPONEŠICE

Pro obec Oponěšice, jenž oficiálně nemá v současné době vybudovanou ČOV se i díky nízkému počtu obyvatel (uvažováno 200 EO) jeví jako vhodná varianta přírodní čistírny odpadních vod. Dle územního plánu, který koresponduje s podklady PRVKUK (CZ063.3710.6106.273) se v obci nenachází ani veřejná kanalizační síť (řešeno individuální likvidací odpadních vod) a v budoucnu je plánováno vybudování splaškové kanalizace. Při prohlídce současného stavu a jednání se zástupci obce, byla tato varianta pozměněna. Ve skutečnosti je v obci ve značné míře vybudováno zatrubnění potoka, do kterého jsou zaústěny mechanicky předčištěné odpadní vody ze septiků a dešťové vody v obci. U samotného potoka došlo k takovým hydrologickým změnám, že v současné době zatrubněnou částí potoka protékají pouze výše uvedené odpadní vody a případně srážkové vody. Přesto, že je vodní tok evidován jako bezejmenný tok, IDVT 10200768), průtok vodním korytem nastává teprve pod obcí. Pokud by se oddělily veškeré odpadní vody do nového kanalizačního systému, byl by vodní tok pod obcí suchým říčním korytem – obdobně jako je tomu v části nad obcí.

V případě že dojde k rekolaudaci stávajícího zatrubněného potoka na jednotnou kanalizaci, což by defacto více odpovídalo skutečnému stavu, byla by část pod obcí zásobována vodou pouze v situaci, kdy nově vybudovaná odlehčovací komora pouští přebytečné (odlehčené) vody do bezejmenného toku. V takové situaci by byl vodní tok zatížen vysokým množstvím znečištění, což si uvědomuje i obec Oponěšice. Proto se nabízí řešení, které by spočívalo v částečné revitalizaci napřímeného vodního toku a současně by došlo k záměrnému kaskádovitému řešení příčného profilu toku tak, aby se zajistilo prodloužení doby zdržení, doprovázené sedimentací a podporou samočisticích procesů. V důsledku by nemusela jednotná kanalizace negativně ovlivňovat recipient, resp. situace by byla opačná – kvalita vody ve vodním toku by naznačila kombinací nově budované ČOV a revitalizace toku značného zlepšení.

Vzhledem k dobrému stavu již zatrubněného potoka (případně a neoficiálně jednotné kanalizace), plánuje obec ve svém zájmu provést dostavbu v částech obce, kde není kanalizace vybudována. Současně by se tedy zatrubněný potok rekolaudoval na jednotnou kanalizaci s novými přípojnými toky splaškové kanalizace. Při návrhu nové ČOV bylo s tímto úmyslem uvažováno. Bude ovšem nutné provedení změn v územním plánu a rovněž v plánech vodovodů a kanalizací kraje vysočina (PRVKUK).

Areál přírodní čistírny odpadních vod je i dle požadavků zástupců obce umístěn v jihovýchodní části obce Oponěšice. Dle morfologických poměrů (gravitační svedení odpadních vod na PČOV) a blízkosti vodního toku se umístění jeví jako vhodné, jelikož se nachází pod obcí. Dle územního plánu se jedná o zastavitelné plochy technické infrastruktury a plochy smíšené

nezastavěného území. Většina dotčených pozemků se nachází v soukromém vlastnictví a bude potřebné odkoupení těchto parcel.

Výpis dotčených pozemků:

- p.č.70/1 katastrální území Oponěšice [712019]
- p.č.77/92 katastrální území Oponěšice [712019]
- p.č.77/91 katastrální území Oponěšice [712019]
- p.č.77/90 katastrální území Oponěšice [712019]
- p.č.77/89 katastrální území Oponěšice [712019]
- p.č.77/88 katastrální území Oponěšice [712019]

Větší zabrané území je především z důvodu, že přes parcely: p.č.77/91, p.č.77/90, p.č.77/89 vede vysokotlaký plynovod, nebo na nich zasahuje jeho ochranné pásmo ve vzdálenosti 20 m.

Navržené umístění jednotlivých objektů je rovněž z důvodu dodržení ochranného pásma od nejbližší obytné zástavby. Ochranné pásmo od jednotlivých objektů je 50 m. Rovněž bylo dodrženo 7 m. ochranné pásmo od vodního toku.



Obrázek 29: Umístění KČOV a dotčené pozemky v obci Oponěšice

Hlavní snahou bylo navržení systému s omezením využívání elektrické energie. Při této koncepci bylo hlavním problémem rovinatost terénu. Z tohoto důvodu budou součástí návrhu i čerpací stanice umístěné jednak za anaerobním separátorem, kde bude následně přiváděna voda na filtrační pole, ale také mezi prvním a druhým vertikálním filtrem. Jedinou variantou pro celkové vynechání elektrické energie by bylo provedení velkého množství výkopových prací, což by bylo obtížné nejen po technické, ale především také finanční stránce. Původním plánem bylo připojení sondy měrného objektu a čerpadla určeného k dávkování srážedla

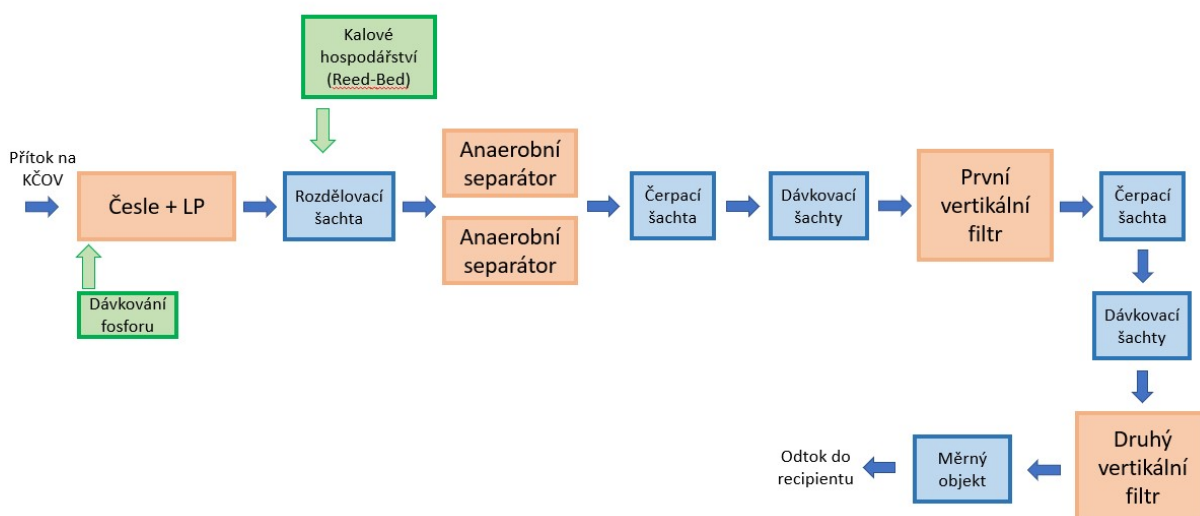
fosforu na tzv. ostrovní systém (využití solárních panelů). Jelikož ale bude zřízena elektrická přípojka potřebná pro přečerpávání vody, nebyla by tato varianta ekonomicky výhodná.

Při návrhu technologie bylo samozřejmostí dosažení co nejlepších výsledků při čištění odpadní vody. Nejlepší alternativou se pro obec Oponěšice jeví využití tzv. Rakouského systému. Tedy zapojení dvou vertikálních filtrů za sebou doplněných o mechanické předčištění. Tento systém je v současné době, při dodržování správné údržby a postupů, považován za jeden z neúčinnějších systémů PČOV.

Jelikož je uvažováno s dostavbou jednotné kanalizace, bude také navržena odlehčovací komora a dešťová zdrž, které budou podrobně navrženy v rámci samotné dostavby kanalizace v obci Oponěšice a dalších stupních projektové dokumentace. V rámci diplomové práce nebudou tyto objekty detailně řešeny a práce se bude zabývat pouze objekty na samotné přírodní čistírně.

Přírodní čistírna odpadních vod pro obec Oponěšice se bude skládat z následujících objektů:

- Sdružený objekt česlí a lapáku písku
- Systém pro dávkování fosforu
- Rozdělovací šachta
- Anaerobní separátor
- Čerpací šachty
- První vertikální filtr s vegetací
- Dávkovací šachty
- Druhý vertikální filtr s vegetací
- Měrný objekt
- Kalové hospodářství (systém Reed-Bed)



Obrázek 30: Celkové schéma přírodní čistírny odpadních vod pro obec Oponěšice

3.2.1 Stanovení průtoků a koncentrací znečištění na PČOV

Nejprve byl stanoven počet ekvivalentních obyvatel na hodnotu 200 EO. I když je do budoucna prognóza spíše pesimistická a čeká se pokles obyvatelstva (v současnosti 179 trvale bydlících a 20 přechodně bydlících), byla tato hodnota raději lehce předimenzována (např. i pro možný rozvoj průmyslu, či zemědělství v obci).

Stanovení průtoků odpadních vod

Tabulka 9: Stanovení specifické potřeby obyvatelstva

Počet EO	200	os
Specifická potřeba obyvatelstva q_{sp}	120	l/os/den
	0.00139	l/os/s

Stanovení součinitelů denní a hodinové nerovnoměrnosti dle ČSN 75 6402 [13].

Tabulka 10: Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti

Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti k_h	5.15	-
---	------	---

Počet připojených obyvatel	30	40	50	75	100	300	400	500
Součinitel max. hod. nerovnoměrnosti k_h	7.2	6.9	6.7	6.3	5.9	4.4	3.5	2.6

Tabulka 11: Součinitel maximální denní nerovnoměrnosti

Součinitel denní nerovnoměrnosti k_d	1.50	-
--	------	---

EO	< 1.000	1.000-5.000	5.000-20.000	20.000-100.000	> 100.000
k_d	1.5	1.4	1.35	1.25	individ.

Průtoky od obyvatelstva (spláskové vody)

Průměrný denní přítok odpadních vod spláskových

$Q_{24,m}$	24.00 m ³ /den	1.00 m ³ /hod	0.28 l/s
------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------

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

Balastní vody

Q_B	12.00 m ³ /den	0.50 m ³ /hod	0.14 l/s
-------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------

$$Q_B = 0,50 \cdot (Q_{24,m} + Q_{24,p})$$

Navržená hodnota balastních vod vzhledem k technickému stavu současné části kanalizace je 50 %.

Průměrný denní přítok odpadních vod

Q_{24}	36.00 m ³ /den	1.50 m ³ /hod	0.42 l/s
----------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_{24,p} + Q_{bal}$$

Maximální denní přítok odpadních vod

Q_{dmax}	48.00 m ³ /den	2.00 m ³ /hod	0.56 l/s
------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------

$$Q_{dmax} = Q_{24,m} \cdot k_d + Q_{24,p} \cdot k_{d,p} + Q_{bal}$$

Maximální hodinový přítok odpadních vod

Q_{hI}	8.23 m ³ /hod	2.28 l/s
----------	---------------------------------	-----------------

$$Q_{hI} = Q_{24,m} \cdot k_d \cdot k_h + Q_{24,p} \cdot k_{d,p} + Q_{bal}$$

Q_{hII}	2.75 m ³ /hod	0.76 l/s
-----------	---------------------------------	-----------------

$$Q_{hII} = Q_{24,m} \cdot k_d + Q_{24,p} \cdot k_{d,p} \cdot k_h + Q_{bal}$$

Q_h	8.23 m ³ /hod	2.28 l/s
-------	---------------------------------	-----------------

$$Q_h = \max(Q_{hI}; Q_{hII})$$

Dešťové vody

Následující výpočet je odhadem pro určení množství vod srážkových a byl proveden dle tzv. jednotkového hektaru. Přesnější stanovení bude provedeno při samotném návrhu odkanalizování obce, který není součástí diplomové práce.

Odvodňovaná plocha byla stanovena **15,7 ha**.



Obrázek 31: Stanovení odvodňované plochy a jednotkového hektaru

Stanovení součinitele odtoku $\Psi_{\text{prům}} = 0,47$

Tabulka 12: Stanovení ploch v jednotkovém hektaru

Území	Barva	Plocha [ha]	Ψ	Redukovaná plocha [ha]
zpevněné pozemní komunikace	šedá	0.14	0.9	0.12
propustné zpevněné plochy	žlutá	0.31	0.4	0.12
budovy	modrá	0.23	0.9	0.20
zeleň	zelená	0.33	0.05	0.02
	$\Sigma=$	1.00	$\Psi_{\text{prům}}=$	0.47

Jednotkový hektar byl umístěn ve vzorové části obce, kde jsou jednak zpevněné pozemní komunikace, propustné zpevněné plochy, ale také budovy a zatravněné části.



Obrázek 32: Jednotkový hektar

Intenzita deště $q_s = 138 \text{ l/s/ha}$ (15minutový déšť s periodicitou 1)

Tabulka 13: Vydátnosti náhradního blokového deště (podle Ing. J. Trupla)

doba trvání deště [min]	vydátnost deště [l/(s.ha)] za dobu t při periodicitě n						
	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.04
5	130.0	193.0	253.0	313.0	397.0	460.0	543.0
10	85.0	132.0	176.0	218.0	277.0	321.0	379.0
15	64.5	102.0	138.0	170.0	216.0	250.0	295.0
20	52.5	84.2	112.0	141.0	178.0	206.0	244.0

Dešťový průtok

Q_d	3641.20 m ³ /hod	1011.44 l/s
-------	------------------------------------	--------------------

$$Q_d = S \cdot \Psi_{prům} \cdot q_s$$

kde: $\Psi_{prům}$ součinitel odtoku dle ČSN 756101 Stokové sítě a kanalizační přípojky
 S plocha odvodňovaného území [ha]
 q_s intenzita směrodatného deště [l/s/ha]

Průtoky za odlehčovací komorou

Mezní průtok

Q_{mez}	16.50 m ³ /hod	4.58 l/s
-----------	----------------------------------	-----------------

m	10
-----	----

$$Q_{mez} = m \cdot Q_{24} = (1 + n) \cdot Q_{24}$$

kde: m násobek ředění bezdeštného průtoku odpadních vod
 Q_{24} průměrný bezdeštný denní průtok odpadních vod

Výpočet byl proveden dle ČSN 75 6262 (Odhledčovací komory) [25].

Výpočet koncentrací znečištění na přítoku

Tabulka 14: Přehledná tabulka s přítoky odpadních vod

Průměrný denní průtok	Q_{24}	36.00	m ³ /den	0.42	l/s
Maximální denní průtok	Q_{dmax}	48.00	m ³ /den	0.56	l/s
Maximální hodinový průtok	Q_h	8.23	m ³ /hod	2.28	l/s

Pro výpočet koncentrací na přítoku byly použity hodnoty specifického znečištění na 1 EO z ČSN 75 6402 [13].

Specifická hodnota znečištění s_o

BSK_5	$CHSK_{Cr}$	NL	N_{celk}	P_{celk}	
60	120	55	11	2.5	g/os/den

Průměrné znečištění od obyvatelstva S_{dpo}

BSK_5	$CHSK_{Cr}$	NL	N_{celk}	P_{celk}	
12	24	11	2.2	0.5	kg/den

$$S_{dpo} = PO \cdot s_o$$

Jelikož se v obci nenachází žádný významný průmyslový, či hospodářský producent je průměrné znečištění od obyvatelstva bráno jako celkové průměrné znečištění, tedy:

$$S_{dp} = S_{dpo}$$

Průměrná koncentrace znečištění na přítoku ČOV c_o

BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N _{celk}	P _{celk}	
0.333	0.667	0.306	0.061	0.014	kg/m ³
333.3	666.7	305.6	61.1	13.9	mg/l

$$c_o = \frac{\sum S_{dp}}{Q_{24}}$$

Hodnoty uvedené výše uvádí znečištění na přítoku na PČOV. Dle platné legislativy (nařízení vlády č. 401/2015 Sb.), bude nutné toto znečištění vyčistit na požadované hodnoty, aby bylo umožněno jejich vypouštění do recipientu. U čistících stupňů, jež mají zásadní vliv na odstraňování některých ze sledovaných ukazatelů znečištění, budou průběžně uváděny hodnoty účinnosti. Přírodní čistírna v Oponěšicích spadá do kategorie ČOV s počtem EO <500. Podle legislativy je tedy nutné sledovat BSK₅, CHSK_{Cr} a NL. I když ukazatele N_{celk}, N-NH₄⁺ a P_{celk} nejsou nařízeny sledovat, bude rovněž snaha o jejich úspěšné odstraňování.

V celkovém důsledku bude snahou navrhnout takové technologie, aby byly splněny i tzv. BAT limity, které prezentují nejlepší dostupné technologie v oblasti čištění odpadních vod.

Tabulka 15: Emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod, dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.

Kategorie ČOV		< 500			
CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL	
p	m	p	m	p	m
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
150	220	40	80	50	80
N-NH ₄		N _{celk}		P _{celk}	
průměr	m	průměr	m	průměr	m
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
-	-	-	-	-	-

"p" - přípustné hodnoty; "m" - maximální hodnoty

3.2.2 Popis navržených objektů na PČOV Oponešice

V následující kapitole budou detailně popsány jednotlivé navržené objekty pro přírodní čistírnu odpadních vod Oponešice. Pořadí objektů je chronologicky uspořádáno dle směru průtoku odpadní vody, tedy od česlí až po měrný objekt.

Sdružený objekt česlí a lapáku písku

Prvním objektem na čistírně odpadních vod je sdružený objekt česlí a lapáku písku sloužící k odstranění hrubých látek z odpadní vody. Lapák písku byl navržen z důvodu předpokládané výstavby jednotné stokové sítě. Celý sdružený objekt má délku 4690 mm a v nejširším bodě šířku 1820 mm. Kolem celého objektu je navržena betonová dlažba pro snadnější manipulaci při vytahování shrabků a jiných potřebných úkonů. Betonová dlažba bude navržena z kachlí 30 x 30 x 4 mm minimálně ve dvou řadách. Dlažba bude uložena na lože z kamenné drti frakce 4/8 mm výšky 50 mm, pod níž bude umístěna ještě podkladní drť frakce 8/16 mm výšky 80 mm.

Jemné ručně stírané česle

Pro zachycování nejhrubších znečišťujících látek byly navrženy ručně stírané česle. U tohoto objektu bude potřebná pravidelná kontrola obsluhy, jejímž úkolem bude shrabovat hráběmi shrabky do odvodňovacího koše umístěného v horní části objektu. Koš je navržen o rozměrech (400 x 250 x 250 mm), ve dně jsou vyvrtány díry sloužícím pro odtok přebytečné vody do následujícího stupně čištění tedy lapáku písku. Nátok odpadní vody na česle je navržen potrubím PVC KG DN 250 (v době psaní DP nebyl vyhotoven projekt odkanalizování obce, nelze tedy s určitostí říct přesný rozměr, který může být později pozměněn dle skutečného stavu). V těsné blízkosti objektu bude umístěn plastový kontejner na shrabky o objemu 1100 litrů.

Samotná část objektu česlí je navržena ze ztraceného bednění (šířky 150 mm), ve kterém bude uložen samostatný plastový box z PP desek tloušťky 10 mm. Vnitřní rozměry jsou 1200 x 400 mm s výškou 1020 mm. Celý objekt bude uložen na železobetonové desce s tloušťkou 150 mm z betonu třídy C30/37 XC1.

Česlice byly navrženy pod úhlem 60° z nerezových tyčí šířky 8 mm s průlinami po 20 mm. Celková délka jednotlivých tyčí je 1150 mm.

Lapák písku

Hlavním účelem navrženého horizontálního lapáku písku je zachytávání písku a jiných minerálních částic s velikostí zrn větších než 0,2 mm.

Konstrukce objektu je rovněž navržena ze ztraceného bednění (šířky 150 mm) vyztuženého ocelovými pruty, ve které bude umístěna nádrž zhotovená z PP desek o tloušťce 10 mm. Vnitřní rozměry lapáku jsou 3000 x 1500 mm a výška 1760 mm. Celý objekt bude vystaven na železobetonové desce tloušťky 150 mm z betonu třídy C30/37 XC1. Jako zákrytová deska je navržen poklop z dřevoplastových kompozitů.

Potřebný objem kalového prostoru byl navržen na základě předpokládaného množství písku na obyvatele za rok.

Tabulka 16: Určení produkce písku

Množství písku na obyvatele za rok	8	l/os/rok
Počet EO	200	os
Celková roční produkce	1600	l/rok
Počet vytěžení za rok	1	x ročně
Roční produkce	1600	l
ρ písku	1650	kg/m ³
Hmotnost písku	2640	kg

Podle vypočtené produkce byl navržen usazovací prostor (prostor uvažován pod spodní hranou štěrbin) s dostatečnou rezervou pro roční vyvážení na objem 2,7 m³.

Tabulka 17: Navržené rozměry usazovacího prostoru LP

Hloubka	0.6	m
Délka	3	m
Šířka	1.5	m
Objem	2.7	m ³

Za pomoci Stokesova zákona byla vypočtena rychlost klesání zrna o průměru 0,2 mm.

Stokesův zákon

$$v_{\xi} = \frac{2}{9} g \frac{\rho_s - \rho_w}{\eta} \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Gravitační zrychlení

g	9.81	m/s ²
----------	------	------------------

Měrná hmotnost pevné částice

ρ_s	1650	kg/m ³
----------------------------	------	-------------------

Měrná hmotnost vody

ρ_w	1000	kg/m ³
----------------------------	------	-------------------

Dynamická viskozita vody

η	0.00102	kg/m/s
--------	---------	--------

Průměr zrna

d	0.2	mm
-----	-----	----

Rychlost klesání částice v kapalině

v_{ξ}	0.013892	m/s
-----------	----------	-----

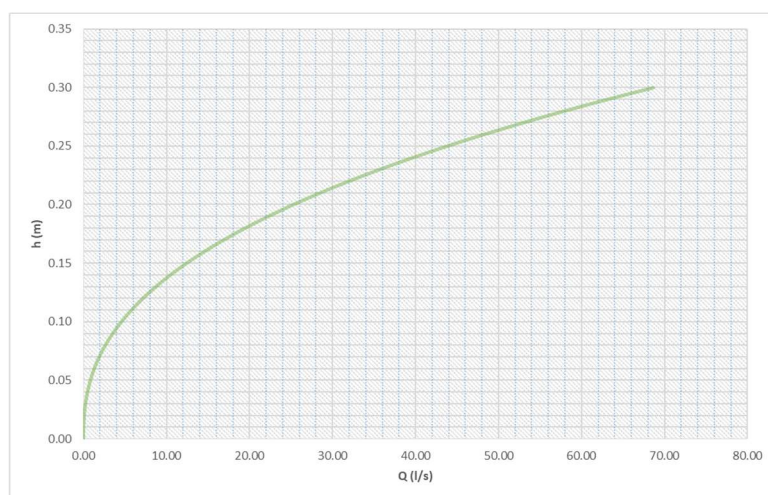
Na konci lapáku je umístěn Thomsonův přeliv pro redukci proudění odpadní vody.

Q-H křivka Thomsonova přelivu

$$Q = 1,343 * h^{2,47} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Tabulka 18: Q-H křivka Thomsonova přelivu

h	Q	h	Q	h	Q
m	l/s	m	l/s	m	l/s
0.01	0.02	0.11	5.76	0.21	28.44
0.02	0.09	0.12	7.14	0.22	31.91
0.03	0.23	0.13	8.70	0.23	35.61
0.04	0.47	0.14	10.45	0.24	39.55
0.05	0.82	0.15	12.39	0.25	43.75
0.06	1.29	0.16	14.53	0.26	48.20
0.07	1.89	0.17	16.88	0.27	52.91
0.08	2.62	0.18	19.44	0.28	57.88
0.09	3.51	0.19	22.21	0.29	63.12
0.10	4.55	0.20	25.21	0.30	68.64



Obrázek 33: Grafické zobrazení Q-H křivky Thomsonova přelivu

Posouzení bylo vyhodnoceno pro průtok $Q_{24} = 0,42$ l/s a $Q_{mez} = 4,58$ l/s. U obou průtoků dokáže částice s průměrem zrna 0,2 mm za dobu zdržení sedimentovat.

Výpočet průtočné plochy a ověření poklesu částice za dobu zdržení

Šířka štěrbin	b	0.07	m
Sklon štěrbin (1:m)	m	1	-
Rychlost klesání částice ve vodě	v_{ζ}	0.014	m/s

Tabulka 19: Vyhodnocení doby zdržení v LP

h	Q	S	v	délka	doba zdržení	teor. pokles částice za dobu zdržení
m	l/s	m ²	m/s	m	s	m
0.00	0.00	0.000	0.00	3.00	0	0.00
0.01	0.02	0.001	0.02	3.00	156	2.16
0.02	0.09	0.002	0.05	3.00	63	0.88
0.03	0.23	0.003	0.08	3.00	39	0.54
0.04	0.42	0.004	0.10	3.00	30	0.41
0.04	0.47	0.004	0.11	3.00	28	0.39
0.05	0.82	0.006	0.14	3.00	22	0.30
0.06	1.29	0.008	0.17	3.00	18	0.25
0.07	1.89	0.010	0.19	3.00	16	0.22
0.08	2.62	0.012	0.22	3.00	14	0.19
0.09	3.51	0.014	0.24	3.00	12	0.17
0.10	4.55	0.017	0.27	3.00	11	0.16
0.10	4.58	0.017	0.27	3.00	11	0.16
0.11	5.76	0.020	0.29	3.00	10	0.14
0.12	7.14	0.023	0.31	3.00	10	0.13

Q₂₄

Q_{mez}

Samotný trojúhelníkový žlab je tvořen dvěma PP deskami, jež jsou vzájemně nakloněny pod úhlem 90° a uprostřed je průlina šířky 70 mm umožňující propad částic do sedimentačního prostoru. Ke stěnám budou desky připojeny pomocí konzolí a budou příčně vyztuženy žebry vzájemně vzdálenými 370 mm. Na výtoku je osazeno potrubí PVC KG DN 200 mm, jimž bude dopravována odpadní voda na další objekt.

Technologie na srážení fosforu

I když podle platné legislativy není vyžadováno po čistírnách do 500 EO hlídání a měření koncentrací fosforu na odtoku, bude navržena technologie na srážení fosforu za účelem dosažení odtokové hodnoty 1 mg/l. Tato technologie bude navržena z důvodu možného zpřísnění budoucích opatření a také s ohledem na vývoj situace týkající se životního prostředí. Během prvního roku provozu bude tato technologie doladěna dle skutečně naměřených hodnot. Samotné využití této technologie bude záviset především na požadavcích příslušného povodí.

Tabulka 20: Stanovení hodnot fosforu

Počet obyvatel		200	EO		
Specifická produkce P		2.50	g/EO/den		
Specifická produkce OV		120	l/EO/den		
Denní produkce OV		36.0	m ³ /den		
Vstupní koncentrace fosforu	P _{in}	0.50	Kg/den	13.89	mg/l
Odtoková koncentrace fosforu (požadovaná)	P _{out}	0.04	Kg/den	1.00	mg/l
Snížení obsahu P v čistícím procesu		31.10	%	0.345	Kg/den

Dle konečného výpočtu je předpokládána účinnost pro odstraňování fosforu na kořenové čistírně 31,1 %, což je hodnota 9,6 mg/l na odtoku. K dosažení požadovaných hodnot bude využito chemické srážení fosforu.

Použitý koagulant: PAX (polyaluminiumchlorid)

Koncentrace použitého koagulantu: AlnOHmCl3n-m

Tabulka 21: Stanovení potřebného množství koagulantu PAX

	Značení	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Měrná hmotnost koagulantu	ρ	1360	Kg/m ³	
Celkové denní množství fosforu k odstranění	P _{ods}	0.3	Kg/d	$P_{ods} = P_{c_{in}} - P_{c_{inkor}} - P_{c_{out}}$
Specifická dávka koagulantu (pouze kationtu Fe ³⁺ , Al ³⁺)	SDK	1.3	kg/kg (P) _{ods}	$ODK [n(Me)] = \beta \cdot M (Me^{3+}) / M (P)$
Celková dávka koagulantu (pouze kationtu Fe ³⁺ , Al ³⁺)	DD _{Kat}	0.4	Kg/d	
Celková denní dávka koagulantu (sloučeniny - 100%)	CDK	4.5	kg/d	$CDK = DD_{Kat} \cdot M (koagulant) / M (Me)$
Denní dávka koagulantu (sloučeniny - x %)	DDK	4.5	kg/d	
Denní objemová dávka koagulantu	DODK	3.3	l/d	$DODK = DDK / \rho$
Specifická produkce chemického kalu	ξ	4.0	g/g	
Denní produkce chemického kalu	DPCHK	1.6	kg/d	$DPCHK = CDK \cdot \xi$

Celá technologie bude složená z IBC nádrže o objemu 1 m³ a malého dávkovacího čerpadla. (Původně bylo plánováno napojení čerpadla na solární systém, ale jelikož bude na pozemek dovedena přípojka elektrické energie za účelem přečerpávání vody, z důvodu nepříznivých spádových podmínek, bude v blízkosti nádrže umístěn elektrický rozvaděč, ke kterému bude čerpadlo připojeno.) Dávkování koagulantu bude probíhat mezi česlemi a lapákem písku z důvodu potřebného promíchání a času k vytvoření sražených vloček, které budou následně usazovány v anaerobním separátoru.

Tabulka 22: Orientační náklady na srážení fosforu za pomoci srážedla PAX

Velikost 1 balení srážedla	35	kg
Cena 1 balení srážedla	930	Kč
Doba pro využití 1 balení	7.8	dní
Potřebný počet balení za rok	47	pytlů
Roční náklady	43644	Kč
Roční náklady na 1 EO	218	Kč
Náklady na 1m ³ vyčištěné OV (uvažován Q ₂₄)	3.3	Kč

Rozdělovací šachta

Primárním účelem rozdělovací šachty je rovnoměrné rozdělení odpadní vody na dva samostatné nátoky do anaerobního separátoru. Šachta je navržena z PP tl. 15 mm, s následným obetonováním z betonu třídy C25/30 o tloušťce 100 mm. Vnitřní průměr šachty je 1200 mm. Celá šachta je uložena pod terénem a výška bez podkladní desky je 1395 mm. Vstup do šachty bude proveden za pomoci kónusu s uzamykatelným poklopem DN 600 mm vyvedeným nad terén. Šachta bude vystavěna na podkladním betonu třídy C25/30 o výšce 150 mm vyztuženého kari sítí. Dno přítokového potrubí PVC DN 200 bude umístěno ve výšce 250 mm nad dnem šachty a bude natékat na překlopný žlab, jenž je uchycen za pomoci nerezové tyče. Samotný překlopný žlab je vyhotoven z PP desek tloušťky 15 mm o šířce 450 mm a délce 535 mm. Následně bude odpadní voda rovnoměrně odtékat dvěma potrubími PVC DN 150, z nichž každé bude samostatně dopravovat vodu do dílčí části anaerobního separátoru. Před vtokem na rozdělovací šachtu bude napojena pomocí T kusu přitékající voda z kalového pole a v místě napojení bude zřízena revizní šachta DN 600 mm.

Anaerobní separátor

Jelikož mají vertikální filtry vzhledem ke svému technickému provedení větší náchylnost k zanášení než filtry horizontální, byl navržen místo klasické šterbinové usazovací nádrže či běžného septiku anaerobní separátor. Díky svému uspořádání a doplnění o norné stěny se tato technologie jeví jako nejvhodnější pro poslední stupeň mechanického čištění.

Důležitým faktorem při návrhu anaerobního separátu je zvolení střední doby zdržení, která byla zvolena na 3 dny. Při výpočtu byla uvažována účinnost čištění podle ČSN 75 6402, přičemž minimální hodnota účinnosti byla brána pro dobu zdržení 3 dny a maximální účinnost byla za předpokladu doby zdržení 6 dnů.

Tabulka 23: Anaerobní separátor – účinnost čištění v % dle ČSN 75 6402 [13]

	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}	
Min	50	40	70	5	10	%
Max	75	80	90	25	45	%

Tabulka 24: Anaerobní separátor – účinnost čištění v % - podle doby zdržení

Dny	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}	
3	50	40	70	5	10	%
4	58.3	53.3	76.7	11.7	21.7	%
5	66.7	66.7	83.3	18.3	33.3	%
6	75	80	90	25	45	%

Při uvažování nejmenší účinnosti čištění (dle informací z již realizovaných projektů bývá ve skutečnosti dosahováno lepších výsledků než v uvedené tabulce a do budoucna lze tedy uvažovat s ještě vyšší účinností) jsou hodnoty na výtoky uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 25: Anaerobní separátor – koncentrace na výtoky

Dny	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}	
3	166.7	400.0	91.7	58.1	12.5	mg/l
4	138.9	311.1	71.3	54.0	10.9	mg/l
5	111.1	222.2	50.9	49.9	9.3	mg/l
6	83.3	133.3	30.6	45.8	7.6	mg/l

Výpočet objemu Anaerobního separátoru

Výpočet účinného objemu anaerobního separátu se odvíjel od počtu napojených obyvatel a jejich specifické spotřeby vody. Dále již navržené střední doby zdržení a usazovacího prostoru na kal, který byl navržen jako 50 % celkového objemu nádrže.

Počet napojených obyvatel	PO	200	os
Specifická potřeba vody	q_{sp}	0.12	$m^3/\text{den}/ob$
Střední doba zdržení	t	3	dny
Součinitel vyjadřující kalový prostor	a	1.5	-
Účinný objem anaerobního separátoru	V	108	m^3

Dle výpočtu vyšel účinný objem anaerobního separátoru na potřebných $108 m^3$. Z výrobních, montážních a provozních důvodů byla nádrž rozdělena na 2 samostatné celky.

2 x	54	m^3
-----	----	-------

Pro potřebný objem byly navrženy rozměry obou separátorů, přičemž byla každá nádrž rozdělena na 3 samostatné komory. Z důvodu předpokladu usazování kalu v 1 komoře byly její rozměry stanoveny na 50 % z celkového objemu separátoru.

Rozměry jednotlivých komor:

První komora			Druhá komora			Třetí komora		
Hloubka	2	m	Hloubka	2	m	Hloubka	2	m
Délka	5	m	Délka	2.5	m	Délka	2.5	m
Šířka	3	m	Šířka	3	m	Šířka	3	m
$V_{\text{požadovaný}}$	27	m^3	$V_{\text{požadovaný}}$	13.5	m^3	$V_{\text{požadovaný}}$	13.5	m^3
$V_{\text{reálný}}$	30	m^3	$V_{\text{reálný}}$	15	m^3	$V_{\text{reálný}}$	15	m^3

Po návrhu samotných rozměrů byl přepočítán skutečný objem navrženého anaerobního separátoru.

Celkem anaerobní separátor jedna část (1 nátok)

Hloubka	2	m
Délka	10	m
Šířka	3	m
$V_{\text{požadovaný}}$	54	m^3
$V_{\text{reálný}}$	60	m^3

Celkem anaerobní separátor obě části

Hloubka	2	m
Délka	10	m
Šířka	6	m
$V_{\text{požadovaný}}$	108	m^3
$V_{\text{reálný}}$	120	m^3

Jelikož došlo ke zvětšení účinného prostoru anaerobního separátoru, byla doba zdržení zvýšena na 3 dny a 8 hodin při průměrném denním průtoku.

Střední doba zdržení	Účinný objem anaerobního separátoru
dny	m^3
3	108
3.33	120
4	144

Dle nově navržených rozměrů došlo k přepočtu účinností a celkových koncentrací znečišťujících látek na výtoku.

Tabulka 26: Anaerobní separátor – účinnost čištění v % - podle doby zdržení (dle skutečných rozměrů)

Dny	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}	
3.0	50.0	40.0	70.0	5.0	10.0	%
3.3	52.8	44.4	72.2	7.2	13.9	%
4.0	58.3	53.3	76.7	11.7	21.7	%

Tabulka 27: Anaerobní separátor – koncentrace na výtoku (dle skutečných rozměrů)

Dny	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}	
3.0	166.7	400.0	91.7	58.1	12.5	mg/l
3.3	157.4	370.4	84.9	56.7	12.0	mg/l
4.0	138.9	311.1	71.3	54.0	10.9	mg/l

Celkové rozměry navrženého anaerobního separátoru i se započtením podkladní železobetonové desky tloušťky 200 mm z betonu třídy C30/37 XC1 jsou 11800 x 7450 mm s výškou 2650 mm (+ výška betonového pasu a vstupního ŽB kónusu). Celá konstrukce bude vyhotovena ze ztraceného bednění šířky 250 mm, které bude doplněno vyztužením ocelovými pruty. Ve vnitřním prostoru budou osazeny plastové nádrže z UV stabilního polypropylenu. Stropní konstrukce bude dobetonována a stejně jako při betonáži základové desky bude využito oboustranné vyztužení kari sítí o velikosti ok 150 x 150 mm průměru 8 milimetrů. Celý anaerobní separátor bude uložen pod terénem. Vchod do vnitřních prostor a možnost odčerpávání jednotlivých komor bude zajištěn pomocí vstupních kónusů (průměr vstupního otvoru je 625 mm), které budou vyvedeny nad terénem a osazeny plastovými uzamykatelnými poklopy.

Jak již bylo zmíněno, byly navrženy 2 paralelní toky, přičemž je pro každý navržena sestava 3 oddělených komor. Odpadní voda bude přiváděna potrubím PVC KG DN 150 mm a ihned na přítoku bude umístěna normální stěna, jejímž úkolem bude usměrnění toku do spodní části nádrže. Samotné komory budou vzájemně spojeny potrubím z PP DN 150 mm, přičemž pomocí kolen a T kusů budou sestrojeny tak, aby odpadní voda byla nucena urazit co největší vzdálenost a bylo tak zajištěno využití celého prostoru separátoru. Prostupy jsou rovněž navrženy tak, aby byly vždy umístěny do protějších rohů. Odtokové potrubí je taktéž z materiálu PVC DN 150 mm. Výška mezi maximální hladinou a stropem separátoru je 300 mm.

Práci obsluhy by mělo být dohlíženo a zajištěno, aby se kal v co největší možné míře usazoval v první komoře, přičemž bude nezbytné pravidelné odkalování separátoru. Při správném

provozu, by sedimenty neměly doputovat ani do třetí komory. I vzhledem k využívání kalového hospodářství (systém Reed-Bed), bude odkalování probíhat čtyřikrát ročně.

Kalové hospodářství (systém Reed-Bed)

Pro obec Oponěšice bude navržené samostatné kalové hospodaření postavené na systému REED–BED. Tato varianta je navržena s ohledem na nízké provozní náklady. Na kalové pole je uvažováno ukládání kalu z anaerobního separátoru.

Dle normy ČSN 75 6402 byla vypočtena celková potřebná plocha s ohledem na množství EO ku 1 m².

Počet EO na 1 m² dle ČSN 75 6402 2-3 EO/m²	A_{spec}	2.5	EO/m ²
Celková plocha RED-BED systému	A_{R-B}	80	m ²

Navržené plošné rozměry účinného prostoru REED-BED systému

a	10	m
b	8	m

Celkové rozměry, bere-li se v potaz i nadzemní hrázka jsou 15500 x 13500 mm. Výška kalového pole není přesně stanovena již od prvopočátku, ale jelikož je sestavována pomocí pískových vaků, je stanovena na 700 mm, tedy 3 pytle uložené na sebe. V průběhu let je uvažováno s doplňováním těchto pískových vaků až do výšky 1650 mm, přičemž by této výšce mělo být dosaženo za dobu 14 let.

Z technického hlediska bude celý princip spočívat v zahloubení jámy 300 mm pod úroveň původního terénu, kde bude umístěna hydroizolační fólie EPDM tloušťky 1,02 mm, oboustranně chráněná netkanou geotextilií (500 g/m²), jejímž úkolem je chránit fólii od mechanického poškození (např. proražení ostrou hranou kamene). Tento prostor bude vyplněn drenážní vrstvou (drcený lomový kámen frakce 4–8 mm), ve kterém bude umístěno drenážní potrubí DN 80, jež bude odvádět přebytečnou vodu zpět do rozdělovací šachty umístěné před anaerobním separátorem tak, aby došlo k rovnoměrnému rozdělení vody do obou částí. Na drenážní vrstvě bude uložena krycí přechodová vrstva (frakce 0,4 mm). Celý prostor bude odizolován do výšky okolních hrázek, tedy 500 mm nad původním terénem (vnitřní sklon 1:1). Vymezení účinného prostoru bude tvořeno pomocí pískových vaků, jejichž princip skladby je uveden výše. Po uložení první dávky kalu je navržena výsadba Rákosu obecného (*Phragmites australis*).

Tabulka 28: Výpočet kapacity Reed-Bed systému

Počet EO	200	-
Specifická produkce čerstvého kalu	2.16	dm ³ /os/den
Specifická produkce zahuštěného kalu	1.08	dm ³ /os/den
Celkový objem kalu	157.68	m ³ /rok
Výška roční dávky kalu	1.97	m
Počet dávek uložení kalu za rok	4	-
Výška jedné dávky kalu	0.49	m
Obsah sušiny v kalu	6	%
Výška roční dávky kalu - po vyschnutí	0.12	m
Výška jedné dávky kalu - po vyschnutí	0.03	m
Předpokládaná výška kalového prostoru	1.65	m
Kapacita navrženého Reed-bed pole	14.0	let

Na kalové pole je uvažováno ukládání kalu z anaerobního separátoru (k tomuto procesu je předpokládáno využívání fekálního vozu). Dosažení zcela odvodněného kalu je předpokládáno za dobu tří měsíců, tedy do doby uložení další dávky.

Čerpací šachty

Na celé technologické lince budou navrženy dvě čerpací šachty. Do první čerpací šachty budou svedeny dvěma přítokovými potrubími PVC DN 150 vody z obou paralelních toků anaerobního separátoru. Z čerpací šachty bude voda dopravována potrubím PE DN 50, SDR17 do první distribuční šachty. Druhá čerpací šachta bude umístěna za prvním vertikálním filtrem, do kterého bude tentokrát svedena voda jedním potrubím PVC DN 150 a odváděna rovněž potrubím PE DN 50, SDR17.

Obě šachty jsou navrženy o stejných rozměrech a identickém vstrojení (rozdíl je pouze v počtu přívodních potrubí). Bude se jednat o celoplastové dvouplášťové šachty s armovací výztuží určené k obetonování kruhového tvaru. Samotná šachta bude celým objemem umístěna pod úroveň terénu. Vstup bude zajištěn pomocí 3 uzamykatelných poklopů. První poklop o rozměrech 800 x 600 je určen pro vstup do čerpací šachty a v daném místě je osazen vstupní žebřík. Zbylé dva poklopy o rozměrech 600 x 600 budou sloužit k vizuální kontrole čerpadel. Celková výška šachty od podkladní železobetonové desky je 2930 mm. Vnitřní průměr šachty je 2000 mm. Tloušťka stěn a dna je 150 mm, přičemž strop je navržen o tloušťce 270 mm. Pod celým objektem bude vyhotovena železobetonová deska s tloušťkou 200 mm. Maximální výška hladiny v čerpací šachtě bude limitována přívodním potrubím, které bude ve výšce 1500

mm ode dna nádrže. Navržený účinný objem je 4,71 m³. Pro čerpání vody jsou navrženy 2 kalová čerpadla, které se budou zapínat za pomoci spínacích plováků. V danou chvíli bude v provozu vždy 1 čerpadlo, přičemž je navrženo, aby jejich chod byl střídán po jednom týdnu (jeden z úkolů obsluhy). Každé čerpadlo bude zajištěno řetězem a na odtokovém potrubí bude osazena zpětná klapka a nožové šoupátko. Teleskopická tyč uzavíracího šoupátka bude vyhotovena také na přívodním potrubí. Bude sloužit k uzavření přítoku vody při potřebné manipulaci v čerpací šachtě. V blízkosti objektu bude zhotoven elektrický rozvaděč, který bude napájet kalová čerpadla instalována v čerpací šachtě. Konkrétní typy čerpadel a jejich výkony budou stanoveny v následujícím stupni projektové dokumentace, přičemž bude nezbytné zajištění čerpání vody jednak v stavu bezdeštném tak i za deště.

Distribuční šachty

Distribuční šachty jsou navrženy z důvodu rovnoměrného rozdělení odpadní vody na plochy vertikálních filtrů. Z technického hlediska zařízení pracuje na systému plováků a magnetu. Výhodou této technologie je absence elektrické energie. Celkově jsou navrženy dvě totožné dávkovací šachty (první pro distribuci vody na vertikální filtr č.1 a druhá pro rovnoměrné rozprostření odpadní vody na vertikálním filtru č.2). Obě šachty jsou rozděleny na 4 komory, přičemž z každé komory je voda dopravována na stanovenou čtvrtinu filtračního pole. Účinný objem šachty (4,5 m³) je navržen tak, aby při průměrném denním průtoku docházelo během dne k 8 pulzům, tedy dávky po 3 hodinách.

Tabulka 29: Hodnoty pro výpočet objemu dávkovací šachty

Průměrný denní průtok	Q ₂₄	36.00	m ³ /den
Počet polí vertikálního filtru	P _p	4	ks
Počet dávkovacích šachet	P _{dš}	1	ks
Počet komor	P _k	4	ks
Denní průtok do jedné komory	Q _{kom}	9	m ³ /den
Počet denních pulzů	P _{dp}	8	-
Objem jednoho pulzu	V _{pulz}	4.5	m ³
Potřebný účinný objem jedné šachty	V _{šPúčín}	4.5	m ³
Potřebný účinný objem jedné komory	V _{kPúčín}	1.125	m ³

Obě šachty čtvercového rozměru (rozměry uvedeny v tabulce níže) vyrobené z PP tloušťky 15 mm budou umístěny nad původní terén. Ze statického hlediska je navrženo vyztužení dělicích stěn. Po celé ploše budou šachty obloženy extrudovaným polystyrenem. Okolo šachty budou vyskládány pískové vaky a prostor mezi nimi a tepelnou izolací (možnost přidání nopové

fólie) bude vyplněn hutněným zásypem. Šachty budou umístěny na betonové desce tloušťky 150 mm z betonu C25/30 vyztužené kari sítí. K zajišťování minimální a maximální hladiny budou sloužit plováky, přivázané k pulzně dávkovacímu zařízení. Rozdíl obou hladin je 600 mm. Samotné pulzně dávkovací zařízení bude osazeno v každé komoře, v jedné šachtě tedy v počtu čtyř kusů. Vstup do šachty bude zajištěn uzamykatelným poklopem (1200 x 1200 mm), který bude umístěn uprostřed šachty kvůli snadnější manipulaci při samotné instalaci či pozdějších opravách.

Tabulka 30: Výpočet rozměrů dávkovacích šachet

Délka	a	2.75	m
Šířka	b	2.75	m
Minimální hladina	h_{\min}	0.4	m
Maximální hladina	h_{\max}	1	m
Objem pro min. hladinu	V_{\min}	3.025	m^3
Navržený účinný objem	$V_{\text{účinn}}$	4.54	m^3
Celkový objem	V_C	7.56	m^3
Celková výška šachty	H	1.5	m

Před obě dávkovací šachty bude umístěna čerpací šachta, jejímž úkolem bude dopravení vody do potřebné výšky potrubím PE DN 50. V šachtě dojde přepojení na potrubí PVC DN 110, které bude modifikováno tak, aby rozvádělo vodu rovnoměrně do všech komor. Z každé komory bude následně vyvedeno odtokové potrubí PP DN 110, jenž bude distribuovat vodu na filtrační pole.

První a druhý vertikální filtr s vegetací

Hlavní biologický stupeň čištění bude založen na principu dvoustupňového systému vertikálních filtrů. Plocha filtrů byla stanovena dle návrhového plošného zatížení vycházejícího z přítokové koncentrace znečištění CHSK.

Tabulka 31: Výpočet k určení plochy VF

EO	200	os
CHSK	120	g/os/den
S_{dp}	24000	g/den
Účinnost an. separátoru	44.4	%
M_{CHSK}	13333	g/den
Návrhové plošné zatížení	40	g/m ² /den
S_{VF}	333	m ²
S_{VF} - zaokrouhleno	340	m ²
Plocha na 1EO	1.70	m ²

Návrhové plošné zatížení bylo stanoveno na základě podkladů z nově prováděných výzkumů především v Rakousku. Jedná se o zatížení celého systému. V přepočtu na plochu jednoho filtru to dělá 20 g/m²/den.

Navržené rozměry účinného prostoru prvního filtru:

a	25	m
b	14	m
S_{VF1}	350	m ²

Navržené rozměry účinného prostoru druhého filtru:

a	25	m
b	14	m
S_{VF2}	350	m ²

Plošná velikost každého filtru byla stanovena na 350 m².

Koncentrace vstupující na první vertikální filtr jsou hodnoty stanovené účinností předchozího čištění v anaerobním separátoru.

Tabulka 32: Koncentrace na vstupu na první vertikální filtr

BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}	
157.4	370.4	84.9	56.7	12.0	mg/l

Předpokládané účinnosti čištění jsou stanoveny dle ČSN 75 6402. Minimální i maximální hodnoty vychází z účinnosti čištění pro technologii: vertikální filtr s vegetací. Vzhledem k tomu, že je navržen dvoustupňový systém, je předpoklad dosahování maximálních čistících účinností. Je nutné podotknout, že se účinnosti mohou měnit vlivem ročního období (především N-NH₄⁺).

Tabulka 33: Účinnost čištění v %

	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}	
Min	75	70	85	50	8	%
Stř. hodnota	86.5	83.5	92	74.5	14	%
Max	98	97	99	99	20	%

Vzhledem k předpokládaným účinnostem čištění, které byly stanoveny jako celková účinnost obou stupňů, by hodnoty na výtoku z druhého vertikálního filtru, a tedy z celé technologické linky dosahovali následujících hodnot:

Tabulka 34: Koncentrace na výtoku z druhého vertikálního filtru

	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	P _{celk}	
Min	39.4	111.1	12.7	28.3	11.0	mg/l
Stř. hodnota	21.3	61.1	6.8	14.5	10.3	mg/l
Max	3.1	11.1	0.8	0.6	9.6	mg/l

Rovněž bylo stanoveno maximální hydraulické zatížení filtru, které dle výpočtů dokáže pokrýt jednak průměrný denní průtok ale také maximální denní průtok. Posouzení s dešťovými vodami bude stanoveno v následujícím stupni projektové dokumentace po přesném stanovení odlehčených vod přitékajících z odlehčovací komory.

Tabulka 35: Limitní hydraulické zatížení filtru

Limitní hydraulické zatížení filtru

Přípustné hydraulické zatížení	v _f	0.15	m ³ /m ² /d
Plocha vertikálního filtru	A _{VF}	350.00	m ²
Maximální dovolený přítok na vertikální filtr	Q _{max}	52.5	m ³ /d
Porovnání		>	
Průměrný denní průtok	Q ₂₄	36.00	m ³ /d
Maximální denní průtok	Q _{dmax}	48.00	m ³ /d

$$Q_{\max} = v_f \cdot A_{VF}$$

Ze stavebního hlediska se bude jednat o dvě samostatná zemní tělesa (mělké stavební jámy ohraničené vybudovanou hrázkou). Odpadní voda bude z anaerobního separátoru za pomoci první čerpací šachty dopravena do dávkovací šachty, která bude ve stanovených pulzech rovnoměrně distribuovat vodu na první vertikální filtr. Voda, jenž projde prvním stupněm čištění bude následně přes malou spádišťovou šachtu (sloužící rovněž k celkovému odvodnění

prvního VF) dopravena do druhé čerpací šachty, jež přečerpá vodu do distribuční šachty č.2, která zajistí rovnoměrné dávkování vody na druhém vertikálním filtru. Každý z filtrů bude rozdělen na čtyři plochy, na které bude dávkována voda z distribučních šachet. Okolo obou filtrů bude vybudována zemní hrázka šířky 1000 mm s vnitřním sklonem 1:0,5 a vnějším sklonem 1:2. Hrázka bude v části ze strany distribučních šachet obložena betonovou dlažbou z důvodu zajištění ochrany proti proražení potrubí při pohybu osob. Samotná tělesa obou filtrů budou od okolního terénu odizolovány hydroizolační fólií EPDM tloušťky 1,02 mm, která bude oboustranně chráněna netkanou geotextilií (500 g/ m²). K vyrovnání dna bude využit pískový vyrovnávací podsyp (výšky 50 mm). Na dně obou filtrů bude vyhotoven drenážní systém (drenážní potrubí DN 80), které bude obsypáno drenážní vrstvou frakce 16-32 mm (výšky 150 mm). Dále bude vyhotovena přechodová mezivrstva frakce 4-8 mm (výšky 100 mm). Jedním z hlavních rozdílů obou vertikálních filtrů bude typ hlavní filtrační vrstvy. U prvního filtru bude tvořena frakcí 1-4 mm (výšky 500 mm), zatímco u druhého filtru bude tvořena frakcí 0-4P mm (výšky 500 mm), tedy těžené kamenivo zbavené prachových částic. Celková skladba obou filtrů, včetně pískového vyrovnávacího podsypu, je 800 mm. Druhým zásadním rozdílem je, že v první vertikálním filtru bude drenážní potrubí připojeno na odtokové potrubí a vyvedeno do výšky 20 cm ode dna tak, aby docházelo k zatopení potřebného objemu filtru za účelem denitrifikace. Přívodní potrubí, jež bude dopravovat vodu z distribučních šachet je navrženo PP DN 110 a na filtračních polích bude vyhotoveno s osovou vzdáleností 6250 mm. Jako distribuční potrubí poslouží PP DN 50 u kterého je osová vzdálenost navržena na 780 mm. V distribučním potrubí budou vyhotoveny 5 mm otvory s osovou vzdáleností rovněž 780 mm. Konce distribučního potrubí budou pomoci kolene zakončeny směrem nahoru a opatřeny koncovou zátkou. Stabilita rozvodů bude zajištěna pomocí betonových sloupků s osovou vzdáleností 900 mm. Na povrchu obou filtrů bude vysázen rákos obecný v počtu 3 až 4 kusy na 1 m². Primární funkcí rostlin není čistící schopnost (akumulace živin a vnos kyslíku), ale ochrana potrubí proti klimatickým vlivům.

Měrný objekt

Měření průtoků vyčištěné odpadní vody odváděné do recipientu bude probíhat za pomoci ultrazvukového čidla umístěného v navržené šachtě. Samotná šachta je navržena z PP tl. 15 mm, s následným obetonováním z betonu třídy C25/30 o tloušťce 100 mm. Vnitřní průměr šachty je 1200 mm. Přístup do šachty bude umožněn díky kónusu s uzamykatelným poklopem DN 600 mm. Výška šachty bez podkladní desky je 1145 mm. Z větší části se šachta nachází pod původním terénem, přičemž bude proveden také obsyp šachty do výšky 560 mm nad původní terén ve sklonech 1:3. Navržená šachta bude vystavěna na podkladním betonu třídy C25/30 o výšce 150 mm vyztuženého kari sítí. Na dně šachty bude instalován Parshallův

žlab, nad nímž bude umístěno hladinoměrné čidlo, které bude zapojeno do elektrického rozvaděče. Ultrazvukové čidlo bude opatřeno systémem určeným pro dálkový přenos dat, jež budou odesílány provozovateli čistírny.



Obrázek 34: Měrný objekt v obci Hlína

Přítokové potrubí do měrného objektu je z materiálu PVC DN 150 dovedené z druhého vertikálního filtru. Na odtoku bude umístěno potrubí PVC DN 110, které bude vedeno do menší spádišťové šachty, díky které bude docíleno umístění potrubí do požadované výšky krytí a následně bude vyčištěná odpadní voda dopravována na výustní objekt.

Cílem výustního objektu bude zaústění vyčištěné odpadní vody do recipientu. Z konstrukčního hlediska bude tvořeno betonovým tělesem obloženým kameny. Na konci potrubí bude osazena zpětná klapka.



Obrázek 35: Příklad výustního objektu v obci Hlína

3.2.3 Celkové účinnosti a posouzení limitů jednotlivých ukazatelů

Jelikož navržená PČOV Oponěšice spadá do kategorie ČOV dle počtu EO < 500, nebylo dle platného nařízení vlády č. NV 401/2015 nutné sledování hodnot N-NH₄, či P_{celk}. I přes tyto náležitosti bylo snahou docílit co největší možné účinnosti odstraňování i těchto ukazatelů, jednak z důvodu ochrany toku, ale také možného zpřísnění limitů v následujících letech. Po využití hlavního stupně čištění tvořeného dvoustupňovým vertikálním filtrem (díky čemuž je předpoklad dosahování maximální možné účinnosti), jsou předpokládáné hodnoty na základě výpočtu dle ČSN 75 6402 následující:

Tabulka 36: Koncentrace znečištění na vtoku na ČOV a výtoku + celková předpokládaná účinnost

	BSK₅	CHSK	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}	
NA VTOKU	333.3	666.7	305.6	61.1	13.9	mg/l
NA VÝTOKU	3.1	11.1	0.8	0.6	9.6	mg/l
ÚČINNOST	99.1	98.3	99.7	99.1	31.1	%

(Je nutné zmínit, že předpokládaná účinnost při odstraňování N-NH₄ je v tomto případě uvažována v letním období. V zimním období je třeba počítat se zhoršením koncentrací na výtoku z čistírny.)

Kvůli nízké účinnosti odstraňování fosforu bylo navrženo jeho chemické srážení, jenž bude zajišťovat dostatečné odstranění tohoto ukazatele. Tato problematika bude dále řešena na základě požadavků správce toku či jiných dotčených orgánů.

Tabulka 37: Koncentrace znečištění na vtoku na ČOV a výtoku + celková předpokládaná účinnost pro P_{celk} při použití chemického srážení za pomoci PAX

	P_{celk}	
NA VTOKU	13.9	mg/l
NA VÝTOKU	1.0	mg/l
ÚČINNOST	92.8	%

V následující tabulce jsou porovnány koncentrace znečištění na odtoku z čistírny při předpokládané maximální účinnosti (rovněž jsou uvedeny koncentrace znečištění na odtoku v případě středních hodnot) s přípustnými hodnotami stanovenými dle NV č. 401/2015 Sb. Rovněž je zde provedeno posouzení s nejlepší dostupnou technologií (tzv. BAT limity).

Tabulka 38: Celkové porovnání přípustných hodnot a hodnot na odtoku z ČOV + posouzení s BAT limity

	BSK₅	CHSK_{cr}	NL	N-NH₄⁺	P_{celk}	
Koncentrace znečištění na odtoku z čistírny při předpokládané maximální účinnosti	3.1	11.1	0.8	0.6	9.6	mg/l
Koncentrace znečištění na odtoku z čistírny v případě střední účinnosti	21.3	61.1	6.8	14.5	10.3	mg/l
Přípustná koncentrace	40	150	50	-	-	mg/l
Koncentrace dle nejlepší dostupné technologie (BAT limity)	30	110	40	-	-	mg/l

Z porovnání ve výše uvedené tabulce je patrné, že navržená technologie bude bez problémů splňovat požadavky dle nařízení vlády NV 401/2015 (a to i při poklesu účinnosti na střední hodnoty) a zároveň je zde předpoklad nižších koncentrací na odtoku, než uvádí limity BAT.

4 ZÁVĚR

Podle stanovených cílů, jsou první kapitoly věnovány stručně rešerši zabývající se problematiku přírodních čistíren. V této části je krátce zmíněna historie této technologie, včetně různých typů přírodního čištění. Po výčtu předností, mezi které patří například nízké provozní náklady či schopnost dobrého vypořádání se s kolísáním množství a kvality odpadních vod, by nebylo férové nezmínit i určité nevýhody, mezi které se bezesporu řadí velké nároky na plochu či riziko kolmatace (které se dá minimalizovat návrhem vhodného předčištění). Dále jsou popsány různé typy odpadních vod a ukazatele, jež stanovují přípustné znečištění vypouštěné z čistírny, doplněné o příslušnou legislativu NV č. 401/2015 Sb. Rovněž je popsán význam vegetace na přírodních čistírnách odpadních vod, včetně výčtu nejčastěji využívaných rostlin jako je například rákos obecný. Závěr rešeršní části je věnován stručnému popisu jednotlivých objektů. Kromě prvků tvořící samotnou čistírnu, jsou zde i uvedeny objekty umístěné před mechanickým přečištěním odpadní vody (odlehčovací komory či dešťové zdrže). Následují objekty, jejichž úkolem je dostatečné zbavení odpadní vody hrubých nečistot. Patří zde česle, lapák písku, štěrbínové nádrže, septiky či moderní anaerobní separátory. Celá první kapitola se uzavírá popisem filtračních polí (horizontální filtry, vertikální filtry), které tvoří hlavní stupeň biologického čištění, se zmíněním i možného dočištění pomocí stabilizačních nádrží.

Druhá část práce se zabývá samotným návrhem technologie přírodního způsobu čištění odpadních vod pro obec Oponěšice. Nejprve jsou sepsány dostupné informace o samotné obci. Kromě základních údajů jsou zde informace o klimatických, geomorfologických či hydrologických podmínkách. Vedle informací uvedených v územním plánu či PRVKUK, jsou zde sepsány i skutečné požadavky od zastoupení obce. Zde dochází například k rozporu mezi typem plánované stokové soustavy. Následuje stanovení průtoků a koncentrací znečištění na přítoku na PČOV (počet EO byl stanoven na hodnotu 200), včetně výpočtu dešťových vod. Poté dochází k výpočtům a popisům jednotlivých objektů tvořících celý komplex přírodní čistírny odpadních vod v obci Oponěšice. Jelikož v době psaní diplomové práce nebyl vyhotoven projekt kanalizační stoky, jehož součástí bude bezesporu detailní provedení odlehčovací komory či možné dešťové zdrže, může v následujících stupních řešení projektové dokumentace dojít k částečným úpravám. Samotný návrh začíná nátokem odpadní vody na první objekt mechanického předčištění, který je tvořen sruženým objektem česlí a lapáku písku. Následně pomocí rozdělovací šachty dojde k vytvoření dvou paralelních toků, proudících do navrženého anaerobního separátoru. Vzhledem k nevhodným terénním podmínkám (velká rovinatost) budou součástí návrhu i dvě samostatné čerpací šachty, jenž nebudou mít žádný vliv na čištění odpadní vody, ale jsou navrženy pouze za účelem její distribuce. Jako hlavní stupeň

čištění je navržen dvoustupňový vertikální systém. Jedná se o dva vertikální filtry s vegetací, na které bude voda rovnoměrně dávkována v předem stanovených pulzech za pomoci distribučních šachet. Za druhým vertikálním filtrem bude umístěna měrná šachta, která bude sloužit k měření průtoků vyčištěné odpadní vody směřující na výustní objekt, ze kterého bude vypouštěna vyčištěná voda do recipientu tvořeného místním potokem. Kvůli předpokládaným nižším účinnostem při odstraňování fosforu, byla jako součást sdruženého objektu česlí a lapák písku navržena jednotka určená k jeho odstraňování (zapojení do procesu se bude odvíjet od reálných naměřených hodnot a požadavků správce toku). Pro čistírnu je navržen i samostatný objekt kalového hospodářství, jenž nabízí možnost vlastního zpracování kalů vzniklých během procesů čištění odpadní vody. Předpokládané hodnoty znečištění na odtoku dokážou bez problémů splnit požadované limity, jež stanovuje legislativa NV č. 401/2015 Sb. a rovněž předčí i přísnější BAT limity. Během celého návrhu byl kladen důraz na minimální použití elektrické energie pro čistírenské účely. Ovšem jak již bylo zmíněno, kvůli rovinatému terénu bude na pozemku vyhotovena přípojka elektrické energie za účelem čerpání vody. Z toho důvodu, i když bylo původně plánováno vyhotovení tzv. ostrovního systému (fotovoltaické panely) pro měření vypouštěné vyčištěné odpadní vody či dávkování srážedla pro odstranění fosforu, se z ekonomického hlediska jeví jako nejvhodnější napojení i těchto objektů na elektrickou síť. Celý návrh byl proveden s ohledem na ekologičnost v kombinaci s nízkými provozními náklady, dlouhodobou udržitelností a minimální náročností na obsluhu za dodržení co možná nejvyšší možné kvality vyčištěné odpadní vody.

Velká část práce je tvořena projektovou dokumentací, jež bude sloužit jako vstupný podklad pro územní řízení a stavební povolení. Vyjma výkresů jednotlivých objektů či situačních výkresů, byly vypracovány i kompletní technické zprávy.

Nyní nezbývá než doufat, že práce poslouží alespoň z části jako skutečný podklad k vydání společného povolení.

5 SEZNAM PŘÍLOH

A. PRŮVODNÍ ZPRÁVA

B. SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA

C. SITUAČNÍ VÝKRESY

C.1 SITUAČNÍ VÝKRES ŠIRŠÍCH VZTAHŮ M: 1:10 000

C.2 KATASTRÁLNÍ SITUAČNÍ VÝKRES M: 1:1 000

C.3 KOORDINAČNÍ SITUAČNÍ VÝKRES M: 1:200

D. DOKUMENTACE OBJEKTŮ A TECHNICKÝCH A TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ

D.1.1.1 TECHNICKÁ ZPRÁVA

D.1.1.2 PODÉLNÝ PROFIL ČOV M: 1:200/100

D.1.1.3.1 LAPÁK PÍSKU A ČESLE – PŮDORYS M: 1:25

D.1.1.3.2 LAPÁK PÍSKU A ČESLE – ŘEZ A-A' M: 1:25

D.1.1.3.3 LAPÁK PÍSKU A ČESLE – ŘEZ B-B' M: 1:25

D.1.1.4.1 ROZDĚLOVACÍ ŠACHTA – PŮDORYS M: 1:25

D.1.1.4.2 ROZDĚLOVACÍ ŠACHTA – ŘEZ A-A' M: 1:25

D.1.1.4.3 ROZDĚLOVACÍ ŠACHTA – ŘEZ B-B' M: 1:25

D.1.1.5.1 ANAEROBNÍ SEPARÁTOR – PŮDORYS M: 1:50

D.1.1.5.2 ANAEROBNÍ SEPARÁTOR – ŘEZ A-A' M: 1:50

D.1.1.5.3 ANAEROBNÍ SEPARÁTOR – ŘEZ B-B' M: 1:50

D.1.1.6.1 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ – PŮDORYS M: 1:100

D.1.1.6.2 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ – ŘEZ A-A M: 1:50

D.1.1.6.3 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ – ŘEZ B-B M: 1:50

D.1.1.7.1 ČERPACÍ ŠACHTA Č.1 – PŮDORYS M: 1:25

D.1.1.7.2 ČERPACÍ ŠACHTA Č.1 – ŘEZ A-A' M: 1:25

D.1.1.8.1 DISTRIBUČNÍ ŠACHTA Č.1 – PŮDORYS M: 1:50

D.1.1.8.2 DISTRIBUČNÍ ŠACHTA Č.1 – ŘEZ A-A' M: 1:25

D.1.1.9.1	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.1 – PŮDORYS	M: 1:100
D.1.1.9.2	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.1 – ŘEZ A-A'	M: 1:50
D.1.1.9.3	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.1 – ŘEZ B-B'	M: 1:50
D.1.1.9.4	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.1 – ŘEZ C-C'	M: 1:50
D.1.1.10.1	ČERPACÍ ŠACHTA Č.2 – PŮDORYS	M: 1:25
D.1.1.10.2	ČERPACÍ ŠACHTA Č.2 – ŘEZ A-A'	M: 1:25
D.1.1.11.1	DISTRIBUČNÍ ŠACHTA Č.2 – PŮDORYS	M: 1:50
D.1.1.11.2	DISTRIBUČNÍ ŠACHTA Č.2 – ŘEZ A-A'	M: 1:25
D.1.1.12.1	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.2 – PŮDORYS	M: 1:100
D.1.1.12.2	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.2 – ŘEZ A-A'	M: 1:50
D.1.1.12.3	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.2 – ŘEZ B-B'	M: 1:50
D.1.1.12.4	VERTIKÁLNÍ FILTR Č.2 – ŘEZ C-C'	M: 1:50
D.1.1.13.1	MĚRNÝ OBJEKT – PŮDORYS	M: 1:25
D.1.1.13.2	MĚRNÝ OBJEKT – ŘEZ A-A'	M: 1:25

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. Kořenové čistírny – rekapitulace a budoucnost v České republice. *Vodní hospodářství*. 2016, **66**(2), 14-20.
- [2] BODIK, Igor. *Analýza podmienok správneho návrhu a aplikácie extenzívnych systémov čistenia odpadových vôd vo vybraných obciach okresu Rimavská Sobota*. CEROGEMA, n.o., 2017.
- [3] ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. První. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-867-6974-7.
- [4] DOTRO, Gabriela, Günter LANGERGRABER, Pascal MOLLE, Jaime NIVALA, Jaume PUIGAGUT, Otto STEIN a Marcos VON SPERLING. *BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SERIES VOLUME 7: TREATMENT WETLANDS*. First. Londýn: IWA, 2017. ISBN 9781780408767.
- [5] VYMAZAL, Jan. *Kořenové čistírny odpadních vod*. Třeboň: ENKI o.p.s, 2004.
- [6] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. *Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [7] VYMAZAL, Jan. *KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD: Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji*. Česká zemědělská univerzita v Praze: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí, Plzeň, 2016.
- [8] SOJKA, Jan. *Čistírny odpadních vod: pro rodinné domy*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4504-6.
- [9] LENS, et al. *Decentralise sanitation and reuse: concepts, systems and implementation*. London: IWA Publishing, 2001. ISBN 19-002-2247-7.
- [10] PLOTĚNÝ, Karel. *COLOR OF WATER – DĚLENÍ VOD* [online]. In: . [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/177.color-of-water-deleni-vod>

- [11] ROZKOŠNÝ, Miloš, Michal KRIŠKA, Jan ŠÁLEK, Igor BODÍK a Darja ISTENIČ. *Natural technologies of wastewater treatment*. [Praha]: Global Water Partnership Central and Eastern Europe, 2014. ISBN 978-80-214-4831-5.
- [12] NOVÁK, Josef. *Příručka provozovatele vodovodní sítě*. Líbeznice u Prahy: Medim, 2003. ISBN 80-238-9946-5.
- [13] ČSN 75 6402: *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [14] SOJKA, Jan. *Malé čistírny odpadních vod*. 2. aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2004. Stavíme. ISBN 80-865-1780-2.
- [15] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [16] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 2 - ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - fakulta stavební, 2006.
- [17] *Nářízení vlády č. 401/2015 Sb.: Nářízení 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* [online]. In: . [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401>
- [18] *Nářízení vlády č. 57/2016 Sb.: Nářízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních* [online]. In: . [cit. 2022-12-30]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-57>
- [19] SCHIMANA, Walter. *Vodní rostliny: nejkrásnější druhy, výběr, kombinování, péče*. 1. vydání. Čestlice: Rebo, 2007. Zahrada plus. ISBN 978-80-7234-652-3.
- [20] HECKER, Katrin a Frank HECKER. *Jezírka*. České vydání druhé. Praha: Vašut, 2015. ISBN 978-80-7236-936-2.
- [21] ÖKOREAL GESELLSCHAFT FÜR ÖKOLOGIEPROJEKTE M.B.H. FORSCHUNG & ENTWICKLUNG. *Endbericht zur 2. Stufe des Forschungsprojekts BEPFLANZTE BODENFILTER*. Wien: Lebensministerium Stubenring, A-1012, 2007.

- [22] *BOTANY.cz: PHALARIS ARUNDINACEA L. – chrastice rákosovitá / chrastnica trš'ovnikovitá* [online]. In: . [cit. 2022-12-29]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/phalaris-arundinacea/>
- [23] *Kosatec žlutý (Iris pseudacorus)* [online]. In: . [cit. 2022-12-20]. Dostupné z: <https://www.rybarskyrozcestnik.cz/atlasy/kosatec-zluty-iris-pseudacorus/>
- [24] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 1 STOKOVÁNÍ*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - fakulta stavební, 2006.
- [25] *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: Odlehčovací komory ČSN 75 6262*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [26] CHALOUPKA, Ondřej a Markéta EKTROVÁ. *PRO VODU 2018: Kořenové čistírny pro MČ Starého Města*. 2018.
- [27] JÁGLOVÁ, Veronika a Martin ŠNAJDR. *Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel: Metodická příručka*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2009.
- [28] HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK. *Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů*. První. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-0-2.
- [29] LANGERGRABER, Günter. *Development of treatment wetland technology in Austria*. Vídeň, 2017.
- [30] *ConWe Spin-off VUT: Vypouštěč* [online]. In: . [cit. 2022-12-31]. Dostupné z: <http://conwe.cz/vypoustec.html>
- [31] MACIEJEWSKI, Kevin, Mathieu GAUTIER, Boram KIM, Philippe MICHEL a Rémy GOURDON. *Effect of trickling filter on carbon and nitrogen removal in vertical flow treatment wetlands: A full-scale investigation* [online]. [cit. 2023-01-02]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721022210#section-cited-by>
- [32] *OPONEŠICE: Oficiální web obce* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <http://www.obecoponesice.cz/>
- [33] *Mapy.cz* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>

- [34] *RIS: Regionální informační servis* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/591327-oponesice>
- [35] *Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://aopkcr.maps.arcgis.com/home/index.html>
- [36] *Česká geologická služba* [online]. In: . [cit. 2022-10-07]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/>
- [37] *Státní pozemkový úřad* [online]. In: . [cit. 2022-10-07]. Dostupné z: <https://www.spucr.cz/bpej/>
- [38] QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa*. 16. Praha: Academia. *Studia geographica*, 1971.
- [39] *HYDROEKOLOGICKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM VÚV TGM: VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T.G.MASARYKA, VEŘEJNÁ VÝZKUMNÁ INSTITUCE* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/>
- [40] *Budkov: Povodňový plán obce* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: https://www.edpp.cz/budk_hydrologicke-udaje/
- [41] *Kurzy.cz: Oponešice, katastrální území 712019 - nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://regiony.kurzy.cz/katastr/ku/712019/#zakladni>
- [42] *PRVK: Kraje Vysočina* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <https://prvk.kr-vysocina.cz/prvk/karty/nahled/266>
- [43] *Ú Z E M N Í P L Á N O P O N E Š I C E* [online]. In: . [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: http://www.obecoponesice.cz/assets/File.ashx?id_org=11201&id_dokumenty=1996

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Dělení odpadních vod v domácnostech [10]	17
Obrázek 2: Privilegovaný povrchový odtok v důsledku kolmatace [1]	21
Obrázek 3: Rákos obecný (<i>Phragmites australis</i>) [21]	25
Obrázek 4: Chrastice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i>) [22]	26
Obrázek 5: Kosatec žlutý (<i>Iris pseudacorus</i>) [23]	26
Obrázek 6: Zjednodušené schéma objektů na PČOV [7]	27
Obrázek 7: Odlehčovací komora s oboustranným bočním přelivem [6]	28
Obrázek 8: Dešťová zdrž	29
Obrázek 9: Starší realizace ručně stíraných česlí tvořící sdružený objekt s lapákem písku v obci Dražovice	31
Obrázek 10: Novější provedení ručně stíraných česlí v obci Hlína	32
Obrázek 11: Horizontální lapák písku (sdružený objekt s ručně stíranými česlemi)	33
Obrázek 12: Odkrytá šterbinová usazovací nádrž s bezpečnostním filtrem [2]	34
Obrázek 13: Řez tříkomorovým anaerobním separátorem	36
Obrázek 14: Horizontální filtr s vegetací [1]	39
Obrázek 15: Vertikální filtr s vegetací [1]	41
Obrázek 16: Princip vyhotovení dvoustupňového vertikálního systému [29]	43
Obrázek 17: Pulzní vypouštěč [30]	43
Obrázek 18: Vlevo první stupeň, vpravo druhý stupeň Francouzského systému [4]	44
Obrázek 19: Ukázka různého vyhotovení trubních rozvodů u prvního (horní) a druhého (dolní) stupně francouzského systému [4]	45
Obrázek 20: Stabilizační nádrž [2]	46
Obrázek 21: Poloha obce Oponešice [33]	47
Obrázek 22: Obec Oponešice (okres Třebíč) [34]	48
Obrázek 23: Mapa geomorfologického členění	48
Obrázek 24: Mapa klimatických oblastí [35]	50
Obrázek 25: Toky v obci Oponešice [39]	51

Obrázek 26: Přehledová katastrální mapa katastrálního území [41].....	52
Obrázek 27: Mapa stávajícího vodovodu v obci Oponěšice [42]	54
Obrázek 28: Mapa navrhované splaškové kanalizace v obci Oponěšice [42]	54
Obrázek 29: Umístění KČOV a dotčené pozemky v obci Oponěšice.....	56
Obrázek 30: Celkové schéma přírodní čistírny odpadních vod pro obec Oponěšice.....	57
Obrázek 31: Stanovení odvodňované plochy a jednotkového hektaru	59
Obrázek 32: Jednotkový hektar	60
Obrázek 33: Grafické zobrazení Q-H křivky Thomsonova přelivu.....	65
Obrázek 34: Měrný objekt v obci Hlína.....	79
Obrázek 35: Příklad výustního objektu v obci Hlína	79

8 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Orientační hodnoty produkce specifického znečištění na 1 ekvivalentního obyvatele (populační ekvivalent) v g/d [13]	19
Tabulka 2: Orientační hodnoty účinnosti jednotlivých typů čistírenských technologií [13] ...	23
Tabulka 3: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l [17].....	24
Tabulka 4: Hodnoty teoretické střední doby zdržení a hydraulického zatížení plochy v usazovacím prostoru šterbinové nádrže [13].....	34
Tabulka 5: Složení vrstev u vertikálního filtru s vegetací [13].....	41
Tabulka 6: Druhy a plochy pozemků [41]	52
Tabulka 7: Demografický vývoj (prognóza) [42]	53
Tabulka 8: Počet obyvatel připojených na vodovodní síť (prognóza) [42]	53
Tabulka 9: Stanovení specifické potřeby obyvatelstva	58
Tabulka 10: Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti	58
Tabulka 11: Součinitel maximální denní nerovnoměrnosti	58
Tabulka 12: Stanovení ploch v jednotkovém hektaru.....	60
Tabulka 13: Vydatnosti náhradního blokového deště (podle Ing. J. Trupla).....	60
Tabulka 14: Přehledná tabulka s přítoky odpadních vod	61
Tabulka 15: Emisní standardy ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod, dle nařízení vlády č. 401/2015 Sb.....	62
Tabulka 16: Určení produkce písku	64
Tabulka 17: Navržené rozměry usazovacího prostoru LP	64
Tabulka 18: Q-H křivka Thomsonova přelivu	65
Tabulka 19: Vyhodnocení doby zdržení v LP.....	66
Tabulka 20: Stanovení hodnot fosforu	67
Tabulka 21: Stanovení potřebného množství koagulantu PAX	67
Tabulka 22: Orientační náklady na srážení fosforu za pomoci srážedla PAX.....	68
Tabulka 23: Anaerobní separátor – účinnost čištění v % dle ČSN 75 6402 [13]	69

Tabulka 24: Anaerobní separátor – účinnost čištění v % - podle doby zdržení.....	69
Tabulka 25: Anaerobní separátor – koncentrace na výtoku.....	69
Tabulka 26: Anaerobní separátor – účinnost čištění v % - podle doby zdržení (dle skutečných rozměrů)	71
Tabulka 27: Anaerobní separátor – koncentrace na výtoku (dle skutečných rozměrů).....	71
Tabulka 28: Výpočet kapacity Reed-Bed systému	73
Tabulka 29: Hodnoty pro výpočet objemu dávkovací šachty	74
Tabulka 30: Výpočet rozměrů dávkovacích šachet.....	75
Tabulka 31: Výpočet k určení plochy VF	76
Tabulka 32: Koncentrace na vtoku na první vertikální filtr	76
Tabulka 33: Účinnost čištění v %	77
Tabulka 34: Koncentrace na výtoku z druhého vertikálního filtru	77
Tabulka 35: Limitní hydraulické zatížení filtru	77
Tabulka 36: Koncentrace znečištění na vtoku na ČOV a výtoku + celková předpokládaná účinnost	80
Tabulka 37: Koncentrace znečištění na vtoku na ČOV a výtoku + celková předpokládaná účinnost pro P_{celk} při použití chemického srážení za pomoci PAX	80
Tabulka 38: Celkové porovnání přípustných hodnot a hodnot na odtoku z ČOV + posouzení s BAT limity.....	81

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV	Čistírna odpadních vod
PČOV	Přírodní čistírna odpadních vod
KČOV	Kořenová čistírna odpadních vod
BSK ₅	Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
CKSK _{Cr}	Chemická spotřeba kyslíku
NL	Nerozpuštěné látky
N-NH ₄ ⁺	Amoniakální dusík
N _{celk}	Dusík celkový
P _{celk}	Fosfor celkový
EO	Ekvivalentní obyvatel
ČSN	Česká technická norma
NV	Nařízení vlády
Sb	Sbírky
PAX	Polyaluminiumchlorid
DN	Dimenze
PVC	Polyvinylchlorid
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen